

**MODEL DAMPAK PENCEMARAN
UNTUK PENYUSUNAN KEBIJAKAN PENGENDALIAN
DIOKsin/FURAN
(STUDI KASUS INDUSTRI LOGAM DI KAWASAN CILEGON)**

LINA WARLINA

UNIVERSITAS TERBUKA



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2008**

**PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI
DAN SUMBER INFORMASI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam disertasi saya yang berjudul "MODEL DAMPAK PENCEMARAN UNTUK PENYUSUNAN KEBIJAKAN PENGENDALIAN DIOKSID/FURAN (STUDI KASUS INDUSTRI LOGAM DI KAWASAN CILEGON)" merupakan gagasan atau hasil penelitian hasil disertasi saya sendiri, dengan pembimbingan Komisi Pembimbing, kecuali dengan jelas ditunjukkan rujukannya. Disertasi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar pada program sejenis di perguruan tinggi lain.

Semua sumber data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya.

Bogor, Mei 2008

Lina Warlina

P062034034

UNIVERSITAS TERBUKA

ABSTRACT

LINA WARLINA. Model of Pollution Impact for Policy Design in Controlling Dioxin/furan (Case study : Metal (Ferrous and Non Ferrous) Industry in Cilegon) ERLIZA NOOR, as Chairman; AKHMAD FAUZI. RUDY C. TARUMINGKENG. and SURJONO H. SUTJAHJO. as Members of the Advisory Committee.

Industrial development, not only produces positive impact, but also the negative ones, that is the existence of pollution. Metal industry produce dioxin/furan air pollution that POP's (Persistent Organic Pollutants) group. Dioxin/furan adversely affect living organism, both long term or short term.

This research generally aim at developing a model of the impact of dioxin/furan pollution on environment, social and economy, in order to provide inputs upon the policy governance in controlling dioxin/furan pollution. Specific steps were executed for to estimate/calculate the emission of dioxin/furan discharged from metal industry; development dynamic model and computing the level of emission impact of dioxin/furan on social, economy and environment factors; analyzing and calculating economic loss on the impact of dioxin/furan pollution; and establishing the concept of the policy for decreasing dioxin/furan pollution. The methods used in this research were the emission factor, dispersion method, system dynamics and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA).

The result of the research showed that the dioxin/furan emission in the assessed area had reached 9.38–13.54 gTEQ per year for the annual production as much as 1.874– 2.152 millions ton. Based on the simulation outcome, provided that if there was no emission reduction policy, the result would be an emission increase of 278% from 1995 up to the end of 2025, a decrease in the air quality by 0.45–0.49; 1,092 potential cancer cases, as well as the social cost of Rp. 5.86–358.16 billions. However, by the emission reduction of 46.1%, there would be a significant improvement.

Based on MCDA analysis, the best alternative policy is environmental-based policy, compared to "Do Nothing" and "economic-based policy". Environmental-based policy, that are control and reduction of dioxin/furan emission may be conducted by Command and Control (CAC) and Economic Instrument (EI) policy system. On CAC, there should be emission standard to be determined, as well as ambient concentration and the utilized technology; while on IE, there should be a penalty for the industry going beyond the limit.

Key words : dioxin/furan, POP's, emission factor, dispersion, system dynamics

RINGKASAN

LINA WARLINA. Model Dampak Pencemaran untuk Penyusunan Kebijakan Pengendalian Dioksin/furan (Studi Kasus Industri Logam di Kawasan Cilegon). ERLIZA NOOR, sebagai ketua; AKHMAD FAUZI. RUDY C. TARUMINGKENG. dan SURJONO H. SUTJAHJO. sebagai anggota komisi pembimbing.

Peningkatan industri, selain memberikan dampak positif, juga memberikan dampak negatif, yaitu adanya pencemaran. Pencemaran udara dari industri logam diantaranya adalah dioksin/furan, yang merupakan salah satu senyawa golongan POP's (*Persistent Organic Pollutans*). Dioksin/furan akan berdampak pada makhluk hidup baik untuk jangka panjang maupun jangka pendek. Pemerintah dalam hal ini belum memberi perhatian pada emisi dioksin/furan, terlihat dari belum adanya perangkat kebijakan untuk pengendalian emisi dioksin/furan.

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan alternatif kebijakan untuk pengendalian dioksin/furan dengan pendekatan sistem menggunakan model dinamik untuk melihat dampak pencemaran dioksin/furan pada lingkungan, sosial dan ekonomi. Secara khusus, penelitian bertujuan untuk memperoleh nilai emisi dan konsentrasi dioksin/furan ke udara yang berasal dari industri logam besi dan non besi; memperoleh tingkat dampak dari emisi dioksin/furan pada faktor sosial, ekonomi dan lingkungan dan memberi rekomendasi alternatif kebijakan dioksin/furan dari segi pengendalian pencemaran.

Emisi diperkirakan dari perkalian antara faktor emisi dengan aktivitas industri. Nilai faktor emisi bergantung pada jenis teknologi. Untuk perhitungan konsentrasi, digunakan metode dispersi, yang pada perhitungannya selain bergantung pada kondisi fisik industri, misalnya tinggi cerobong, juga bergantung pada faktor meteorologi, yaitu kestabilan cuaca, temperatur, kecepatan angin serta arah angin. Berdasarkan simulasi *system dynamics* dapat diperkirakan dampak emisi pada faktor lingkungan, ekonomi dan sosial. Hasil perhitungan simulasi dinamik digunakan untuk masukan pada model alternatif kebijakan dengan menggunakan analisis multi kriteria (*Multi Criteria Decision Analysis*, MCDA).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi dioksin/furan di daerah penelitian telah mencapai 9,38-13,54 gTEQ per tahun untuk produksi sebesar 1,874-2,152 juta ton per tahun, dengan paparan per orang per hari telah mencapai 205,13-325,96 pgTEQ. Produksi dan emisi mempunyai hubungan yang linier, sedangkan hubungan antara emisi dan konsentrasi ambien mempunyai hubungan dengan persamaan pangkat tiga (model kubic). Tinggi cerobong dan jarak penyebaran sangat berpengaruh pada besarnya konsentrasi emisi yang diterima reseptor dengan hubungan yang linier. Jarak penyebaran hingga 50 km dari sumber, menyebabkan berkurangnya konsentrasi emisi sebesar 87,5%.

Dampak emisi pada faktor lingkungan dikaji berdasarkan degradasi lingkungan atau penurunan kualitas udara, banyaknya emisi yang dilepaskan serta konsentrasi di ambien. Dampak terhadap faktor sosial dikaji berdasarkan potensi kasus kanker, kasus kematian dan *social cost*, sedangkan faktor ekonomi dikaji berdasarkan *abatment cost*, keuntungan industri, manfaat bersih, dan *PV NetBen*.

Berdasarkan hasil simulasi, bila tidak ada kebijakan pengurangan emisi, akan terjadi peningkatan emisi sebesar 278% dari tahun 1995 hingga akhir tahun 2025, degradasi lingkungan udara mencapai 0,45-0,49; terjadi potensi kasus kanker sebanyak 1092 kasus, potensi kematian sebanyak 175 kasus, *social cost* sebesar Rp.5,86-358,16 Milyar. dan manfaat bersih sebesar Rp.172,19-298,61 Milyar hingga tahun 2018, lalu mengalami penurunan kembali pada tahun 2019. Adanya pengurangan emisi 46,1% melalui introduksi perbaikan teknologi proses akan memberikan hasil yang signifikan pada dampak yang ditimbulkan, yaitu mengurangi penurunan kualitas udara sebesar 0,63-3,75%, konsentrasi ambien 5,61-80,01%, dan mengurangi kasus kanker dan kematian sebesar 69%. *Social cost* dan *abatement cost* jauh lebih kecil dari keuntungan bersih industri. Pengurangan emisi yang disertai dengan peningkatan produksi akan memberikan hasil yang lebih baik.

Ada 3 skenario alternatif kebijakan yang digunakan sebagai pertimbangan, yaitu bila tidak melakukan apa-apa (alternatif *Do Nothing*), alternatif kebijakan berbasis lingkungan dan alternatif kebijakan berbasis ekonomi. Berdasarkan analisis multi kriteria, alternatif kebijakan yang terbaik adalah kebijakan berbasis lingkungan dibandingkan dengan *Do Nothing* dan kebijakan berbasis ekonomi. Implikasi dari adanya kebijakan pengurangan emisi tersebut yaitu, adanya penentuan standar emisi, konsentrasi ambien dan teknologi; adanya kebijakan jarak pemukiman terdekat serta tinggi cerobong. *Best Available Technology* (BAT) dan *Best Environmental Practices* (BAP) yang diusulkan pada Konvensi Stockholm secara signifikan dapat mengurangi dampak pencemaran yang diakibatkan emisi dioksin/furan.

Kebijakan pengendalian dan pengurangan emisi dioksin/furan dapat dilakukan dengan sistem kebijakan *Command and Control* (CAC) dan Instrumen Ekonomi (IE). Pada CAC, dilakukan penentuan standar emisi, konsentrasi ambien serta teknologi yang digunakan, sedangkan untuk IE digunakan instrumen denda untuk industri yang melebihi ambang batas. Hasil dari pendapatan denda, dikembalikan pada kebutuhan untuk perbaikan lingkungan, misalnya untuk perbaikan sarana/prasarana atau teknologi. Pada pelaksanaannya, peran pemerintah merupakan hal yang utama. Koordinasi antar instansi sangat mendukung akan terlaksananya kebijakan ini.

@ Hak Cipta milik Institut Pertanian Bogor, Tahun 2008

Hak Cipta dilindungi Undang-undang

1. *Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumber*
 - a. *Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah*
 - b. *Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar bagi IPB*
2. *Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis dalam bentuk apapun tanpa izin IPB*

UNIVERSITAS TERBUKA

**MODEL DAMPAK PENCEMARAN
UNTUK PENYUSUNAN KEBIJAKAN PENGENDALIAN
DIOKSIN/FURAN
(STUDI KASUS INDUSTRI LOGAM DI KAWASAN CILEGON)**

Oleh :
LINA WARLINA
P062034034

DISERTASI
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor
pada
Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2008**

Judul Disertasi : Model Dampak Pencemaran untuk Penyusunan Kebijakan Pengendalian Dioksin/furan (Studi Kasus Industri Logam di Kawasan Cilegon)
 Nama : Lina Warlina
 NRP : P062034034
 Program Studi : Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan

Disetujui

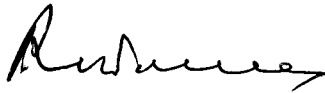
Komisi Pembimbing



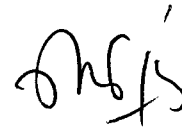
Dr. Ir. Erliza Noor
Ketua



Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, MSc
Anggota



Prof. Dr. Ir. Rudy C. Tarumingkeng, MEd
Anggota



Prof. Dr. Ir. Surjono H. Sutjahjo, MS
Anggota

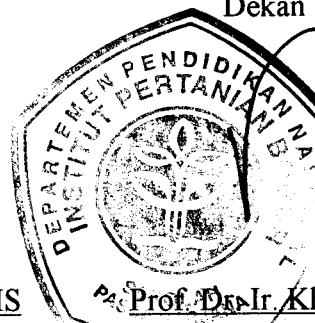
Diketahui

Ketua Program Studi
Pengelolaan Sumberdaya Alam
dan Lingkungan



Prof. Dr. Ir. Surjono H. Sutjahjo, MS

Dekan Sekolah Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Khairil Anwar Notodiputro, MS

Tanggal Ujian: 16 April 2008

Tanggal Lulus: 19 MAY 2008

PRAKATA

Puji dan syukur panulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga disertasi ini berhasil diselesaikan. Berkat rahmat-Nya, penulis dapat mengikuti program pendidikan S3 sampai pada pelaksanaan penelitian dan penyelesaian penulisan disertasi ini.

Sebagai peminat bidang ilmu lingkungan, khususnya bidang kebijakan manajemen lingkungan dan yang berhubungan dengan kimia lingkungan, maka judul disertasi yang dipilih adalah : "Model Dampak Pencemaran untuk Penyusunan Kebijakan Pengendalian Dioksin/furan (Studi Kasus Industri Logam di Kawasan Cilegon)". Berdasarkan disertasi ini, telah dikembangkan 2 (dua) naskah artikel yang diajukan ke jurnal ilmiah. Naskah pertama berjudul "Estimasi Emisi Dioksin/furan dan Faktor-faktor yang Mempengaruhi Konsentrasi Emisi ke Udara yang Berasal dari Industri Logam" sedang menunggu penerbitan pada Jurnal Matematika Sains dan Teknologi Volume 9, Nomor 1, Maret 2008. Naskah kedua berjudul "Kebijakan Manajemen Lingkungan untuk Emisi Dioksin/furan yang Bersumber dari Industri Logam" akan dimuat pada Jurnal Organisasi dan Manajemen Volume 4 Nomor 1, Maret 2008.

Terima kasih yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada Ibu Dr. Ir. Erliza Noor sebagai ketua pembimbing serta Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, Prof. Dr. Ir. Rudy C. Tarumingkeng, MF, dan Prof. Dr. Ir. Surjono H. Sutjahjo, MS sebagai anggota pembimbing atas bimbingan, arahan, saran dan bantuan sejak dalam persiapan hingga penulisan disertasi ini. Di samping itu, penulis juga sampaikan terimakasih kepada Direktur Program Pascasarjana IPB dan Ketua Program Studi PSL yaitu Prof. Dr. Ir. Surjono H. Sutjahjo, MS yang telah menerima penulis untuk mengikuti Program S3 pada Program Studi tersebut pada tahun 2004, kepada Dr. Ir. Zaenal Alim Mas'ud, DEA sebagai penguji pada ujian tertutup, juga kepada Prof. Dr. Eriyatno dan Dr. dr. Budhi Soesilo, MSi sebagai penguji luar komisi pada ujian terbuka.

Ungkapan rasa terimakasih juga penulis sampaikan kepada jajaran Pimpinan Universitas Terbuka yang telah memberi kesempatan dan dorongan moril ataupun finansial kepada penulis untuk melanjutkan studi S3 ini. Terimakasih juga penulis

sampaikan kepada seluruh teman-teman kelas Kimpraswil dan para sahabat yang telah mendorong, memotivasi dan memberikan semangat pada penulis dalam menyelesaikan disertasi ini, khususnya pada Sri Listyarini dan Nuraini Soleiman.

Secara khusus, tak terhingga penulis sampaikan terimakasih kepada suami tercinta (Sachrianto) dan anak-anak tercinta (Angga Hudaya, Andika Rizki, Annisa Rahmah, dan Afinii Nuryati) yang tiada henti-hentinya selalu memberikan dorongan, dukungan, harapan, doa, perhatian dan kasih sayang selama penulis menjalani hari-hari yang secara signifikan mengurangi waktu kebersamaan kita, juga pada kakak dan adik-adik penulis (Lies Widaningsih, Dadan Darmasujana, Dedi Drajat Kurniawan dan Dian Damayanti). Terimakasih, hormat dan doa juga penulis sampaikan kepada kedua orangtua penulis yang telah tiada, yang selama hidupnya selalu memberikan dorongan, kasih sayang dan semangat kepada penulis.

Mudah-mudahan disertasi ini dapat bermanfaat. Kiranya Allah SWT akan memberikan balasan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan disertasi ini.

Bogor, Mei 2008

Lina Warlina

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Padang Panjang pada tanggal 7 Januari 1961 sebagai anak kedua dari ayah yang bernama U. Djunaedi (almarhum) dan ibu bernama Yati Ruhyati (almarhumah). Penulis bersuamikan Sachrianto dan mempunyai empat orang anak, yaitu Angga Hudaya, Andika Rizki, Annisa Rahmah dan Afinii Nuryati.

Pada tahun 1973 penulis lulus dari Sekolah Dasar (SD) Bhakti di Cipinang Cempedak, Jatinegara, selanjutnya masuk Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri IV di Jalan Perwira, Jakarta Pusat dan lulus pada tahun 1976. Pada tahun 1977, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri I Jakarta di Jalan Budi Utomo dan lulus pada tahun 1980. Setelah lulus SMA, tahun 1980 penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Indonesia dengan memilih jurusan Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan lulus sarjana Kimia pada tahun 1985.

Setelah lulus Sarjana Kimia, yaitu tahun 1985, penulis bekerja di Universitas Terbuka sebagai staf akademik di Fakultas MIPA hingga sekarang. Tahun 1988, penulis mempunyai kesempatan untuk melanjutkan studi S2 di Simon Fraser University, Canada pada Faculty of Education, dengan mengambil jurusan Management of Distance Education dan lulus pada tahun 1990. Pada tahun 2004, penulis mengikuti program Doktor (S3) pada Sekolah Pascasarjana IPB, Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (PSL).

Selama bekerja di Universitas Terbuka, pada tahun 1995-1999, penulis menjabat sebagai Sekretaris Jurusan Statistika pada FMIPA UT, lalu pada tahun 1999-2001, penulis menjadi Ketua Jurusan pada Jurusan Statistika tersebut. Dan dari tahun 2001-2004, penulis diberi kepercayaan menjadi Pembantu Dekan II pada FMIPA UT.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
GLOSSARY	ix
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Kerangka Pemikiran.....	6
1.4. Perumusan Masalah.....	9
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	10
1.6. Manfaat Penelitian.....	10
1.7. Novelty Penelitian	11
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Dioksin Furan dan Dampaknya pada Lingkungan, Kesehatan dan Sosial Ekonomi	12
2.1.1 Estimasi Emisi dan Konsentrasi Dioksin/Furan di Lingkungan.....	18
2.1.2 Dampak Pencemaran Dioksin/Furan pada Kesehatan.....	21
2.1.3 Dampak Pencemaran Dioksin/Furan pada Faktor Sosial Ekonomi.....	24
2.2. Teknologi Mengurangi Pencemaran Dioksin/Furan....	28
2.3. Konvensi Stockholm	29
2.4. Kebijakan terhadap Pengelolaan Lingkungan	30
2.4.1 Kebijakan Pencemaran Dioksn/Furan di Indonesia	32
2.4.2 Peraturan Mengenai Dioksin/Furan di Beberapa Negara	34
2.5. Analisis <i>System Dynamics</i>	36
2.6. Analisis Kebijakan.....	37
2.7. Pengembangan Model Pencemaran Dioksin/furan ...	39

III.	METODE PENELITIAN	
3.1.	Tempat Penelitian	42
3.2.	Metode Pengumpulan Data.....	42
3.3.	Metode dan Pemetaan Penelitian	44
3.4.	Teknik Analisis dan Tools yang Digunakan	
3.4.1.	Analisis Emisi dan Ketidakpastian.....	46
3.4.1.1.	Metode OLS.....	46
3.4.1.2.	Metode Monte Carlo.....	47
3.4.2.	Analisis <i>System Dynamics</i>	47
3.4.3.	Analisis Kebijakan	49
IV.	KONDISI PENELITIAN	
4.1.	Kondisi Geografis dan Iklim	50
4.2.	Kondisi Demografi dan Sosial-Ekonomi	53
4.2.1.	Penduduk.....	53
4.2.2.	Perkembangan Sosial-Ekonomi	55
4.3.	Kondisi Industri-industri Logam di Cilegon	58
4.4.	Kondisi Kualitas Udara.....	63
V.	MODEL ESTIMASI EMISI DAN KONSENTRASI DIOKSIN/FURAN	
5.1.	Sub model Produksi dan Estimasi Emisi	66
5.2.	Sub model Dispersi untuk Estimasi Konsentrasi.....	72
5.2.1.	Pengaruh tinggi cerobong pada konsentrasi emisi.....	74
5.2.2.	Pengaruh jarak penyebaran pada konsentrasi emisi	76
VI.	MODEL DAMPAK EMISI DIOKSIN/FURAN DAN HASIL SIMULASI	
6.1.	Model <i>System Dynamics</i>	79
6.1.1	<i>Stock Flow Diagram (SFD)</i> model <i>system dynamics</i>	79
6.1.2	Asumsi-asumsi yang digunakan dalam <i>system dynamics</i>	81
6.1.3	Simulasi model	86
6.1.4	Validasi model <i>system dynamics</i>	86
6.1.5	Sensitivitas model <i>system dynamics</i>	87
6.2.	Hasil Simulasi	91
6.2.1	Estimasi dampak lingkungan	91
6.2.2	Estimasi dampak sosial	95
6.2.3	Estimasi dampak ekonomi.....	99

VII	MODEL ALTERNATIF KEBIJAKAN DAN IMPLIKASI KEBIJAKAN	
7.1	Model Alternatif Kebijakan	108
7.2	Implikasi Kebijakan	116
7.2.1	Kebijakan Makro	119
7.2.1	Kebijakan Mikro	122
VIII.	KESIMPULAN DAN SARAN	126
	DAFTAR PUSTAKA	129
	LAMPIRAN	140

UNIVERSITAS TERBUKA

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Emisi dioksin furan dari berbagai negara	3
2	Sifat fisika dan kimia dioksin/furan.....	11
3	Matrik kategori sumber emisi dioksin/furan beserta media penyebarannya	16
4	Konsentrasi standar dioksin/furan di beberapa negara.....	35
5	Matrik keputusan MCDA	38
6	Penelitian-penelitian pemodelan dioksin/furan.....	41
7	Data-data yang digunakan.....	43
8	Matrik PRIME untuk kebijakan dampak pencemaran dioksin/furan.....	49
9	Jarak antara kota Banten dan sekitarnya (km).....	50
10	Jumlah dan laju pertumbuhan penduduk di Cilegon dan Serang tahun 1995-2004	54
11	Kepadatan penduduk Serang, Cilegon, dan Tangerang	54
12	Struktur PDRB kota Cilegon berdasarkan lapangan usaha adh Berlaku tahun 2000-2003 (%)	56
13	PDRB Cilegon dan Serang tahun 1995-2004	57
14	Data-data kondisi <i>existing</i> masing-masing industri	60-61
15	Faktor emisi untuk kategori produksi logam besi dan non besi	62
16	Hasil produksi industri logam di Cilegon tahun 1995-2004	63
17	Hasil pengukuran kualitas udara ambien tahun 1997.....	64
18	Banyaknya desa yang mengalami gangguan lingkungan pada tahun 2002	64
19	Tingkat pertumbuhan (<i>growth</i>) produksi masing-masing industri	67
20	Harga per ton produksi industri I-VII	67
21	Estimasi emisi dioksin/furan indsutri I-VII	68
22	Estimasi emisi dioksin/furan berdasarkan simulasi Monte Carlo	70
23	Koefisien persamaan regresi antara emisi dan produksi	71

	Halaman
24	Konsentrasi emisi dioksin/furan dengan penyebaran 36 km 73
25	Hubungan jarak penyebaran dan konsentrasi dioksin/furan 76
26	Hubungan antara jarak penyebaran dengan persentase pengurangan konsentrasi..... 77
27	Nilai VOSL dari berbagai negara 83
28	Nilai abatement dioksin/furan di Jepang dan UK 84
29	<i>Abatement cost</i> dioksin/furan untuk sektor besi/baja serta reduksi emisi 84
30	Nilai AME untuk beberapa variabel 87
31	Persentase dampak asumsi peningkatan produksi 3,8% dan pengurang an emisi pada total emisi, konsentrasi di ambien dan laju degradasi 94
32	Hasil simulasi estimasi potensi kasus kanker dan kasus kematian dengan asumsi pengurangan emisi tahun 1995-2025..... 96
33	Hasil simulasi estimasi potensi kasus kanker dan kasus kematian dengan asumsi peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi tahun 1995-2025..... 97
34	Pengaruh peningkatan produksi 3,8% pada keuntungan bersih dan manfaat bersih 104
35	Alternatif untuk analisis PRIME dengan nilai masing-masing kriteria 110
36	Kebijakan makro dan mikro pengendalian pencemaran dioksin/furan 117-118

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Estimasi emisi dioksin/furan di Indonesia tahun 2000	4
2	Kerangka Pemikiran	8
3	Struktur dioksin dan furan	13
4	Reaksi-reaksi terbentuknya dioksin/furan	14
5	Skema penyebaran dioksin furan	17
6	Kurva Kuznet Lingkungan	24
7	Hubungan antara jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, sumberdaya alam, dan lingkungan.....	25
8	Tingkat pencemaran yang efisien.....	27
9	Pemetaan proses penelitian	45
10	Peta kota penyebaran dioksin/furan dari Cilegon hingga Serang (36 km)..	51
11	Data metereologi Cilegon dan Serang dari tahun 1995-2004.....	53
12	Aliran proses pembuatan besi/baja	59
13	Hubungan konsentrasi dioksin/furan dengan tinggi cerobong	75
14	Hubungan konsentrasi dioksin/furan dengan jarak penyebaran.....	77
15	SFD model dampak emisi dioksin/furan	80
16	Hasil simulasi dampak perubahan konsentrasi standar di ambien pada laju degradasi	88
17	Hasil simulai dampak perubahan harga produksi pada keuntung- an bersih	89
18	Hasil simulasi dampak kebijakan pengurangan emisi pada kasus kanker	90
19	Hasil simulasi total emisi, konsentrasi di ambien, dan laju degradasi dengan berbagai pengurangan emisi	92
20	Hasil simulasi hubungan antara nilai produksi dengan konsentrasi emisi	93

21	Hasil simulasi hubungan antara laju degradasi dengan konsentrasi di ambien	95
22	Hasil simulasi hubungan antara konsentrasi di ambien dengan kasus kanker	98
23	Hasil simulasi <i>social cost</i> dengan berbagai asumsi pengurangan emisi .	99
24	Hasil simulasi hubungan antara pengurangan emisi dengan <i>abatement cost</i>	100
25	Hasil simulasi total <i>abatement cost</i> dengan asumsi pengurangan emisi ...	101
26	Hasil simulasi keuntungan bersih, manfaat bersih, dan <i>PV NetBen</i> dengan berbagai asumsi pengurangan emisi	103
27	Hasil simulasi hubungan antara emisi dengan pendapatan	105
28	Hasil simulasi grafik fungsi kerusakan emisi	106
29	Hasil simulasi grafik fungsi kerusakan ambien.....	106
30	<i>Value tree</i> untuk kriteria dan sub kriteria kebijakan dioksin/furan	108
31	Informasi <i>preference</i> untuk menentukan <i>score assessment</i>	111
32	<i>Value interval</i> kebijakan dioksin/furan	112
33	Hasil <i>weight</i> (pembobotan)	113
34	<i>Dominance</i> alternatif kebijakan dioksin/furan	114
35	<i>Decision rules</i> untuk alternative kebijakan dioksin/furan	115

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Tabel kestabilan cuaca berdasarkan Pasquill	140
2	ANOVA dari industri I–VII	140
3	Data nilai produksi	141
4	Data Produksi dan Emisi dari tiap industri	143
5	Contoh hasil simulasi Monte Carlo emisi dioksin/furan	147
6	Data-data untuk persamaan Dispersi dan perhitungan konsentrasi.....	149
7	Hasil pendugaan parameter model konsentrasi dengan emisi, kecepatan angin dan suhu	158
8	<i>Curve Fit</i> SPSS untuk konsentrasi dengan emisi	158
9	Nilai VOSL pada tahun 2004	159
10	Laba (Rugi) industri I–III tahun 1999-2004	159
11	Regresi SPSS hubungan PDRB dengan keuntungan bersih	160
12	Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 0%	161
13	Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 30,3%	163
14	Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 40,7%	165
15	Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 46,1%.....	167
16	Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 0%	169
17	Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 30,3%	171
18	Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 40,6%	173
19	Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan pengurangan emisi 46,1%	175
20	Algoritma Vensim	177
21	Hasil PRIME pembobotan kriteria	186
22	Perhitungan emisi yang diperbolehkan	188
23	Persentase <i>social cost</i> pada PDRB	189

GLOSSARY

- Abatement cost:** biaya yang harus dikeluarkan untuk mengurangi atau mereduksi jumlah pencemar, bukan untuk meniadakan pencemar
- AME:** *Absolute Means Error* yaitu penyimpangan nilai rata-rata simulasi terhadap nilai empiris (nilai aktual), makin kecil nilainya makin baik
- Baku mutu emisi:** batas kadar maksimum yang diperbolehkan masuk ke dalam udara ambien
- Benefit transfer:** suatu cara penggunaan data dalam penelitian yang berdasarkan penelitian dari negara lain dengan penyesuaian
- Baseline:** suatu acuan dalam penelitian yang berdasarkan keadaan saat ini (*existing condition*)
- B3:** Bahan beracun dan berbahaya
- CAC:** *Command and Control* yaitu kebijakan yang lebih bersifat perintah, pengaturan dan pengontrolan.
- Dioksin/furan:** dioksin dan furan yaitu nama generik untuk mendeskripsikan senyawa organoklor dan mempunyai banyak derivat yang merupakan pencemar yang persisten
- DDT:** *Dichloro Diphenyl Trichlorethane*
- ECU:** *European Currency Unit*, mata uang Eropa
- Emisi:** zat atau energi atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar.
- Faktor emisi:** suatu angka/nilai yang didapat berdasarkan penelitian, yang menunjukkan emisi dioksin/furan per unit aktivitas (misal, $\mu\text{g I-TEQ/ton}$)
- Fungsi dose response:** fungsi untuk menghitung dampak emisi polutan pada organisme hidup
- HCB:** *hexachlorobenzene*
- Inventarisasi:** kegiatan untuk mendapatkan data dan informasi yang berkaitan dengan mutu udara.

Laju degradasi: adalah tingkat degradasi yang merupakan perbandingan antara konsentrasi standar ambien dengan konsentrasi sebenarnya (tak bersatuan)

Lipofilik: sifat senyawa yang dapat terakumulasi pada jaringan lemak

MAC: *Marginal Abatement Cost* yaitu perubahan 1 unit pencemaran yang menyebabkan perubahan biaya yang harus dikeluarkan industri

Manfaat bersih: nilai bersih akibat adanya emisi, yang merupakan selisih dari keuntungan bersih industri dengan *social cost*.

MCDA: *Multi Criteria Decison Analysis*

MDC: *Marginal Damage Cost* yaitu perubahan 1 unit pencemaran terhadap biaya kerusakan

MECU: *Mega European Currency Unit* = 10^3 ECU

Model dispersi: model untuk memperkirakan pengaruh faktor iklim dan perubahan emisi polutan terhadap konsentrasi di atmosfer

NIP: *National Implementation Plan* atau Rencana Pelaksanaan Nasional (RPN)

ng: nano gram = 10^{-9} gram

OLS: *Ordinary Least Square*

PCB : *polychlorinated biphenyls*

PCDD : *Polychlorinated Dibenzo p-Dioxin* atau dioksin

PCDF: *Polychlorinated Dibenzo Furan* atau furan

PDRB: Produk Domestik Regional Bruto

Pencemaran udara: adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi atau komponen lain ke dalam udara ambien akibat kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.

Persamaan *dose response*: persamaan yang menunjukkan hubungan antara dosis dan konsentrasi pencemar terhadap akibat atau respon yang ditimbulkan terhadap manusia atau makhluk hidup lainnya

pg: pico gram = 10^{-12} gram

POP's: *Persistent Organics Pollutants* yaitu pencemar-pencemar organik yang persisten atau sukar didegradasi

PRIME: *Preference ratios in multiattribute evaluation*, yaitu perangkat lunak untuk melakukan analisis multikriteria

PV NetBen: *Present Value Net Benefit* yaitu nilai manfaat bersih yang diperhitungkan untuk nilai masa kini

Sosial cost: biaya yang dikeluarkan akibat adanya pencemaran (dalam penelitian ini merupakan penjumlahan dari nilai akibat kanker, nilai kematian serta total *abatement cost*)

Sumber emisi: setiap usaha atau kegiatan yang mengeluarkan emisi

TCDD: 2,3,7,8 tetrachlorodibenzo-para-dioxin biasa disebut dioksin

TCDF: 2,3,7,8 tetrachloro dibenzofuran biasa disebut furan

TDI: *Tolerable Daily Intake* yaitu asupan rata-rata per hari yang diperbolehkan

TEQ: *Toxic Equivalent*, menyatakan jumlah konsentrasi semua komponen dioksin/furan yang masing-masing telah dikalikan dengan TEF

TEF: *Toxic Equivalent Factor* yaitu menyatakan berapa kali tingkat toksisitas satu isomer dioksin atau furan terhadap tingkat toksisitas 2,3,7,8-TCDD apabila 2,3,7,8-TCDD sama dengan 1.

Udara ambien: udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, mahluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya.

UNEP: *United Nation Environmental Protection*

Vensim: perangkat lunak untuk mengembangkan model *system dynamics*

VOSL: *Value of Statistical Life* yaitu nilai hidup per orang secara statistik

VOI: *Value of Injury* yaitu nilai sakit per orang secara statistik, dalam hal ini potensi terkena kanker

Waktu paruh (*half life*): waktu yang dibutuhkan oleh suatu zat untuk mengurangi konsentrasi hingga setengah dari konsentrasi awalnya

WPM (*weight product model*): menghitung nilai preferensi dari masing-masing alternatif dengan rumus perkalian

WSM (*weight sum model*): menghitung nilai preferensi dari masing-masing alternatif dengan rumus penjumlahan

UNIVERSITAS TERBUKA

I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan industri yang sangat pesat dewasa ini membawa dampak baik positif atau negatif bagi kehidupan manusia. Dampak positif diharapkan dapat menaikkan kesejahteraan manusia, namun dampak negatif dapat menurunkan kualitas hidup manusia. Selain itu, dampak negatif menyebabkan ketidakserasian dan keseimbangan lingkungan. Perkembangan teknologi dan industri telah memberikan peran yang berarti bagi pelaksanaan pembangunan. Peningkatan populasi dalam banyak hal juga mendorong dilakukannya industrialisasi. Sebagai konsekuensi, jumlah bahan baku dan buangan industri semakin meningkat, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Hal ini berdampak pada meningkatnya pencemaran dan kerusakan lingkungan, baik yang terjadi di udara, tanah ataupun air.

Jenis pencemar yang berasal dari senyawa kimia, ada yang bersifat relatif tahan terhadap degradasi secara fisik atau metabolik, yang disebut senyawa kimia yang persisten. Salah satu senyawa persisten ini adalah dioksin dan furan yang dikeluarkan sebagai hasil samping industri, pembakaran ataupun sumber lainnya. Dioksin dan furan adalah 2 senyawa yang berbeda, tetapi mempunyai sifat fisik ataupun kimia yang hampir sama. Pencemaran akibat senyawa tersebut memberikan dampak untuk jangka panjang maupun jangka pendek pada kesehatan makhluk hidup ataupun lingkungan. Lebih luas akibat pencemaran senyawa tersebut adalah kerugian sosial dan ekonomi.

Pemerintah Indonesia hingga kini belum memberi perhatian khusus terhadap bahaya pencemaran dioksin/furan. Hal ini terlihat dari tidak adanya perangkat kebijakan ataupun peraturan tentang tingkat pencemaran tersebut. Negara-negara seperti Amerika, Jepang, dan Eropa sudah lama menyadari akan bahaya dioksin/furan yang termasuk golongan POP's (*Persistent Organic Pollutants*) pada kesehatan manusia dan lingkungan. Kepedulian ini ditandai dengan penyelenggaraan kesepakatan pada Konvensi POP's di Stockholm pada Mei 2001, dimana Indonesia juga turut ambil bagian pada konvensi tersebut. Konvensi ini bertujuan untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan dari pencemaran organik persisten. Salah satu butir kesepakatan yang dihasilkan adalah

ketentuan untuk menurunkan emisi dioksin/furan dan sebagai *action plan* adalah *best available techniques* (BAT) dan *best environmental practices* (BEP) (*Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants* 2001). Untuk itu, maka pemerintah Indonesia perlu mempersiapkan perangkat kebijakan dan peraturan dalam pengendalian pencemaran dioksin/furan. Sehubungan dengan POP's, sebenarnya Indonesia telah mempunyai PP No. 74 tahun 2001 tentang Pengelolaan B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) serta PP No. 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3, tetapi kebijakan tersebut belum memasukkan parameter dioksin/furan.

Dioksin/furan adalah nama generik untuk mendeskripsikan suatu keluarga senyawa organoklor yang mempunyai banyak derivat (turunan). Senyawa terdiri atas klor dan fenil (gugus cincin benzena). Salah satu sifat dioksin/furan yang berdampak negatif pada lingkungan adalah daya urainya sangat lambat, baik di tanah, udara, dan air (Gorman dan Tynan 2003). Selain itu menetap di lingkungan untuk waktu yang cukup lama. Dioksin/furan umumnya dalam rantai makanan terakumulasi pada jaringan lemak, sehingga sukar larut dalam air. Pada makhluk hidup senyawa ini dapat diturunkan dari induk ke janin.

Pembentukan dioksin/furan dapat terjadi melalui pembakaran bahan yang mengandung klor, seperti dari limbah bahan organik dan produk kertas. Kandungan klor akan meningkat dengan semakin banyaknya limbah berbagai jenis plastik. Menurut Lemieux (dalam Sumaiku, 2004) peneliti dari National Risk Management Research Laboratory, US-EPA, pembakaran sampah rumah tangga pada kondisi pembakaran dan suhu yang rendah dapat menimbulkan gas racun dioksin/furan lebih tinggi daripada insinerator yang terkendali, oleh karena itu di AS dilarang untuk membakar sampah di udara terbuka. Emisi dioksin/furan juga terjadi pada pembuangan akhir sampah atau TPA (Widyatmoko, 1999). Di Indonesia, estimasi total emisi dioksin/furan pada tahun 2000 diperkirakan mencapai 21.126 g TEQ (*Toxic Equivalent*) (Suminar, 2003). Jumlah ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan negara-negara lain. Hasil estimasi dioksin/furan di Indonesia dan negara-negara lain dapat dilihat pada Tabel 1.

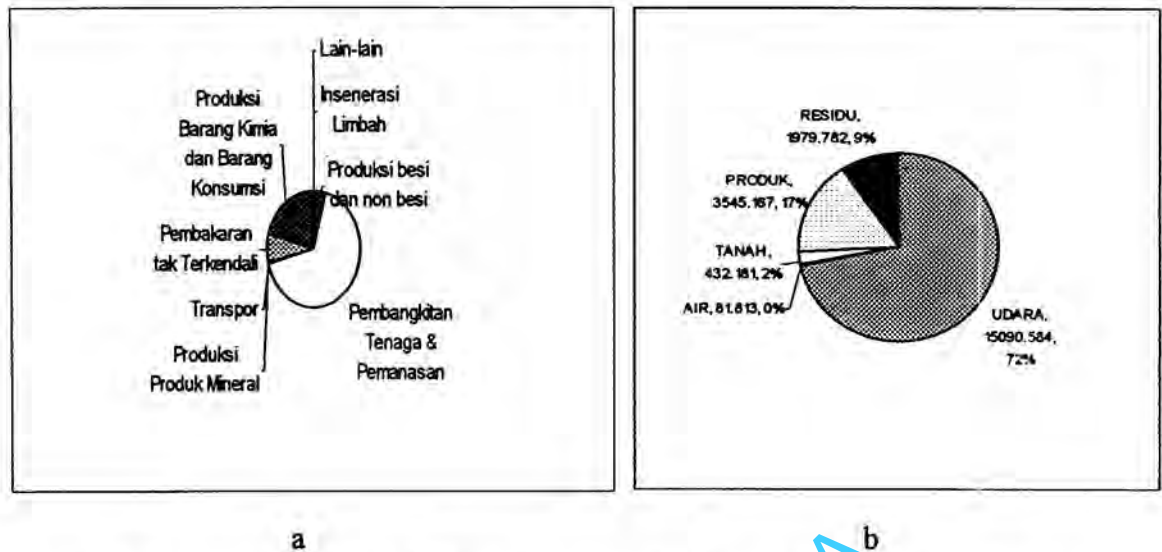
Tabel 1 Emisi dioksin/furan dari berbagai negara

Negara	1987 g TEQ	1994/1995 g TEQ	1997 g TEQ	1999 g TEQ	2000 g TEQ	2001 g TEQ	2002/2004 g TEQ
AS	13.948	3.252					1.106
Croatia					109,05	115,7	
Canada			290	199			
Jepang		5.000					967
Cina						7.144-13.575	10.200
Indonesia					21.126		

Sumber: Diolah dari The Chlorine Chemistry Council (2002), Rodan (2002), Jerman (2003), CWS (1999), Jin *et al.* (2004), The People's Republic of China (2007)

Dalam kurun waktu 7–8 tahun, AS berhasil menurunkan emisi dioksin/furan secara drastis. Penurunan yang substansial ini disebabkan keberhasilan pemerintah AS untuk menetapkan peraturan yang ketat tentang penggunaan insinerator pada industri yang berpotensi mengeluarkan dioksin/furan. Selain peraturan yang ketat, *monitoring* dan pengawasan dilakukan juga secara terus menerus (The Chlorine Chemistry Council, 2002). Pembaharuan teknologi juga dilakukan untuk menekan emisi dioksin/furan. Di Jepang, dioksin adalah salah satu zat pencemar berbahaya (*Hazardous Air Pollutants*) yang penanganannya diutamakan. Pada tahun 1999 pemerintah Jepang telah menetapkan langkah khusus penanganan jenis dioksin untuk mencegah dan mengatur pembuangan pencemaran lingkungan oleh senyawa ini. Peraturan ini menetapkan dasar penilaian dan standar-standar (lingkungan, pembuangan), regulasi dan langkah operasi (Imamura, 2003).

Di Indonesia, sumber pencemaran emisi dioksin/furan terbesar berasal dari pembangkitan tenaga dan pemanasan yaitu sebesar 66%, diikuti oleh industri pulp dan kertas (21%), pembakaran tak terkendali (7,7%), industri logam besi dan non besi (4,5%) (*ferrous and non ferrous*), dan sisanya merupakan hasil pembakaran dari industri mineral, transportasi dan tempat pembuangan sampah (Suminar, 2003). Berdasarkan jumlah tersebut sebagian besar (71,4%) terbuang ke udara. Industri produk (kertas dan tekstil) menyumbang 16,8% emisi, dan emisi melalui residu hasil produksi 9,4%. Pencemar di dalam tanah 2,1% dan di dalam air hanya 0,4% (Gambar 1).



Gambar 1 Estimasi emisi dioksin/furan di Indonesia tahun 2000 yang berasal dari:
a. sumber b. media

Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan tentang pencemaran dioksin/furan banyak terfokus pada masalah bahaya dioksin/furan bagi kesehatan serta masalah teknologi untuk mengurangi emisi. Di Indonesia, penelitian yang pernah dilakukan masih terbatas pada estimasi emisi dioksin/furan (Suminar, 2003), studi penyusunan baku mutu dioksin/furan (Kimia FMIPA UI, 2004), serta model pengendalian dan prediksi limbah dioksin pada pabrik kertas (Soesilo, 2005). Hal yang berkaitan dengan kebijakan ataupun peraturan pencemaran masih belum dikaji.

Salah satu kendala pada penelitian dioksin/furan antara lain diperlukan biaya analisis yang mahal. Tingkat konsentrasi untuk dioksin/furan yang sangat rendah membutuhkan alat yang sangat sensitif. Untuk mengatasi kendala tersebut, pendekatan pemodelan diharapkan dapat dijadikan salah satu alternatif pemecahan.

Penelitian-penelitian dioksin/furan dengan menggunakan model, pada umumnya masih merupakan kajian yang terpisah-pisah. Penelitian-penelitian atau kajian mengenai dioksin/furan untuk perhitungan dampak pencemaran pada ekonomi juga masih belum banyak dilakukan. Padahal, dengan mengetahui besarnya nilai kerusakan lingkungan akibat emisi dioksin/furan, dapat dijadikan dasar bagi pengambil keputusan untuk membuat kebijakan. Diharapkan dengan mengetahui nilai kerugian ekonomi yang

diakibatkan emisi dioksin/furan, maka seluruh lapisan masyarakat akan lebih menyadari besarnya kerugian yang diakibatkan pencemaran tersebut.

Pada penelitian ini akan dilakukan estimasi emisi dioksin/furan pada industri produksi logam besi dan non besi dan akan dikembangkan dalam bentuk model dampak pencemaran dioksin/furan terhadap lingkungan, sosial dan ekonomi. Berdasarkan inventarisasi yang telah dilakukan Suminar (2004), industri logam besi dan non besi bukan merupakan sumber penghasil emisi dioksin/furan utama di Indonesia, tetapi ke-4, yaitu sebesar 948 gTEQ pada tahun 2000. Penelitian yang menggunakan sumber emisi dioksin/furan yang berasal dari industri logam besi dan non besi hingga saat ini belum pernah diteliti, dibandingkan dengan sumber-sumber lain, maka dari itu penelitian ini berkonsentrasi pada industri logam besi dan non besi.

Keuntungan penelitian dengan pemodelan adalah kebutuhan biaya relatif lebih rendah, dan setiap variabel yang dianalisis dapat dikuantifikasikan, sehingga setiap alternatif kebijakan yang akan diambil lebih mudah untuk dibandingkan. Idealnya, emisi dioksin/furan diukur secara langsung dari sumber, tapi hal tersebut sangat sulit dilakukan, maka dilakukan estimasi emisi. Estimasi emisi ini harus dilakukan dengan akurat, perhitungan keakuratan dapat dilakukan dengan menggunakan teori ketidakpastian atau *uncertainty* (IPCC, 2000) dan perhitungan konsentrasi ambien akan dilakukan dengan metode dispersi. Estimasi dan dampak pencemaran akan dipetakan melalui suatu model dinamik dimana hasil simulasi dapat dijadikan dasar untuk pembuatan skenario kebijakan. Usulan kebijakan yang dihasilkan berdasarkan dari kuantifikasi variabel-variabel yang terkait. Informasi ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan sebagai penunjang pembuat keputusan dan kebijakan.

1.2. Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian adalah merumuskan alternatif kebijakan untuk pengendalian dioksin/furan dengan pendekatan sistem menggunakan model dinamik untuk melihat dampak pencemaran dioksin/furan pada lingkungan, sosial dan ekonomi.

Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memperoleh nilai emisi dan konsentrasi dioksin/furan ke udara yang berasal dari industri logam besi dan non besi

2. Memperoleh tingkat dampak dari emisi dioksin/furan terhadap faktor sosial, ekonomi dan lingkungan
3. Memberi rekomendasi alternatif kebijakan dioksin/furan dari segi pengendalian pencemaran

1.3. Kerangka Pemikiran

Berdasarkan data BPS (2004), laju pertumbuhan penduduk terus meningkat yaitu 0,5% pada tahun 2002 dan 1,5% pada tahun 2003. Pertambahan jumlah penduduk akan menyebabkan meningkatnya kebutuhan hidup yang ditandai dengan bertambahnya produksi barang dan jasa. Sebagai contoh adalah peningkatan produksi dari industri baja dari 0,5 juta ton pada tahun 1975 menjadi 2,5 juta ton pada tahun 1993 (Situs Krakatau Steel, 2005). Secara umum, sektor industri mengalami peningkatan tiap tahunnya. Pertumbuhan industri ini telah ikut mendorong pertumbuhan ekonomi. Namun demikian, pertumbuhan industri tersebut juga telah menimbulkan masalah lingkungan akibat bahan pencemar.

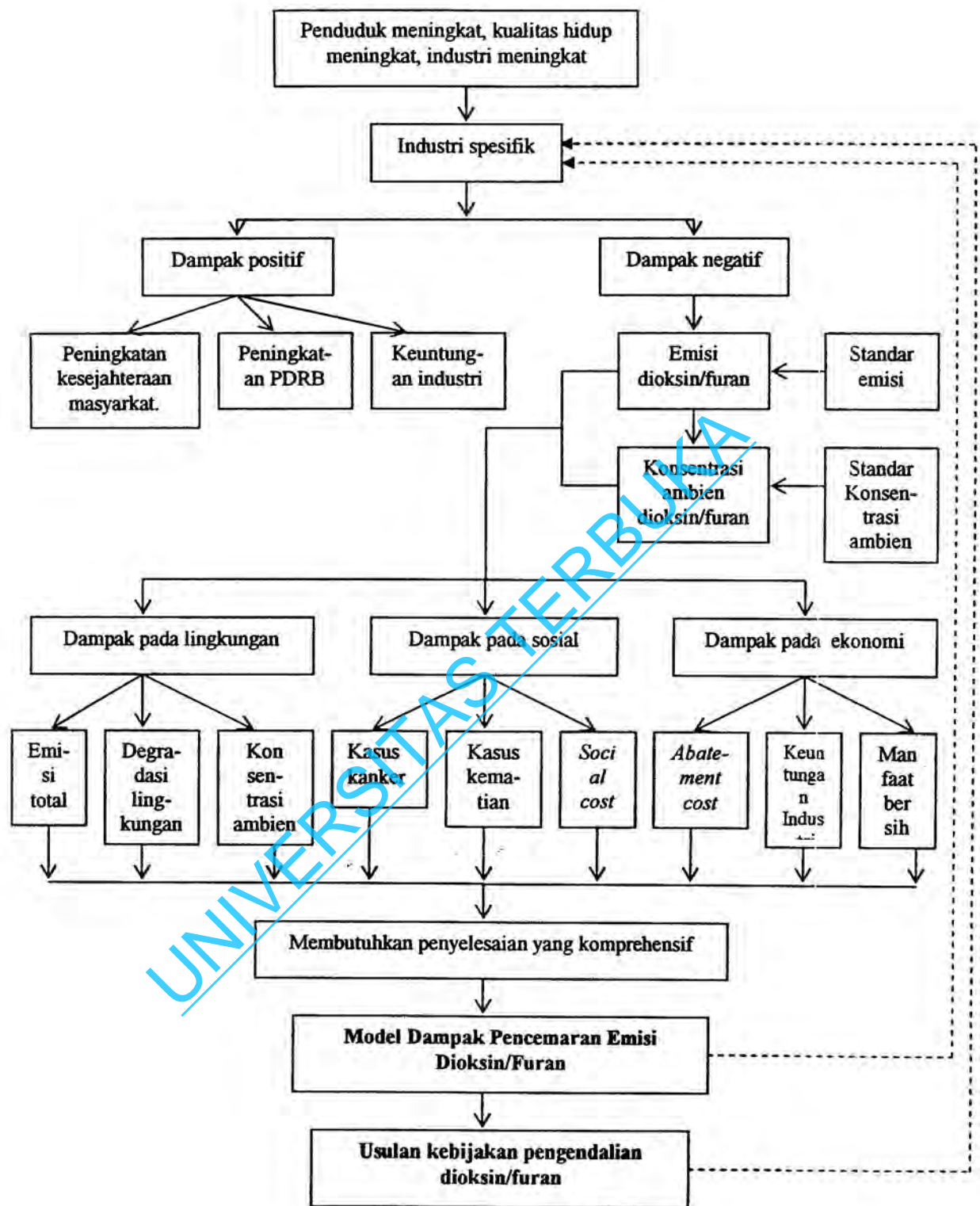
Dampak pencemaran dirasakan oleh masyarakat makin hari makin bertambah. Pada tahun 2002 persentase warga desa yang mengalami gangguan pencemaran air dan udara mengalami kenaikan dibanding dengan tahun 1996. Sebagai contoh di Jawa Barat, pada tahun 1996 tercatat 2,04% wilayah mengalami gangguan lingkungan akibat pencemaran udara, pada tahun 1999 meningkat menjadi 4,49% dan tahun 2002 menjadi 6,41% (BPS, 2004).

Adanya industri-industri spesifik, misalnya industri kertas, industri kimia, industri semen, ataupun industri besi baja akan memberikan dampak positif ataupun negatif. Dampak positif yaitu adanya peningkatan kesejahteraan masyarakat, yang juga akan meningkatkan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) setempat. Sedangkan dampak negatif adalah adanya emisi dioksin/furan. Emisi dioksin/furan ini apabila telah melebihi batas ambang, maka akan terjadi pencemaran. Pencemaran dioksin/furan akan berakibat pada lingkungan, sosial, maupun ekonomi.

Dampak pada lingkungan yaitu adanya penurunan kualitas udara sekitarnya, atau terjadinya degradasi terhadap kualitas udara; serta terjadinya konsentrasi ambien dioksin/furan yang melebihi ambang batas. Dampak pada sosial yaitu terjadi gangguan

pada kesehatan yang mengakibatkan terjadinya potensi kasus kanker yang meningkat yang dapat mengakibatkan kematian. Hal ini juga akan berimplikasi pada *social cost* yang harus dibayarkan sebagai kompensasi adanya pencemaran dioksin/furan. Dampak pada ekonomi adalah adanya *abatement cost* yang harus dikeluarkan industri untuk mengurangi pencemaran dioksin/furan. Selain itu, adanya pencemaran akan mempengaruhi keuntungan industri serta manfaat bersih yang dihasilkan dari industri tersebut. Secara tidak langsung, adanya pencemaran juga akan menyebabkan penurunan produktivitas kerja yang akhirnya menyebabkan berkurangnya pendapatan (Soeparmoko, 1997; Hung, 2005). Penyelesaian masalah dampak dioksin/furan membutuhkan penyelesaian yang komprehensif melalui suatu pendekatan kesisteman dengan menggunakan model dinamik. Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan suatu usulan kebijakan untuk pengendalian pencemaran dioksin/furan, yaitu kebijakan yang berdasarkan skenario-skenario, misalnya kebijakan dengan skenario berbasis ekonomi ataupun lingkungan. Kerangka pemikiran dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

UNIVERSITAS TERBUKA



Gambar 2 Kerangka pemikiran

1.4. Perumusan Masalah

Masalah-masalah yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah :

1. Pencemaran emisi dioksin/furan dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan masyarakat baik untuk jangka pendek (kerusakan hati, kehilangan berat badan, penurunan sistem kekebalan tubuh) ataupun jangka panjang (kanker, gangguan pada sistem reproduksi, cacat lahir), sedangkan emisi di Indonesia telah cukup tinggi, namun langkah pengendalian belum ada.
2. Studi ataupun penelitian-penelitian mengenai pencemaran dioksin/furan, khususnya di Indonesia masih belum banyak dilakukan, selain itu masyarakat dan pemerintah juga belum memberi perhatian khusus terhadap pencemaran tersebut. Hal ini diyakinkan oleh belum adanya perangkat kebijakan dan aturan-aturan mengenai emisi dioksin/furan.
3. Pada pembuatan perangkat kebijakan dibutuhkan informasi yang utuh, menyangkut aspek-aspek pencemaran dengan mempertimbangkan dampak pada sosial, ekonomi, dan lingkungan. Namun hingga saat ini, studi dampak pencemaran dioksin/furan pada lingkungan, sosial dan ekonomi belum pernah dilakukan.

Untuk itu suatu konsep dan strategi pengendalian dampak pencemaran dioksin/furan perlu dikaji. Penelitian ini, yang akan menerangkan model-model dampak pencemaran pada ekonomi, lingkungan, dan sosial, secara komprehensif dikaji dalam satu bentuk model dinamik. Model dinamik akan memperlihatkan keterkaitan antara emisi yang terjadi dengan dampak yang ditimbulkan untuk masa sekarang ataupun simulasi masa yang akan datang. Sehubungan dengan ini, maka pertanyaan penelitian dalam penelitian ini adalah:

1. Seberapa besar dampak pencemaran emisi dioksin/furan secara luas pada sosial, ekonomi dan lingkungan dimasa mendatang?
2. Bagaimanakah alternatif kebijakan lingkungan jika diterapkan untuk menurunkan pencemaran dioksin/furan di masa mendatang?

Kendala-kendala yang ditemui pada pembuatan model penelitian ini adalah:

1. keterbatasan data (misalnya data kesehatan, data penyebaran, data *abatement cost*), untuk mengatasi hal tersebut maka akan digunakan *benefit transfer* dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan
2. belum adanya kepedulian terhadap pencemaran dioksin/furan sehingga akan sulit untuk mencari data emisi dari industri, untuk mengatasinya akan digunakan faktor emisi dari Standar *Toolkit* UNEP

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini akan mengkaji pencemaran dioksin/furan yang penyebarannya melalui udara, penyebaran dioksin/furan pada media lain dapat terjadi, namun di luar lingkup penelitian ini. Sebagai sumber pencemar adalah pembakaran pada insenerator dari industri logam di suatu kawasan industri.

Dampak emisi pada lingkungan dikaji berdasarkan total emisi, konsentrasi di ambien, dan laju degradasi udara. Dampak emisi pada sosial dikaji berdasarkan kasus kanker, kematian, dan *social cost* (biaya sosial); dampak emisi pada ekonomi dikaji berdasarkan *abatement cost*, keuntungan bersih industri, manfaat bersih dan *PV NetBen*.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap masyarakat, ilmu pengetahuan ataupun pemerintah sebagai berikut:

1. Masyarakat: memberi gambaran/kesadaran pada masyarakat akan bahaya pencemaran dioksin/furan
2. Pemerintah: Memformulasikan suatu bentuk kebijakan untuk pengendalian pencemaran dioksin/furan yang bersumber dari industri
3. Ilmu Pengetahuan:
 - a. Memberikan kontribusi bagi pengembangan model pencemaran khususnya dioksin/furan
 - b. Sebagai bahan referensi untuk mengembangkan bidang ilmu pengetahuan bidang pencemaran

1.7. Novelty Penelitian

Penelitian ini akan memberikan kontribusi yang baru dalam hal:

- a. Model dampak pencemaran dioksin/furan melalui *system dynamics*
- b. Informasi pencemaran dioksin/furan melalui simulasi *system dynamics* untuk mengkaji dampak dan risiko pada masyarakat, lingkungan dan ekonomi

UNIVERSITAS TERBUKA

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dioksin/Furan dan Dampaknya pada Lingkungan, Kesehatan, dan Sosial

Ekonomi

Dioksin/furan termasuk sekelompok zat kimia berbahaya yang termasuk dalam golongan senyawa PCDD (*Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxin*) dan PCDF (*Polychlorinated Dibenzo Furan*). Golongan PCDD memiliki 75 jenis senyawa dan golongan PCDF 135 jenis. Ke 210 jenis senyawa tersebut mempunyai taraf toksisitas yang berbeda-beda, mulai dari yang taraf toksisitas rendah hingga taraf toksisitas tinggi (Olie *et al.*, 1998; Energy Institute London, 2004). Senyawa yang memiliki toksisitas paling tinggi adalah TCDD (*2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin*) yang biasa disebut dioksin. Senyawa golongan furan dinyatakan sedikit kurang toksik dibanding dengan golongan dioksin (Akhadi, 1999). Namun diantaranya ada yang memiliki kadar racun yang tinggi seperti TCDF (*2,3,7,8 tetrachloro dibenzofuran*) yang biasa disebut furan. Zat-zat tersebut tidak diproduksi secara sengaja, tapi dihasilkan sebagai produk samping proses pembakaran dan beberapa proses industri kimia (Connell dan Miller, 1995).

Sifat fisika dan kimia dari dioksin/furan tercantum pada Tabel 2.

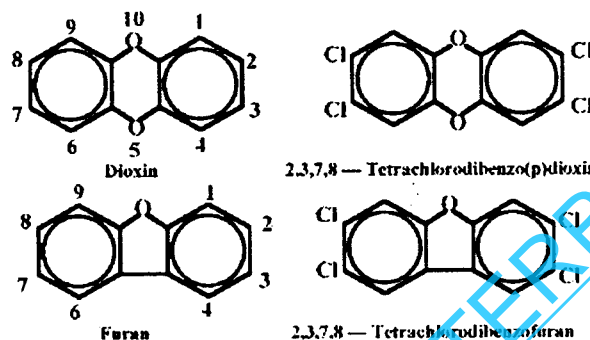
Tabel 2 Sifat fisika dan kimia dioksin/furan

	Dioksin	Furan
Titik Didih (°C)	284 - 510	375 - 537
Titik Leleh (°C)	89 - 322	184 - 258
Kelarutan (g L ⁻¹)		
a. o-diklorobenzena	1,4	
b. kloroform	0,37	
c. n-oktanol	0,048	
d. metanol	0,01	
e. air	2 x 10 ⁻⁷	
Waktu Paruh		
a. Udara	2 hari - 3 minggu	1-3 minggu
b. Air	2 hari -8 bulan	3 minggu -8 bulan
c. Tanah	2 bulan - 6 tahun	8 bulan - 6 tahun
d. Sedimen	8 bulan - 6 tahun	2-6 tahun
Suhu dekomposisi (°C)	> 700	

Sumber: Diolah dari Connell dan Miller (1995) dan Olie *et al.* (1998)

Dioksin/furan merupakan padatan kristal tidak berwarna pada suhu ruang dan mempunyai kestabilan termal yang tinggi. Zat ini larut dalam pelarut polar maupun pelarut non polar, tetapi tingkat kelarutan pada pelarut non polar lebih besar dibandingkan pelarut polar. Selain itu, dioksin/furan juga cenderung akan terakumulasi dalam jaringan lemak atau mempunyai sifat lipofilik.

Berdasarkan struktur kimianya, dioksin dan furan mempunyai struktur dasar yang mirip, yaitu mempunyai 2 (dua) cincin benzena dengan substitusi klorin, sehingga memiliki kesamaan sifat. Struktur dari dioksin dan furan seperti pada Gambar 3.

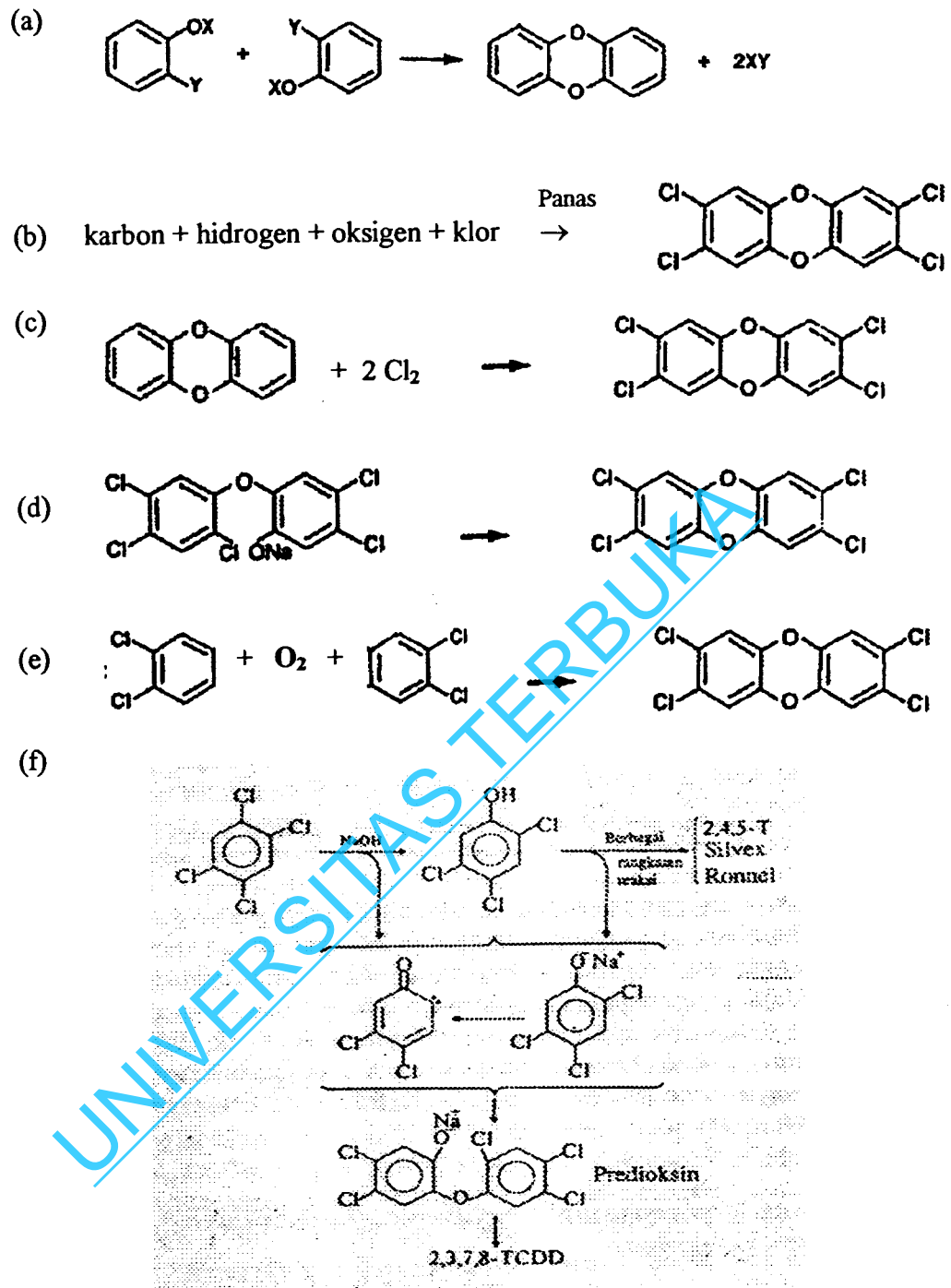


Gambar 3 Struktur dioksin dan furan.

Secara umum untuk semua proses pembakaran senyawa yang mengandung unsur klor dan karbon pada suhu 180–400 °C akan terbentuk gas dioksin/furan. Juga telah dicatat bahwa berdasarkan penelitian yang dilakukan Gullet *et al.* (1990) dari EPA, pembakaran zat padat yang mengandung klor serta penggunaan katalis logam Cu dan Fe juga dapat menstimulus terjadinya dioksin/furan. Persyaratan untuk terbentuknya dioksin/furan telah didefinisikan oleh Esposito *et al.* (1980) sebagai berikut:

- a. Prekursor harus mengandung sebuah cincin benzena tersubstitusi-orto dengan substituen yang mengandung sebuah oksigen yang melekat langsung pada cincin
- b. Dimungkinkan untuk dua substituen untuk bereaksi dengan satu sama lain untuk membentuk suatu senyawaan yang bebas (Gambar 4a)

Pembentukan dengan proses pembakaran ini dapat pula terjadi melalui mekanisme yang disebut *de novo synthesis*, yaitu dioksin/furan terbentuk dari struktur karbon (C) yang tidak dapat diekstrak, yang pada dasarnya tidak sama dengan produk akhir atau dioksin/furan (UNEP Chemicals, 2003; Energy Institute London, 2004).



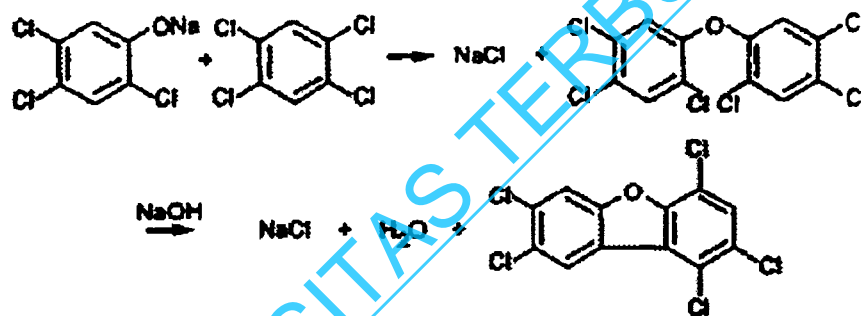
Sumber: Esposito *et al.* (1980); Connell dan Miller, 1995; Resource Futures International for the World Bank and CIDA, 2001

Gambar 4 Reaksi-reaksi terbentuknya dioksin/furan
(a) jalur umum pembentukan dioksin/furan (b) pembakaran (c) klorinasi
(d) kondensasi (e) oksidasi (f) dari rangkaian reaksi pembentukan dioksin
selama pembuatan pestisida.

Smit (2004) juga menyatakan bahwa dioksin/furan akan terbentuk bila terdapat kondisi suhu pembakaran antara 200–800 °C (ideal antara 200– 400 °C), terdapat kandungan senyawa klor, terdapat senyawa organik, terutama aromatik dan adanya ketersediaan oksigen.

Selain pembentukan TCDD/TCDF terjadi pada pembakaran (Gambar 4b), dapat pula terjadi pada proses klorinasi (Gambar 4c) senyawa dibenzo-dioksin (DBD), proses kondensasi (Gambar 3d), proses oksidasi senyawa diklorobenzena (Gambar 4e) dan juga dari rangkaian pembuatan pestisida atau derivat dari jenis pestisida organo klor (Gambar 4f).

Menurut Buser (1978) (dalam Esposito *et al.*, 1980), dibenzofuran dapat terbentuk antara klorofenol dan poliklorobenzena dengan reaksi sebagai berikut:



Pada industri logam, umumnya digunakan *scrap* sebagai bahan dasarnya. *Scrap* yang mengandung kotoran organik (oli, cat, minyak) inilah yang menjadi prekursor dan akan menghasilkan emisi tinggi dari senyawaan organohalogen aromatik seperti PCDD/PCDF, klorobenzena atau PCB (UNEP, 2003; Otles dan Yildiz, 2003; Toxic Air Contaminant Identification, 1997).

Sumber-sumber yang berpotensi terbentuknya pencemaran dioksin/furan dapat dikategorikan berdasarkan sumber primer dan sumber sekunder. Sumber primer diperoleh melalui 3 proses, sedangkan sumber sekunder adalah berasal dari resevoir yang berhubungan dengan pembentukan dioksin/furan sebelumnya dimana dioksin/furan telah terakumulasi (UNEP Chemicals 1999; 2003; UNEP 2003). Sumber-sumber tersebut adalah:

1. proses kimia, misalnya produksi pulp dan kertas yang menggunakan khlor sebagai pemutih
2. proses pemanasan dan pembakaran, yang meliputi insinerator, pembakaran zat padat atau bahan bakar cair, dan proses pemanasan logam
3. proses biogenik, dimana dioksin furan sebagai prekursor, misalnya pada kompos
4. sumber resevoir seperti *landfills* dan *waste dump* yang telah terkontaminasi oleh tanah dan sedimen dari dioksin/furan yang telah terakumulasi cukup lama

Proses pembentukan yang melibatkan 3 reaksi umum dapat diperinci atas sumber bahan baku yang digunakan dan diklasifikasikan menjadi 10 kategori dengan masing-masing sub kategori seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

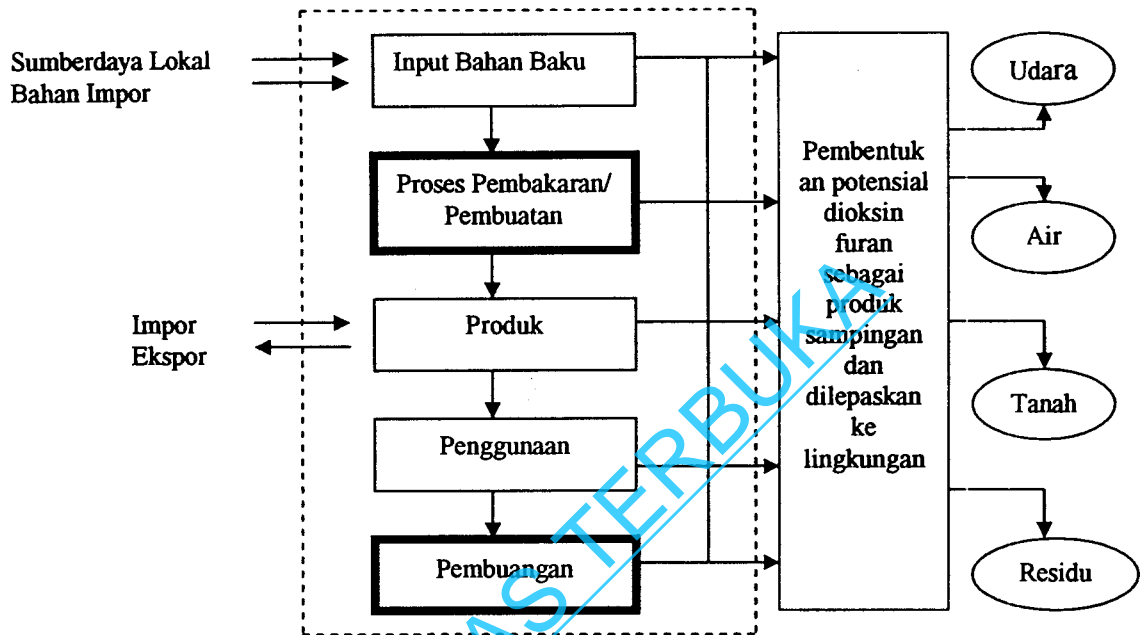
Tabel 3 Matrik kategori sumber emisi dioksin/furan beserta media penyebarannya

No	Sumber Kategori dan sub-kategori	Media				
		Udara	Air	Tanah	Produk	Residu
1	Insenerasi (sampah kota, limbah berbahaya, limbah medis)	x				x
2	Produksi logam besi dan non-besi (pemasiran biji besi, produksi kokas, produksi tembaga, zink dan sebagainya)	x				x
3	Pembangkitan tenaga dan pemanasan (minyak fosil, pembangkit tenaga biomassa, biomassa pemasakan rumah)	x		x		x
4	Produksi produk mineral (kлин semen, kapur, pencampuran aspal, batu bara dan sebagainya)	x				x
5	Transport (mesin oli berat, mesin diesel dan sebagainya)	x				
6	Pembakaran tak terkendali (kebakaran biomassa)	x	x	x		x
7	Produksi bahan kimia dan barang konsumsi (pulp dan kertas, PVC dan sebagainya)	x	x		x	x
8	Lain-lain (pengeringan biomassa, krematorium)	x	x	x	x	x
9	Disposal/landfill (<i>landfill leacheate</i>)	x	x	x		x
10	Identifikasi dan potensial <i>hot spot</i> (produksi sampingan organik terklorinasi, kebakaran hutan dan sebagainya)	x	x	x	x	x

Sumber: Diolah dari UNEP (2003)

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa sumber penyebaran emisi dioksin/furan terbesar adalah melalui udara.

Terdapat 5 bentuk sumber pelepasan dioksin/furan secara langsung yaitu melalui udara, air, tanah, produk (kertas, tekstil dan sebagainya) serta residu produksi (residu zat cair, padat atau lumpur yang merupakan sisa dari produksi). Skema penyebaran dioksin/furan di lingkungan dapat dilihat pada Gambar 5.



Kotak garis tebal menggambarkan tahapan dioksin furan dapat terbentuk
Sumber: UNEP (2003)

Gambar 5 Skema penyebaran dioksin/furan

Pencemaran Dioksin/Furan di Udara

Secara umum, sumber pencemaran udara dapat dikelompokkan dalam beberapa golongan untuk menilai dan memperkirakan dampak yang timbul terhadap lingkungan udara (Soedomo, 2001), yaitu:

- sumber titik (*point source*), yang termasuk dalam kelompok ini adalah titik cerobong asap industri
- sumber garis (*line source*), yang merupakan integrasi dari sumber-sumber titik yang tidak terhingga banyaknya, sehingga dapat dianggap menjadi sumber garis yang memancarkan pencemar udara, misalnya jalan raya yang mengemisikan CO, NO_x dan sebagainya.

- c. sumber area (*area source*), yang merupakan integrasi dari sumber titik dan garis, misalnya daerah penimbunan sampah dan sebagainya.

Sumber pencemar udara dapat pula digolongkan ke dalam sumber diam (*stationary*), misalnya industri dan sumber bergerak (*mobile*), misalnya transportasi.

Secara teknis, Spash dan McNally (2001) dan Rabl *et al.* (2005) menyarankan langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengkaji degradasi lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran udara. Langkah-langkah tersebut adalah:

1. Menggunakan model dispersi udara untuk memperkirakan perubahan emisi polutan di atmosfer.
2. Menghitung dampak perubahan konsentrasi pencemar di atmosfer pada *recipient* (makhluk hidup).
3. Menghitung dampak pada ekosistem menggunakan fungsi *dose-response*.
4. Mengestimasi kerusakan dengan menghitung secara ekonomi dampak pencemaran (*valuasi ekonomi*).

Pencemaran dioksin/furan sebagian besar terjadi melalui media udara dimana udara merupakan faktor yang penting dalam kehidupan. Sifat persisten, akumulasi dan beracun dari dioksin/furan menyebabkan pencemaran dioksin/furan berdampak besar pada lingkungan, kesehatan (sosial) dan ekonomi.

2.1.1. Estimasi Emisi dan Konsentrasi Dioksin/Furan di Lingkungan

Pencemaran dioksin/furan diawali dengan berkembangnya peningkatan produksi industri yang mengandung unsur klor (plastik, PVC), industri besi baja, industri kimia dan sebagainya. Industri-industri tersebut selain memberikan kemudahan dan meningkatkan kesejahteraan tapi di lain pihak juga memberikan dampak negatif yaitu pencemaran yang disebut juga eksternalitas negatif. Pencemaran dioksin/furan tercatat menimbulkan penurunan kualitas udara, seperti adanya industri peleburan besi di Netherlands menyebabkan kualitas udara terkontaminasi dioksin/furan sebesar 22.700 pg TEQ/gr debu (Rappe, 1996). Contoh lain adalah di Jerman, konsentrasi rata-rata dioksin/furan yang keluar dari cerobong insinerator sampah adalah 8 ng I-TEQ/m³, sedangkan batas konsentrasi adalah 0,1 ng I-TEQ/m³ (*International Toxic Equivalent*) pada tahun 1994 (UNEP Chemical, 1999). Penurunan kualitas udara, secara tidak

langsung akan menurunkan fungsi lingkungan atau terjadi degradasi lingkungan. Laju degradasi atau menurunnya kondisi lingkungan dapat dirumuskan sebagai perbandingan antara keadaan yang sebenarnya dan keadaan standar, sebagai berikut (Fauzi dan Anna, 2005):

$$\mu = 1 / \left(1 + e^{\frac{\text{hat}}{\text{hst}}} \right) \quad (2.1)$$

μ = laju degradasi/penurunan kualitas

hat = hasil sebenarnya

hst = hasil standar

Pengukuran konsentrasi emisi dioksin/furan dapat dilakukan dengan cara menggunakan satuan TEQ (*Toxic Equivalent*). Nilai TEQ merupakan jumlah konsentrasi semua komponen dioksin/furan yang masing-masing telah dikalikan dengan TEF (*Toxic Equivalent Factor*). Sedangkan TEF menyatakan berapa kali tingkat toksisitas satu isomer dioksin atau furan terhadap tingkat toksisitas 2,3,7,8-TCDD apabila 2,3,7,8-TCDD sama dengan 1 (UNEP, 2003). Terdapat berbagai cara perhitungan TEF, seperti yang dinyatakan dengan I-TEF (*International Toxic Equivalent Factor*), dan ada pula yang dianjurkan oleh WHO, yaitu WHO-TEF yang disyaratkan penggunaannya dalam Konvensi Stockholm. Tidak ditemukan perbedaan yang signifikan dari dua cara pengukuran tersebut.

Estimasi emisi dioksin/furan ke lingkungan per tahun (dinyatakan dalam g TEQ per tahun) sangat dipengaruhi oleh data aktivitas yaitu produksi yang dihasilkan atau bahan mentah yang digunakan sesuai dengan persamaan 2.2 (UNEP, 2003; EPA, 2003):

$$E_{yr} = A_{yr} \times EF \quad (2.2)$$

E_{yr} = emisi /tahun (g TEQ/tahun)

A_{yr} = data aktivitas per tahun yaitu banyaknya bahan baku atau produk yang diproduksi (kg/tahun)

EF = faktor emisi, massa emisi dioksin/unit tingkat aktivitas, dinyatakan dalam μg I-TEQ per unit bahan baku atau produk yang diproduksi.

Penentuan faktor emisi dapat dilakukan dengan menggunakan *Standardized Toolkit* yang dikeluarkan UNEP (UNEP, 2003). Nilai faktor emisi bergantung pada kategori dan sub-kategori suatu aktivitas/kegiatan. Selain itu, faktor emisi juga ditentukan oleh jenis teknologi dan jenis penyebaran media emisi.

Konsentrasi pencemar di udara dipengaruhi oleh faktor dispersi, dimana salah satu penentunya adalah kondisi meteorologi. Faktor dispersi juga digunakan untuk menjelaskan pengaruh jarak penyebaran terhadap konsentrasi ambien. Model dispersi yang umum digunakan adalah model dispersi Gaussian Plume (Colls, 2002; Liu dan Liptak, 2000) yaitu :

$$\chi(x, y, z, H) = \frac{Q}{(2\pi\mu\sigma_y\sigma_z)} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (2.3)$$

$\chi(x, y, z, H)$	= konsentrasi pada titik x, y, z, g/m ³
σ_y, σ_z	= standar deviasi pada arah y dan z, m
H	= tinggi total pelepasan, m
Q	= kecepatan emisi pencemar, g/s
μ	= kecepatan angin rata-rata, m/s
y	= jarak lateral, m
z	= jarak vertikal, m

Asumsi yang digunakan pada model ini adalah sistem dalam keadaan mantap (*steady state*) yaitu besarnya emisi dari sumber konstan; kecepatan angin, arah dan karakteristik difusi uap konstan; serta tidak terjadi perubahan kimia. Modifikasi dari model ini adalah model Gaussian Plume yang digunakan untuk keadaan *long term*, dimana data waktu lebih dari 1 bulan. Diasumsikan bahwa arah angin terdistribusi secara random pada rata-rata periode (Schenelle dan Dey, 1999).

Untuk menghitung konsentrasi polutan NO_x dan SO₂ dari industri yang menggunakan cerobong (sumber tak bergerak) Hamonangan *et al.* (2003) melakukan modifikasi persamaan Gaussian sebagai berikut:

$$c = \frac{Q_p}{\pi\sigma_y\sigma_z\mu} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2.4)$$

- c = konsentrasi polutan
 Q_p = kecepatan emisi
 H_e = tinggi cerobong efektif
 μ = kecepatan angin
 σ_y = lebar cerobong pada arah y
 σ_z = lebar cerobong pada arah z

Khusus untuk dioksin/furan Rufo dan Rufo Jr. (2004), serta Rabl dan Spadaro (1998) menggunakan model ISC yaitu model yang telah memodifikasi persamaan dispersi Gaussian. Modifikasi meliputi refleksi dari permukaan tanah (*ground*), serta batas *mixing height* untuk menentukan penyebaran vertikal antara permukaan tanah dan *mixing height* (Rufo dan Rufo Jr. 2004), sehingga persamaan menjadi sebagai berikut:

$$\chi = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (2.5)$$

- χ = konsentrasi pada jarak x m dan y m
 Q = emisi polutan (massa per unit waktu)
 K = koefisien konversi
 V = jarak vertikal
 D = peluruhan (*decay term*)
 \exp = eksponensial
 σ_y, σ_z = standar deviasi pada jarak lateral dan vertikal distribusi konsentrasi (m)

2.1.2. Dampak Pencemaran Dioksin/Furan pada Kesehatan

Dioksin/furan berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan hidup, antara lain dapat memicu kanker, alergi, dan merusak susunan saraf (baik sentral ataupun periperal). Dioksin/furan juga dapat mengganggu sistem endokrin yang menyebabkan kerusakan pada sistem reproduksi dan sistem kekebalan yang terjadi pada makhluk hidup termasuk janin (Matsushita, 2003; NIEHS, 2001).

Beberapa negara menerapkan aturan ambang batas toleransi konsentrasi dioksin yang diizinkan dalam tubuh manusia. Di Amerika Serikat ditetapkan nilai ambang batas 0,06 pg/kg berat badan/hari, Kanada 10 pg/kg berat badan/hari dan Jerman 1 pg/kg berat badan/hari. Hasil penelitian Universitas Kiel dan Environmental Protection Agency (EPA, 2003) menunjukkan bahwa secara normal tubuh manusia dewasa dapat menerima dioksin sebanyak 1 hingga 10 pg/kg berat badan/hari tanpa membahayakan kesehatan. Sedangkan konsentrasi yang dianggap aman pada bayi adalah 0,008 pg/kg berat badan/hari (Widyatmoko, 1999). Berdasarkan percobaan dosis oral 0,8 mikrogram dioksin dapat membunuh hamster, dan 1 mikrogram dapat mengakibatkan kematian lebih dari 50% percobaan (Akhadi, 1999). Ekspose dioksin/furan pada manusia sehari-hari tidak menyebabkan semua orang yang terkontaminasi zat kimia itu mengidap kanker, namun dioksin terbukti meningkatkan kasus kanker di masyarakat. Menurut Ackerman (2003), apabila terpapar dioksin dengan konsentrasi 1 pg/kg berat badan/hari, maka risiko terkena kanker adalah 1%.

Kanker yang ditimbulkan akibat dioksin/furan memerlukan waktu sekitar 20-30 tahun, dengan penambahan kadar sedikit demi sedikit (akumulatif). Waktu paruh dioksin/furan sekitar 7 tahun dalam tubuh manusia, yaitu dibutuhkan waktu 7 tahun untuk mengurangi konsentrasi hingga separuhnya (Soemarwoto, 2004; Government of Japan, 2003). Mekanisme masuknya dioksin/furan ke dalam tubuh melalui beberapa cara, seperti tertelan bersama makanan atau minuman (*ingestion*) dan juga melalui penghirupan (*inhalation*) udara yang tercemar dioksin/furan ataupun melalui kontak kulit (*dermal contact*). Kemungkinan penyebaran dioksin/furan melalui udara, seperti terhirup manusia atau hewan lebih besar, sebelum dioksin jatuh ke tanah (Aritonang, 1999). Dioksin/furan yang masuk ke tanah berpotensi terserap akar tanaman, dan melalui rantai makanan sampai ke makhluk hidup. Berdasarkan penelitian NIEHS (2001), dioksin/furan mempengaruhi sel sama seperti kerja estrogen. Dioksin/furan masuk ke dalam sel dan berikatan dengan protein yang ada pada sel yang disebut reseptor Ah. Reseptor berikatan dengan dioksin/furan lalu berikatan dengan *Deoxyribo Nucleic Acid* (DNA) dan selanjutnya mempengaruhi gen.

Pengaruh dampak dioksin/furan pada kesehatan ataupun ekosistem dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan *dose-response*. Persamaan *dose-response*

yaitu suatu persamaan yang menunjukkan hubungan antara dosis atau konsentrasi pencemar terhadap akibat atau response yang ditimbulkan terhadap manusia atau makhluk hidup lainnya. Nilai persamaan *dose response* menghasilkan kemiringan kurva (*slope*) yang merupakan nilai spesifik untuk masing-masing polutan. Berdasarkan USEPA, kemiringan (*slope*) untuk kasus kanker yang diakibatkan oleh dioksin/furan atau *dose response* dioksin/furan adalah 1×10^{-4} pg/kg berat badan/hari (Rufo dan Rufo Jr., 2004).

Kajian dampak pencemaran dioksin/furan pada kesehatan telah dilakukan oleh Rabl dan Spadaro (1998) serta Rufo dan Rufo Jr. (2004). Keduanya menggunakan metode *dose-response* untuk menghitung pengaruh konsentrasi pada kesehatan serta pendekatan inhalasi untuk perhitungan konsentrasi dioksin/furan. Pada kajian Rufo dan Rufo Jr. (2004), karena tidak ada data informasi paparan melalui *ingestion* (makanan), maka dilakukan pendekatan *inhalation exposure* (INH). Paparan melalui inhalasi diasumsikan 10% dari total paparan (*total exposure*). Menurut Rufo dan Rufo Jr. (2004), perhitungan nilai INH, keterkaitannya dengan *slope dose-respons* dan jumlah kasus yang terkena kanker adalah:

$$\text{INH (mg/kg/day)} = \frac{(\text{Ca} \times \text{IR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED} \times \text{ABS})}{(\text{BW} \times \text{AT})} \quad (2.6)$$

INH = *inhalation exposure* Ca = konsentrasi ambien

IR = kecepatan inhalasi EF = frekwensi paparan

ET = waktu paparan ED = lama paparan

ABS = fraksi absorpsi BW = berat badan

AT = total waktu rata-rata terpapar dioksin

$$\text{Total Exposure} = \text{INH, tetapi kecepatan totalnya (total rate, TR) merupakan 10 kali kecepatan inhalasi (IR)} \quad (2.7)$$

dan risiko terkena kanker adalah:

$$\text{Risiko terkena kanker} = \text{Total Exposure} \times \text{slope dose-respon} \quad (2.8)$$

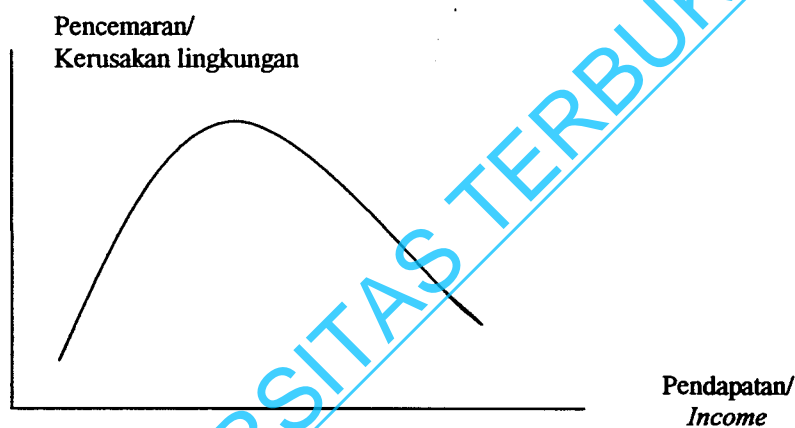
$$\text{Koef. risiko individu} = \text{risiko terkena kanker/harapan hidup rata-rata} \quad (2.9)$$

$$\text{Banyaknya kasus kanker} = \text{populasi terpapar} \times \text{koefisien risiko individu} \quad (2.10)$$

Berdasarkan jumlah yang terkena kanker, 16 % atau 0,16 akan mengalami kematian.

2.1.3. Dampak Pencemaran Dioksin/Furan pada Faktor Sosial-Ekonomi

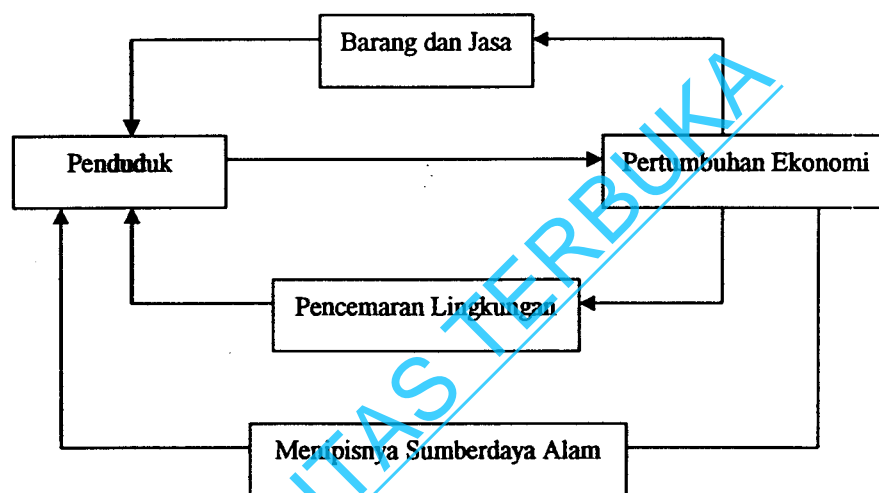
Pencemaran juga berdampak pada sosial atau masyarakat, misalnya terhadap pendapatan (*income*). Hubungan antara kerusakan lingkungan akibat pencemaran dengan pendapatan digambarkan dengan Kurva Kuznet Lingkungan yang dikenal dengan “kurva U terbalik” (*inverted U*) (Gambar 6). Kerusakan lingkungan akan meningkat dengan meningkatnya pendapatan per kapita, namun setelah mencapai titik tertentu, kerusakan lingkungan akan menurun meskipun pendapatan naik. Pencapaian titik tertentu tersebut, yaitu ketika kebutuhan dasar telah terpenuhi, perhatian terhadap lingkungan menjadi meningkat. Hal ini menyebabkan kemauan untuk mengurangi pencemaran menjadi tinggi, sehingga kerusakan lingkungan mulai berkurang.



Gambar 6 Kurva Kuznet lingkungan

Keterkaitan antara pendapatan dan lingkungan dalam hal ini pencemaran juga telah dikaji oleh Hung (2005). Pendapatan akan mempengaruhi kualitas lingkungan secara langsung ataupun tidak langsung. Makin tinggi pendapatan, maka kebutuhan (*demand*) juga makin meningkat. Di lain pihak, adanya proses teknologi ataupun peraturan-peraturan mengenai pencemaran, dapat mengurangi pencemaran. Secara langsung, pencemaran dapat mengurangi produktivitas tenaga kerja (*human capital*) serta mengurangi produktivitas dari kapital (*man-made capital*) itu sendiri. Misalnya, berkurangnya produktivitas tenaga kerja yang disebabkan berkurangnya hari kerja karena masalah kesehatan. Contoh lain adalah, adanya pencemaran yang mengakibatkan peralatan produksi menjadi mudah rusak (berkarat), sehingga mengurangi produksi.

Menurut Suparmoko (1997), pencemaran lingkungan juga berkaitan dengan jumlah penduduk. Keterkaitan antara pencemaran lingkungan, jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan sumberdaya alam dapat dijelaskan dalam Gambar 7. Kenaikan jumlah penduduk perlu didukung oleh penyediaan barang dan jasa yang lebih besar. Peningkatan barang dan jasa meningkatkan produksi, dan menggunakan sumberdaya alam lebih besar. Peningkatan produksi yang tidak terkendali selanjutnya akan meningkatkan pencemaran. Oleh karena itu, pencemaran merupakan fenomena yang selalu ada sebagai akibat dari kegiatan ekonomi.



Sumber: Suparmoko (1997)

Gambar 7 Hubungan antara jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, sumberdaya alam dan lingkungan

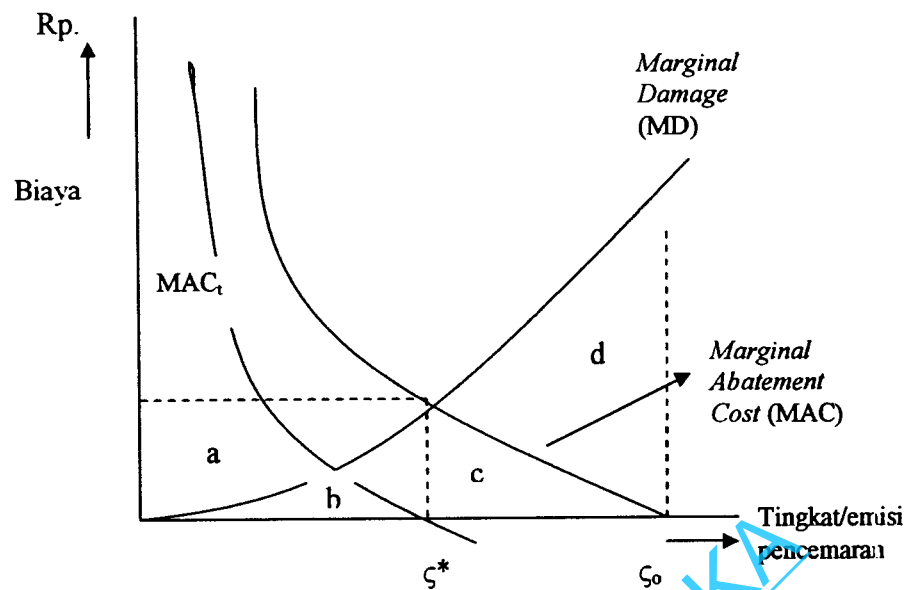
Dalam penentuan nilai ekonomi dan keterkaitannya dengan masalah kesehatan, berdasarkan kajian Syahril *et al.* (2002) nilai dari kasus kematian dapat dihitung dengan *Value of Statistical Life (VOSL)*, yaitu:

$$VOSL = \sum_t \frac{w}{(1+d)^t} \tag{2.11}$$

- w = rata-rata penghasilan individual tahunan (*annual individual income*)
- d = *discount rate*
- t = rata-rata periode kerja individual (*average individual working period*)

Rabl dan Spadaro (1998) serta Rufo dan Rufo Jr (2004) juga melakukan kajian dengan pendekatan VOSL untuk perhitungan dampak dioksin/furan secara ekonomi. Rabl dan Spadaro (1998) menggunakan nilai VOSL sebesar 3,1 *Mega European Currency Unit* (MECU) ~ \$ 3,5 juta, Sedangkan pada kajian Rufo dan Rufo Jr (2004), nilai VOSL yang digunakan adalah \$ 153.000–358.000, dan VOI (*Value of Injury*) adalah \$ 477–2.870. Pendekatan pada kajian ini berdasarkan *benefit transfer* VOSL untuk India yang dilakukan oleh Simon *et al.* (1999 dalam Rufo dan Rufo Jr., 2004). Estimasi VOSL disesuaikan berdasarkan perbedaan harga, perbedaan kurs mata uang dan perbedaan pendapatan antara Filipina dan India.

Adanya pencemaran juga akan berimplikasi terhadap biaya. Biaya ekstra yang harus dikeluarkan oleh suatu perusahaan untuk mengurangi tingkat pencemaran disebut *abatement cost*. Pengurangan ini dilakukan melalui perubahan teknologi (misalnya, menambahkan penyaring pada pengeluaran debu), penjadwalan (misalnya, mengurangi jam operasi) atau perubahan bahan baku (Hung, 2005; Fauzi, 2004). Pada analisis ekonomi pencemaran, dibuat pengukuran *Marginal Abatement Cost* (MAC). Kurva MAC menghubungkan antara besarnya biaya untuk pengurangan pencemaran atau biaya penghematan jika pencemaran dikurangi. Sedangkan *Marginal Damage* (MD) menggambarkan besarnya biaya akibat kerusakan yang diakibatkan oleh pencemaran. Biaya kerusakan ini diakibatkan oleh dampak pencemaran pada lingkungan (kerusakan lahan), kesehatan dan sebagainya. Hubungan besaran-besaran tersebut digambarkan sebagai kurva MDC dan MAC seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Tingkat pencemaran yang efisien

Biaya pengurangan marginal (MAC) akan meningkat seiring dengan pengurangan pencemaran. Kenaikan biaya tersebut dihasilkan dari pengurangan tingkat pencemaran, antara lain dihasilkan melalui inovasi teknologi, pengganti teknik produksi yang membutuhkan tambahan biaya. Secara ideal, tingkat pencemaran yang efisien pada titik ζ^* dicapai bila kerusakan kurva marginal (MD) berpotongan dengan kurva biaya pengurangan marginal (MAC). Untuk tingkat pencemaran di atas ζ^* ($\zeta > \zeta^*$), maka masyarakat harus menanggung akibat dari kerusakan lingkungan. Sebaliknya, untuk tingkat pencemaran di bawah ζ^* ($\zeta < \zeta^*$), maka industri yang harus membayar lebih mahal untuk pengendalian pencemaran tersebut. Titik ζ_0 adalah titik dimana industri melepaskan pencemaran sebesar ζ_0 dengan tidak mengeluarkan biaya sedikitpun untuk mengurangi pencemaran (MAC = 0). Hal ini dapat terjadi bila diasumsikan tidak ada intervensi pemerintah untuk mengendalikan pencemaran.

Bila ada intervensi pemerintah berupa pajak ataupun denda, maka kurva MAC akan bergeser ke kiri, MAC_t (Gambar 8). Permasalahan yang timbul selanjutnya adalah nilai pajak atau denda yang harus dibayarkan. Pajak atau denda yang ditetapkan terlalu tinggi akan memberatkan industri, sedangkan bila terlalu rendah tidak akan mendorong industri untuk mengurangi pencemarannya. Dengan demikian, pemerintah dapat

40190.pdf
menetapkan pajak berdasarkan tingkat harga yang efisien secara social, yaitu pada titik perpotongan kedua kurva tersebut. Penerapan pajak akan mengurangi kerusakan sebesar $c + d$ dan pemerintah memperoleh penerimaan sebesar $a + b$. Dengan demikian, pajak atau denda dapat merupakan pembayaran transfer dari industri ke masyarakat melalui pemerintah. Denda dapat diberlakukan untuk industri yang mengeluarkan emisi lebih besar dari batas ambang yang telah ditetapkan.

Selain biaya pencemaran, adanya pencemaran dapat pula menimbulkan dampak yang dapat dihitung secara ekonomi. Menurut Sanim (2004), ada dua pendekatan dasar untuk menentukan dampak pencemaran pada ekonomi atau nilai lingkungan (*valuation*) yaitu pendekatan kurva permintaan yang berdasarkan pada *Willingness to Pay* (WTP) dan pendekatan yang tidak mendasarkan pada kurva permintaan. Pendekatan ini tidak memberikan penilaian ekonomi sejati, tetapi tetap sangat berguna dalam aplikasi. Salah satu pendekatan penilaian yaitu dengan Analisis Manfaat Biaya (ABM) atau *Cost Benefit Analysis* digunakan untuk menyusun suatu kebijakan yang memungkinkan pengambilan keputusan memilih diantara berbagai alternatif dalam pengelolaan atau pemanfaatan suatu sumberdaya.

2.2. Teknologi Mengurangi Pencemaran Dioksin/Furan

Salah satu hal penting untuk mereduksi pencemaran/emisi adalah penggunaan teknologi yang tepat. Penelitian untuk mereduksi emisi dioksin/furan telah banyak dilakukan. Di Jepang, teknologi untuk mengurangi emisi dioksin/furan telah dilakukan antara lain dengan aplikasi *Advanced Oxidation Process* (AOP) pada proses pembakaran. Pada prinsipnya proses ini dilakukan dengan menggunakan radikal hidroksil ($\text{OH}\cdot$) yang dihasilkan dari reaksi kombinasi antara ozon, radiasi UV dan hidrogen peroksida. Pertama-tama dioksin pada efluen di deklorinasi oleh radiasi UV, selain itu dioksin juga akan terdekomposisi oleh radikal hidroksil menjadi karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), dan senyawaan anorganik klorida (Japanese Advanced Environment Equipment, 2006).

Ada pula penelitian yang dilakukan dengan penyaringan debu, dari debu sisa hasil pembakaran ini dijadikan *pellet* dan membakar kembali *pellet* tersebut dalam pembakaran *Bubbling Fluidized Bed* (BFB). Metode terakhir ini dapat mengurangi dioksin hingga 99% (Kobylecki *et al.*, 2001). Di Indonesia, penelitian untuk mereduksi dioksin yang

berasal dari insinerator juga telah dikembangkan oleh Eka Winatha dari Hepasin Media Pratama dengan metode Desorpsi Suhu Rendah (*Low Thermal Desorption*) yang telah dimodifikasi dengan sistem *rotary carbonizer*. Teknologi desorpsi suhu rendah ini sebenarnya sebagai pengganti insinerator, yang menggunakan pemanasan tidak langsung dengan termolisis suhu rendah tanpa oksidasi, sehingga meminimalkan terbentuknya dioksin. Selain itu, bekerjasama dengan FMIPA UI, telah dikaji pula reduksi dioksin dengan menggunakan titanium dioksida (Yun, 2003).

2.3. Konvensi Stockholm

Konvensi Stockholm bertujuan untuk melindungi kesehatan manusia dan lingkungan dari pencemaran organik persisten dengan melakukan tindakan bersama untuk mengurangi, menghilangkan secara bertahap pelepasan POP's dari produksi, penggunaan secara sengaja maupun tidak sengaja serta dari tempat penyimpanan dan limbah. Hingga November 2004, konvensi ini telah ditandatangani oleh 151 negara dan 83 negara telah meratifikasinya (Hagen dan Walls, 2005). Konvensi menghasilkan kesepakatan yang dituangkan dalam 30 pasal (*article*) serta Annex A, B, C, D, E, dan F.

Secara garis besar isi Konvensi Stockholm yang penting antara lain:

- a. Pasal 3 tentang tindakan/langkah untuk mengurangi atau mengeliminasi POP's yang berasal dari produksi
- b. Pasal 5 tentang tindakan/langkah untuk mengurangi atau mengeliminasi POP's yang berasal dari produksi yang tidak diinginkan. *Action plan* yang disarankan yaitu dengan penggunaan *best available techniques* (BAT) serta *best environmental practices* (BEP)
- c. Pasal 7 tentang keharusan negara-negara peserta untuk menyusun *National Implementation Plan* (NIP) atau Rencana Pelaksanaan Nasional (RPN) dalam jangka waktu 2 tahun setelah pemberlakuan prioritas kegiatan.
- d. Pasal 12 berkaitan dengan bantuan teknis dari negara maju untuk negara berkembang
- e. Annex A yaitu senyawa yang sengaja diproduksi dan berdasarkan Konvensi harus dieliminasi yaitu aldrin, chlordane, dieldrin, endrin, heptachlor, mirex, toxaphene dan Polychlorinated Biphenyls (PCB).

- f. Annex B yaitu senyawa yang diproduksi dan digunakan untuk pengendalian vektor penyakit seperti malaria, yaitu DDT. Berdasarkan konvensi, DDT harus dibatasi (*restricted*)
- g. Annex C yaitu senyawa yang diproduksi dan terlepas secara tak sengaja sebagai akibat kegiatan manusia, yaitu PCB, HCB (hexachlorobenzene) serta polychlorinated dibenzo-p-dioxin (PCDD, dioksin) dan Polychlorinated dibenzofuran (PCDF, furan). Dioksin/furan merupakan produk sampingan yang tak disengaja. Senyawa-senyawa ini berdasarkan konvensi harus dieliminasi, dilarang ataupun dikurangi.

Konvensi juga mengharapkan negara-negara untuk melihat kebijakan dari negara masing-masing dalam hal POP's, yaitu:

1. menumbuhkan kesadaran pemerintah, swasta ataupun individu
2. memperhatikan penanganan bahan-bahan kimia terutama POP's
3. membuat standar perlakuan/penggunaan POP's

Sebagai implementasi dari penandatanganan Konvensi Stockholm tentang POP's, berdasarkan Article 7 (Stockholm Convention on Persistent Organics Pullutans, 2001), tiap-tiap negara diharuskan membuat suatu *National Implementation Plan* (NIP). Dalam NIP dicantumkan rencana jangka panjang maupun jangka pendek untuk mengeliminasi, mereduksi ataupun menghilangkan senyawaan POP's. Negara-negara lain, misalnya, Singapore, Filipina, China, Hong Kong, Macau dan sebagainya sudah meratifikasi dan membuat NIP, sedangkan Indonesia hingga saat ini masih memproses NIP tersebut. Seperti di Indonesia, berdasarkan hasil NIP dari Cina dan Filipina senyawaan POP's khususnya dioksin/furan belum banyak dikenal masyarakat (Reyes, 2005; The People's Republic of China, 2007).

2.4. Kebijakan terhadap Pengelolaan Lingkungan

Pada saat ini, sikap dan kelakuan terhadap lingkungan hidup sangat didominasi oleh pertimbangan ekonomi. Sikap dan kelakuan ini juga dipengaruhi oleh kurangnya pengetahuan atau penghargaan masyarakat tentang fungsi ekologi lingkungan hidup.

Untuk mengatasi hal tersebut, maka persepsi terhadap lingkungan harus diubah, tetapi juga mendukung pembangunan ekonomi. Ada beberapa sistem kebijakan yang dapat digunakan untuk mengelola lingkungan yaitu sistem dengan instrumen pengaturan dan pengawasan (*Command and Control*, CAC), instrumen suasio atau Atur Diri Sendiri (ADS), dan instrumen ekonomi (*Economic Instrument*, EI) (Soemarwoto, 2004).

Instrumen CAC pada dasarnya berusaha mendorong untuk berkelakuan ramah lingkungan dengan ancaman sanksi tindakan hukum. Pemerintah mengawasi kepatuhan masyarakat dalam pelaksanaan undang-undang dan peraturannya dan menindak yang melanggar. Kekuasaan perencanaan, pelaksanaan, pengelolaan, pengawasan dan penindakan mengalir dari pusat ke daerah dan dari atas ke bawah (*top down*). Sehingga ciri-ciri CAC adalah penindakan, *top down* dan instruktif serta kaku dan birokrasi (Soemarwoto, 2004). Bentuk pengendalian CAC dilakukan dengan menentukan standar baik emisi maupun standar ambien. Standar emisi akan menentukan emisi maksimum yang diperbolehkan secara hukum, sedangkan standar ambien menentukan dimensi kualitatif terhadap lingkungan sekitar. Bentuk standar lainnya yaitu dilakukan melalui standar teknologi, yang pada intinya mengharuskan industri untuk mengadopsi teknologi yang mengurangi pencemaran (Field dan Field, 2002). Dalam perjalanannya pengendalian dengan sistem CAC tidak berjalan dengan baik.

Pengendalian kedua yaitu dengan sistem ADS, yang menggunakan instrumen insentif-disinsentif (IID). Instrumen ini dibuat tidak hanya dibuat oleh pemerintah, tetapi juga melibatkan masyarakat sehingga dapat digunakan sebagai sarana kontrol sosial yang efektif. Pemerintah tetap mempunyai kewenangan untuk mengawasi dan mengatur. Pendekatan ADS dipelopori oleh dunia usaha dengan pendekatan baru yang memberikan kebebasan untuk mengatur diri sendiri. Mereka mengembangkan kode praktik pengelolaan lingkungan hidup yang bersifat sukarela, misalnya kepemilikan sertifikat ISO. Industri/perusahaan bebas untuk mengadopsi atau tidak sertifikat tersebut, dimana sertifikat tersebut mempunyai nilai yang tinggi dalam persaingan dagang. Dalam hal inilah masyarakat dapat menilai perusahaan tersebut.

Pengendalian dengan instrumen ekonomi bertujuan untuk mengubah nilai untung relatif terhadap rugi bagi pelaku dengan memberikan insentif-disinsentif ekonomi. Insentif-disinsentif tersebut mencakup instrumen pasar (*market-based instruments*) yang

menghasilkan untung-rugi berupa uang, jadi bersifat *tangible*. Contoh instrumen ekonomi adalah pengurangan pajak untuk produksi yang hemat energi, pemungutan retribusi limbah dan pemberian denda untuk pelanggaran peraturan. Instrumen ekonomi ini mengubah perilaku menjadi ramah lingkungan didasari dengan adanya keuntungan ekonomi, sehingga bila insentif tersebut terhenti, dikhawatirkan perilaku akan berubah kembali.

Selain ketiga jenis kebijakan di atas, ada jenis kebijakan lain yaitu pengendalian pencemaran melalui izin melepaskan pencemar yang dapat ditransfer (*transferable discharge permit*, TDP) yang bekerja melalui mekanisme pasar dengan sistem yang bersifat *transferable*. Hak melepas pencemaran dapat diperjualbelikan melalui mekanisme pasar yang berlaku. Pengendalian dengan TDP didasarkan pada kuantitas bahan pencemar yang dilepas, atau pengendalian kuantitas (*quantity control*) pencemaran. Untuk memberikan insentif kepada industri agar industri membeli izin, pemerintah menetapkan batas pencemaran maksimum yang diperbolehkan. Mekanisme ini pada dasarnya mengalihkan tanggung jawab pengendalian dari pemerintah ke industri. Dengan demikian, pengendalian ini terlebih dahulu memerlukan intervensi pemerintah dalam bentuk total kuantitas pencemaran yang diperbolehkan (Fauzi, 2004)

2.4.1 Kebijakan Pencemaran Dioksin/Furan di Indonesia

Kebijakan pembangunan di Indonesia adalah pembangunan yang berwawasan lingkungan yang dituangkan dalam komitmen formal dengan diberlakukannya Undang-undang No. 4 tahun 1982 tentang Pokok-pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup. UU ini kemudian direvisi menjadi Undang-undang No. 23 tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. Mengacu pada peraturan perundang-undangan yang mengatur tentang lingkungan hidup tersebut, selanjutnya Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai peraturan pelaksanaan yang mengatur berbagai pencemaran. Peraturan-peraturan tersebut dibuat berdasarkan keperluan dan dikeluarkan oleh instansi yang berkaitan, yang dapat berbentuk Peraturan Pemerintah (PP), Keputusan Presiden (Kep.Pres), Keputusan Menteri (Kepmen), Surat Edaran ataupun Peraturan Daerah (Perda). Pemerintah bersama DPR membuat undang-undang yang pelaksanaannya diatur dalam peraturan pemerintah (PP), keputusan menteri (Kepmen) serta petunjuk

pelaksanaan (juklak) dan petunjuk teknis (juknis). Undang Undang, Peraturan Pemerintah dan Kepmen dijabarkan di daerah dengan peraturan daerah (Perda) dan keputusan gubernur, bupati, dan walikota. Sebagai contoh adalah peraturan mengenai pengendalian pencemaran udara tertuang dalam PP No 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara dan KepMen LH No. KEP.13/MENLH/3/1995 tentang Peraturan mengenai Baku Mutu Emisi Sumber tak Bergerak.

Sehubungan dengan emisi dioksin/furan, kesepakatan global yang mengikat secara hukum untuk bahaya POP's terhadap kesehatan manusia dan lingkungan telah dituangkan dalam Konvensi Stockholm pada tahun 2001. Indonesia hingga saat ini belum mempunyai peraturan perundang-undangan yang mengatur khusus dioksin/furan. Sehubungan dengan POP's, sebenarnya Indonesia telah mempunyai PP No. 74 tahun 2001 tentang Pengelolaan B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) serta PP No. 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3.

Peraturan Pemerintah No. 74 tahun 2001 yang diundangkan pada tanggal 26 November 2001 memuat 43 Pasal dan 2 (dua) Lampiran, yaitu daftar B3 yang dipergunakan dan daftar B3 yang dilarang dipergunakan. Berdasarkan daftar ini, bahan kimia POP's yang dilarang adalah aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, endrin, heptachlor, mirex, toxaphene, hexachlorobenzene serta PCBs. Dioksin/furan belum termasuk yang dilarang penggunaannya. Sedangkan dalam PP No. 18 tahun 1999, pada pasal 34 mengenai pengolahan limbah B3, disebutkan bahwa pada pengolahan secara thermal dengan insinerator, maka efisiensi penghilangan dioksin/furan harus mencapai 99,999%.

Untuk kebutuhan pelaksanaan Konvensi Stockholm, Yudomustopo (2003) telah melakukan kajian tentang peraturan perundang-undangan, infrastruktur, dan kelembagaan yang berkaitan dengan cemaran POP's. Berdasarkan hasil inventarisasi perundangan tersebut, instansi-instansi yang terkait dengan peraturan yang berhubungan dengan POP's adalah Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) (dalam hal ini Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah, Bapedal), Departemen Pertanian, Departemen Perhubungan dan Departemen Tenaga Kerja, Departemen Kesehatan, Departemen Dalamnagri serta Departemen Perdagangan. Kajian tersebut menyimpulkan antara lain:

- a. Indonesia belum mempunyai peraturan perundang-undangan yang secara khusus mengatur tentang POP's seperti yang diamanatkan oleh Konvensi Stockholm.

- b. Kementerian Lingkungan Hidup mempunyai kewenangan yang terbatas untuk merumuskan kebijakan nasional di bidang pengelolaan lingkungan hidup.
- c. Pemahaman tentang POP's, belum dikenal secara jelas oleh aparat pemerintah serta di kalangan masyarakat luas termasuk para industriawan.
- d. Kapasitas laboratorium sangat bervariasi, tapi belum ada laboratorium yang dapat menganalisis dioksin/furan.

2.4.2 Peraturan Mengenai Dioksin/furan di Beberapa Negara

Beberapa negara telah menentukan standar untuk dioksin/furan. Baku mutu dioksin/furan dapat ditetapkan berdasarkan media emisinya, misalkan berdasarkan kadar maksimum dalam emisi udara dari insinerator limbah (per m³ udara), kadar maksimum dalam air (per liter air) atau berdasarkan asupan rata-rata per hari (*Tolerable Daily Intake/TDI*).

Emisi dioksin/furan terbanyak berasal dari pembakaran, sehingga media emisi terbanyak melalui udara. Karena itu, saat ini beberapa negara mengendalikan emisi dioksin/furan dengan menetapkan baku mutu emisi dioksin/furan yang berasal dari insinerator. Persyaratan peraturan untuk emisi dioksin/furan dari insinerator sangat bervariasi di beberapa negara. Misalnya, Uni Eropa melalui The European Commission mempublikasikan suatu peraturan mengenai pembakaran (insinerasi) limbah mensyaratkan bahwa emisi dioksin/furan harus diminimalisasi hingga 0,1 ngTEQ/m³ sebagai nilai panduan yang tidak boleh dilewati. Selain itu, ada beberapa negara yang mensyaratkan batas ambang untuk emisi yang keluar dari pabrik logam besi non besi. Secara lengkap, data mengenai konsentrasi batas ambang dari tiap negara terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4 Konsentrasi standar dioksin/furan di beberapa negara

No	Negara	Sumber Emisi Udara	
		Insinerator	Pabrik logam besi non besi
1	WHO (European Commission, 2001) (Rabl dan Spadaro, 1998)	1-4 pg WHO-TEQ/kg bb/hari ^{b)} 0,11 pg/m ³ ^{a)}	
2	Jepang (Environment Agency of Japan, 1999; UNEP Chemicals, 1999) (Kishimoto <i>et al.</i> , 2001)	0,6 pg I-TEQ/m ³ ^{a)} 1-5 ng I-TEQ/m ³ (lama) 0,1 - 0,5 ng I-TEQ/m ³ (baru) ≤ 4 pgTEQ/kg bb/hari ^{b)} 10 pg TEQ/kg bb/hari ^{b)}	1 ng I-TEQ/m ³ (lama) 0,5 ng I-TEQ/m ³ (baru)
3	Amerika (UNEP Chemicals, 1999; Mackie <i>et al.</i> , 2003)	0,2 ng I-TEQ/m ³ (lama) 0,15 ng I-TEQ/m ³ (baru) 5 ng TEQ/ m ³	
4	Connecticut (Rao and Brown, 1990)	1 pgTEQ/ m ³ per tahun ^{a)}	
5	Jerman (UNEP Chemicals, 1999)	0,1 ng I-TEQ/m ³	
6	Kanada (UNEP Chemicals, 1999)	0,5 ng I-TEQ/m ³	
7	Thailand (Kitcham, 2002)	30 ng/m ³	
8	Inggris (UNEP Chemicals, 1999)	1 ng I-TEQ/m ³	
9	Swedia (UNEP Chemicals, 1999)	0,1 - 0,5 ng I-TEQ/m ³	
10	Belanda (UNEP Chemicals, 1999)	0,1 ng I-TEQ/m ³	
11	Austria (UNEP Chemicals, 1999)		0,1 ng I-TEQ/m ³ 0,4 ng I-TEQ/m ³ (EAF)
12	Filipina (Rufo dan Rufo Jr., 2004)	0,1 ng (100pg) TEQ/m ³	
13	Hong Kong (Edujje, 2000)	< 2 ng TEQ/m ³ 105 pg/hari ^{b)}	
14	Polandia (Grochowalski, 2002)	< 0,1 ng TEQ/m ³ (baru)	0.3 -8.2 pg TEQ/m ³ ^{a)}
15	Negara Berkembang (UNEP Chemicals, 1999)	2-6 pgTEQ/kg bb/hari ^{b)}	

Ket. : - bb = berat badan
 - I-TEQ = *International Toxic Equivalent*
 - a) standar udara ambien ; b) TDI

Menurut UNEP Chemical (1999) ada 2 cara perlakuan untuk mereduksi emisi dioksin/furan ke lingkungan, yaitu cara primer dan cara sekunder. Cara primer yaitu langkah untuk menghalangi terjadinya pembentukan dioksin/furan, meliputi:

- a. substitusi bahan baku atau bahan tambahan pada proses produksi
- b. modifikasi pengoperasian pabrik (misalnya, kondisi pembakaran yang baik dengan memperhatikan waktu dan temperatur)
- c. mengubah desain pabrik

Sedangkan cara sekunder adalah langkah untuk menghilangkan/mengurangi emisi dioksin/furan yang keluar ke lingkungan. Langkah ini antara lain meliputi:

- a. mengadsorpsi dioksin/furan pada karbon aktif
- b. menggunakan *dry scrubber* dengan karbon aktif pada *fabric filter*
- c. *selective catalytic reduction* (SCR) menggunakan katalis TiO_2

Selain pengaturan baku mutu dioksin, beberapa negara mengeluarkan perundangan khusus untuk dioksin yang mengatur segala sesuatu yang berhubungan dengan dioksin, misalnya di Jepang. Contoh perundangan mengenai dioksin/furan yang telah diterapkan di Jepang adalah sebuah dokumen yang berjudul *Law concerning special measures against dioxins* (Environmental Agency of Japan, 1999).

Secara keseluruhan, dokumen di atas isinya cukup lengkap, antara lain mengatur tanggung jawab masing-masing instansi (pemerintah pusat/daerah, pengusaha) dan masyarakat; standar untuk diberlakukannya kebijakan dioksin serta TDI; rencana pemerintah untuk mereduksi emisi dioksin; dan fasilitas serta hukuman yang diberikan bila melanggar emisi yang telah ditentukan.

2.5. Analisis System Dynamics

Pencemaran dioksin/furan bila dilihat secara sistematis memberi dampak yang kompleks ditinjau dari aspek fisik, lingkungan, sosial, dan ekonomi. Penyelesaian suatu dampak dapat dilakukan melalui pendekatan sistem. Pendekatan sistem adalah suatu cara penyelesaian persoalan yang dimulai dengan identifikasi terhadap sejumlah kebutuhan-kebutuhan sehingga dapat menghasilkan suatu operasi dari sistem yang dianggap efektif. Pendekatan sistem umumnya ditandai oleh dua hal yaitu mencari semua faktor penting untuk mendapatkan solusi dalam penyelesaian masalah; serta pembuatan model kuantitatif untuk membantu keputusan secara rasional. Dalam model ditunjukkan hubungan-hubungan baik langsung maupun tidak langsung dalam kaitannya dengan hubungan sebab akibat. Oleh karena itu, suatu model adalah abstraksi dari realitas dan

dapat dikatakan lengkap apabila dapat mewakili berbagai aspek dari realitas yang sedang dikaji (Eriyatno, 2003).

System dynamics digunakan untuk menganalisis perubahan perilaku sejalan dengan perubahan waktu dari sebuah sistem yang kompleks (Ford, 1999), dalam hal ini perubahan lingkungan, sosial serta ekonomi yang disebabkan adanya emisi atau pencemaran dioksin/furan. Melalui *system dynamics* dapat dilihat perubahan sistem terutama untuk mengkaji efektivitas perencanaan dari kebijakan yang dibuat. Penggunaan *system dynamics* dalam penelitian-penelitian telah banyak dilakukan. Pembuatan model dan simulasi model sebagai bagian dari metode *system dynamics* juga menerapkan beberapa tahapan kegiatan yaitu pembuatan konsep, pembuatan model, simulasi model, validasi model, serta analisis kebijakan (Muhammadi *et al.*, 2001).

Identifikasi permasalahan dan timbulnya suatu masalah menjadi tahap pertama untuk membangun pola yang disebut mental model. Kemudian dibangun model komputer yang dituangkan dalam diagram alir atau *stock flow diagram* (SFD). Semua data baik yang diperoleh secara primer maupun sekunder menjadi masukan SFD. Data tersebut dimasukkan ke SFD dapat berupa *stock (level)*, *flow (rate)*, *auxillary*, dan tetapan (konstanta). Selanjutnya dilakukan simulasi dengan variabel waktu (*time range*). Model selanjutnya divalidasi untuk membandingkan hasil simulasi dengan karakteristik data empirik, sehingga model dapat dinyatakan sebagai model yang valid.

2.6. Analisis Kebijakan

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan suatu kebijakan adalah analisis multi kriteria (*Multi Criteria Decision Analysis, MCDA*). *Multi Criteria Decision Analysis* merupakan teknik pengambilan keputusan multi-variabel. Pada prinsipnya, MCDA adalah menentukan alternatif-alternatif yang harus dipilih, yang merupakan skenario-skenario dalam penelitian. Tiap-tiap alternatif tersebut dapat terdiri atas beberapa kriteria, sehingga MCDA melibatkan multi-kriteria. Karena melibatkan multi kriteria, maka dilakukan pembobotan pada tiap-tiap kriteria tersebut atau memberikan pengukuran berdasarkan kepentingan, dan nilai numerik diproses untuk menentukan ranking tiap alternatif. Keunggulan metode ini dapat memberikan alternatif terbaik dengan mempertimbangkan setiap kriteria dari alternatif tersebut (Belton dan

Stewart, 2002; Triantaphyllou dan Sanchez, 1997). Lalu dibuat matrik keputusan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Matrik keputusan MCDA

Alternatif	Kriteria				
	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _N
	W ₁	W ₂	W ₃	...	W _N
A ₁	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	...	a _{1N}
A ₂	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	...	a _{2N}
...
A _M	a _{M1}	a _{M2}	a _{M3}	...	a _{MN}

Beberapa pendekatan digunakan untuk menentukan prioritas alternatif yang dinyatakan dalam bentuk kriteria-kriteria yang diberikan, yaitu metode *Weight Sum Model* (WSM) dan *Weight Product Model* (WPM) serta penentuan preferensi berdasarkan interval (PRIME, *Preference ratios in Multiattribute Evaluation*) (Fauzi 2005; Triantaphyllou dan Sanchez, 1997). Persamaan yang digunakan pada metode WSM yaitu:

$$P_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} W_j \quad \text{untuk } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.12)$$

P_i = preferensi ke i dari alternatif ke A_i

a_{ij} = nilai dari bobot untuk tiap kriteria terhadap alternatif yang relevan
(untuk $i = 1, 2, 3, \dots, m$ dan $j = 1, 2, 3, \dots, n$)

W_j = bobot dari kriteria ke j

Metode WSM menggunakan asumsi penjumlahan utilitas dan alternatif terbaik pada WSM adalah yang mempunyai nilai preferensi terbesar. Sedangkan metode WPM menghitung preferensi dengan asumsi perkalian. Untuk membandingkan alternatif A_p terhadap alternatif A_q digunakan persamaan berikut:

$$R\left(\frac{A_p}{A_q}\right) = \prod_{j=1}^n \left(\frac{a_{pj}}{a_{qj}}\right)^{w_j} \quad (2.13)$$

Jika rasio $R(A_p/A_q) \geq 1$, maka keputusan alternatif A_p lebih diinginkan daripada alternatif A_q . Alternatif terbaik adalah alternatif yang memiliki nilai rasio tertinggi dibandingkan alternatif-alternatif lain.

Metode menentukan preferensi berdasarkan interval (PRIME) adalah menentukan keputusan terbaik menggunakan program linier dengan memberikan bobot terhadap kriteria atau atribut dari masing-masing tujuan yang akan dicapai. Pada metode PRIME, preferensi diasumsikan sebagai nilai alternatif yang merupakan penjumlahan dari nilai masing-masing atributnya. Model persamaan PRIME seperti pada persamaan 2.14.

$$V(x) = \sum_{i=1}^N v_i(x_i) \quad (2.14)$$

x_i = tingkat pencapaian (*achievement level*) dari alternatif ke x_i

$v_i(x_i)$ = nilai atribut ke- i yang berhubungan dengan tingkat pencapaian x_i .

Tingkat pencapaian dari alternatif diukur berdasarkan pembobotan terhadap masing-masing alternatif, demikian pula untuk pengukuran nilai atribut. MCDA menggunakan PRIME preferensi dinyatakan dalam bentuk interval nilai untuk mengakomodasi ketidaklengkapan informasi dan ketepatan preferensi yang digunakan (Fauzi, 2005).

2.7. Pengembangan Model Pencemaran Dioksin/Furan

Penelitian-penelitian mengenai pemodelan yang pernah dilakukan untuk dioksin/furan belum banyak dilakukan. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan umumnya masih terfokus pada pengaruh dioksin/furan pada kesehatan serta penggunaan teknologi untuk mengurangi pencemaran. Pengembangan model pencemaran dioksin/furan belum banyak dipublikasikan. Selama 7 tahun terakhir, pengembangan model pencemaran dioksin/furan meliputi aspek-aspek:

- a. sumber pencemaran
- b. emisi atau estimasi konsentrasi
- c. dampak pencemaran terhadap kesehatan

- d. dampak pencemaran terhadap lingkungan
- e. dampak pencemaran terhadap ekonomi

Kajian pencemaran dioksin/furan pada berbagai media telah dilakukan antara lain melalui air (Kobayashi, 2004; Soesilo, 2005) dan udara (Rabl dan Spadaro, 1998; Rufo dan Rufo Jr., 2004; Smit, 2004). Pemodelan perhitungan emisi dioksin/furan dan estimasi konsentrasi (Kobayashi, 2004; Smit, 2004; Rufo dan Rufo Jr., 2004; Rabl dan Spadaro, 1998). Estimasi emisi dioksin/furan dengan memperhitungkan ketidakpastian pada faktor emisi dan data aktivitas (Pulles dan Kok, 2005; Hart *et al.*, 2003). Kajian dampak pencemaran dioksin/furan terhadap kesehatan (Rufo dan Rufo Jr., 2004; Rabl dan Spadaro, 1998), kajian dampak terhadap lingkungan (Soesilo, 2005), kajian terhadap dampak ekonomi (Rufo dan Rufo Jr., 2004; Rabl dan Spadaro, 1998) dan model dampak kebijakan (Soesilo, 2005). Tabel 6 memberikan gambaran kajian tersebut.

Berdasarkan perkembangan model yang telah diuraikan, kajian yang telah dilakukan oleh Rabl dan Spadaro (1998) serta Rufo dan Rufo Jr. (2004) merupakan kajian yang cukup lengkap, tetapi dalam kajian tersebut belum memasukkan unsur ketidakpastian pada perhitungan emisi dan tidak dilanjutkan dengan usulan kebijakan yang harus dilakukan. Kedua penelitian ini mengkaji emisi, konsentrasi di ambien, serta dampak dari emisi pada kesehatan dan lingkungan. Pada perhitungan konsentrasi di ambien, kedua kajian ini menggunakan model dispersi Gaussian seperti pada persamaan 2.5. dengan software ISC. Sedangkan kajian estimasi dampak terhadap kesehatan dan ekonomi, Rufo dan Rufo Jr. (2004) menggunakan perhitungan dengan persamaan 2.6–2.10, yang juga akan digunakan pula dalam penelitian ini. Penelitian ini akan melakukan kajian terhadap aspek-aspek yang belum terangkum dalam kedua kajian tersebut, seperti estimasi emisi dengan memperhitungkan ketidakpastian serta kebijakan. Kajian dampak emisi terhadap lingkungan, kesehatan serta ekonomi akan dilakukan dengan pendekatan *system dynamics*.

Tabel 6 Penelitian-penelitian pemodelan dioksin/furan

Peneliti	Variabel yang diteliti	Hasil	Model
Rabl dan Spadaro (1998) Perancis	Tingkat emisi dioksin dan gas-gas lain, kerugian kesehatan	Estimasi dispersi emisi yang berasal dari insinerator (pencemaran udara) dan perhitungan kerugian kesehatan	a. model emisi b. model dispersi c. model perhitungan dampak dengan <i>dose response</i> d. model valuasi ekonomi
Kobayashi et al. (2004) Jepang	Tingkat emisi dioksin	Estimasi konsentrasi dioksin di Tokyo Bay estuaria (pencemaran di perairan)	model aplikasi matematika
Smit (2004) Australia	Tingkat emisi dioksin	Estimasi emisi dioksin yang berasal dari kendaraan bermotor (pencemaran udara)	model eksperimen
Rufo dan Rufo Jr. (2004) Filipina	Tingkat emisi, valuasi kesehatan	Estimasi dispersi emisi dan pengaruhnya pada kesehatan yang berasal dari 2 teknologi insinerator di Manila (pencemaran udara)	a. model emisi b. model dispersi c. benefit transfer untuk kesehatan dan valuasi ekonomi
Soesilo (2005) Indonesia	Tingkat emisi dioksin, Variabel lingkungan, Variabel kebijakan	Estimasi akumulasi senyawa dioksin dalam limbah proses produksi pulp dan pengaruh kebijakan pada degradasi lingkungan (pencemaran air)	a. model perhitungan konsentrasi dioksin b. model <i>system dynamics</i> untuk mempresentasikan proses akumulasi dioksin dan prediksi dampak melalui simulasi serta intervensi kebijakan
Pulles dan Kok (2005) Nederland	Tingkat emisi dioksin, Memperhitungkan ketidakpastian Variabel kebijakan	Estimasi emisi dioksin total dengan memperhitungkan ketidakpastian dan skenario kebijakan	a. model emisi dengan <i>uncertainty</i> b. model alternatif kebijakan
Hart et al. (2003)	Tingkat emisi dioksin, Memperhitungkan ketidakpastian	Estimasi emisi dioksin pada ikan salmon dengan memperhitungkan ketidakpastian	a. model eksperimen b. model emisi dengan <i>uncertainty</i>
Penelitian ini (2005-2006)	Tingkat emisi dioksin dengan memasukkan unsur ketidakpastian Variabel sosial, ekonomi, lingkungan, Variabel kebijakan	a. Estimasi emisi, estimasi konsentrasi b. Estimasi kerugian, c. Informasi untuk alternatif kebijakan senyawa dioksin yang berasal dari industri (pencemaran udara)	a. model emisi dengan <i>uncertainty</i> b. model dispersi c. perhitungan ekonomi dengan <i>benefit transfer</i> d. model <i>system dynamics</i> untuk analisa dampak sosial, ekonomi, lingkungan e. model alternatif kebijakan

III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di daerah Cilegon serta kawasan industri di Cilegon (Kawasan Industri Estate Cilegon, KIEC). Jenis industri di daerah tersebut adalah industri-industri yang berpotensi mengeluarkan emisi dioksin/furan melalui pembakaran bahan yang mengandung logam besi dan non-besi (*ferrous and non-ferrous*) sesuai dalam Standar Toolkit (UNEP, 2003). Dari sensus 21 industri logam besi dan non-besi di daerah penelitian, terpilih ada 5 industri yang berpotensi mengeluarkan emisi dioksin/furan. Ada 1 industri yang mempunyai 3 divisi besar, sehingga secara keseluruhan ada 7 sampel industri (Industri I-VII).

3.2. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan memberikan kuesioner dan wawancara dengan pihak industri. Sedangkan pengumpulan data sekunder untuk mengetahui berbagai data dari produksi didapat dari Biro Pusat Statistik (BPS), Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) ataupun dari industri itu sendiri. Jenis data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Data-data yang digunakan

Sub Sistem	Nama Data	Sumber Data	Bentuk dalam model	Unit (Satuan)
Industri	Produksi industri	Kuantitatif, primer	<i>stock</i>	ton
	Benefit produksi	Kuantitatif, sekunder	konstanta	Rp per tahun
	Jenis mesin	Kualitatif, primer		
	Temperatur pembakaran	Kuantitatif, primer		
	Tinggi dan diameter cerobong	Kuantitatif, primer		
	Kecepatan keluar gas Temperatur gas keluar	Kuantitatif, primer Kuantitatif, primer		
Lingkungan	Emisi dioksin	Kuantitatif, dihasilkan dari operasi matematika model	<i>stock</i>	g
	Faktor emisi	Kuantitatif, berdasarkan Standard Toolkit UNEP	konstanta	µg TEQ/ton
	Konsentrasi emisi (Persamaan Dispersi)	Kuantitatif, ditetapkan perhitungan dengan dispersi	<i>flow</i>	pg TEQ/m ³ per tahun
	Kecepatan dan arah angin	Kuantitatif, sekunder		
	Temperatur ambien	Kuantitatif, sekunder		derajat Celsius
	Kestabilan cuaca	Kualitatif, sekunder		
	Konsentrasi ambien standar	Kuantitatif, ditetapkan berdasarkan penelusuran literatur	<i>flow</i>	µg TEQ/m ³ per tahun
Laju degradasi	Kuantitatif, ditetapkan perhitungan	<i>flow</i>	µg TEQ/m ³ per tahun	
Ekonomi dan sosial	<i>Net Benefit</i>	Kuantitatif, dihasilkan dari perhitungan matematika	<i>stock</i>	Rp
	Populasi	Kuantitatif, sekunder	<i>stock</i>	orang
	Kasus kematian	Kuantitatif, sekunder, perhitungan matematika	<i>flow</i>	orang per tahun
	Kasus kanker	Kuantitatif, sekunder, perhitungan	<i>flow</i>	orang per tahun
	<i>Discount rate</i>	Kuantitatif, ditetapkan berdasarkan penelusuran literatur	konstanta	tak bersatuan
	<i>Social cost</i>	Kuantitatif, ditetapkan berdasarkan perhitungan	<i>flow</i>	Rp per tahun
	<i>Abatement cost</i>	Kuantitatif, penelusuran literature	konstanta	Rp per g emisi
	<i>VOSL</i>	Kuantitatif, penelusuran literatur (<i>benefit transfer</i>)	konstanta	Rp per tahun
<i>VOI</i>	Kuantitatif, penelusuran literatur (<i>benefit transfer</i>)	konstanta	Rp per tahun	

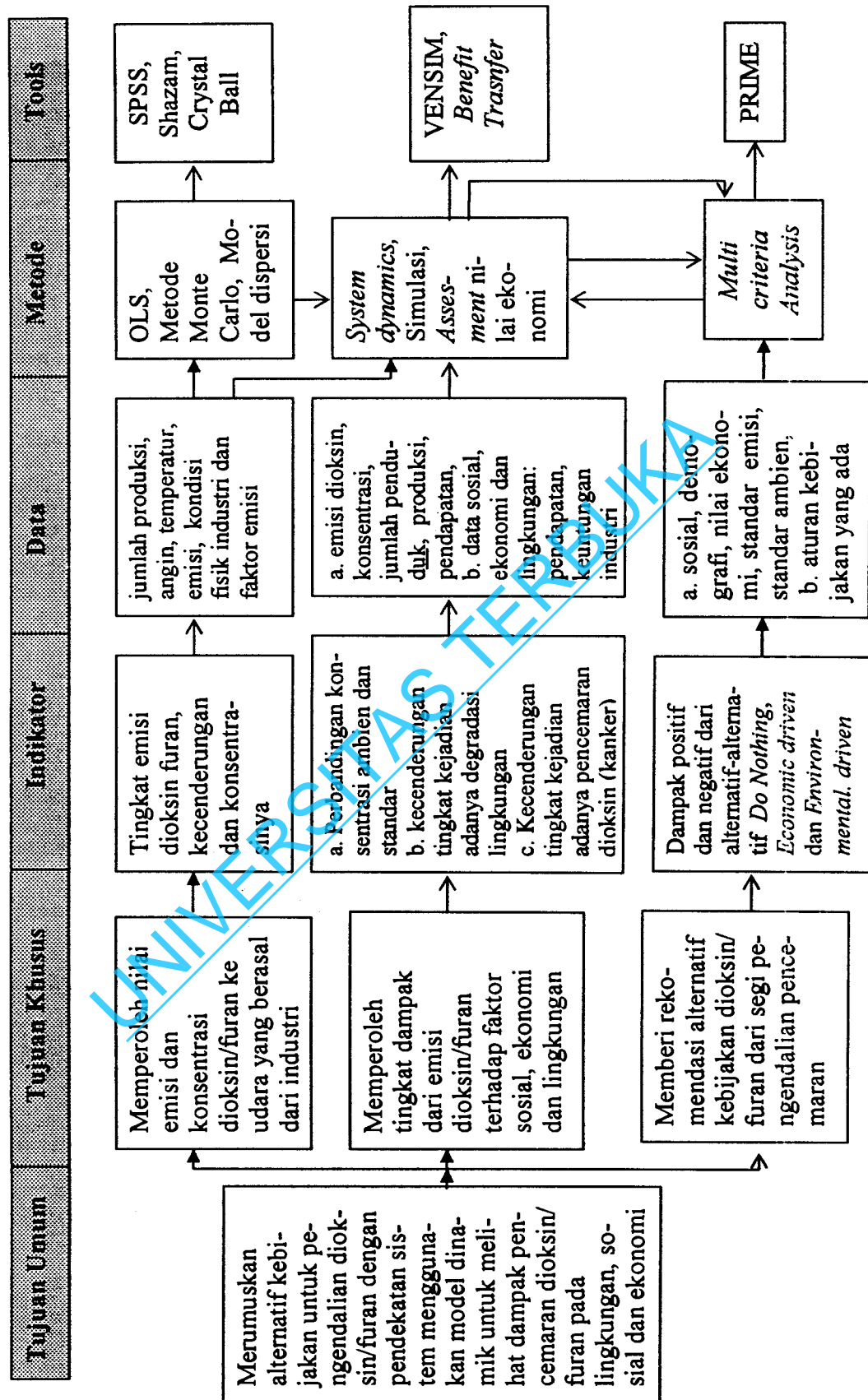
3.3. Metode dan Pemetaan Penelitian

Model yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah model dampak pencemaran dioksin/furan yang dituangkan pada *system dynamics* yang komprehensif. Secara umum, model yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah:

- a. sub-model yang digunakan untuk menghitung emisi dan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran/emisi dioksin/furan. Penghitungan ketidakpastian emisi menggunakan metode Monte Carlo dan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi menggunakan metode OLS (*Ordinary Least Square*) untuk analisis regresi.
- b. sub-model yang digunakan untuk mengestimasi konsentrasi pencemaran dioksin/furan yang terjadi dengan metode dispersi
- c. sub-model untuk menilai akibat dari pencemaran dioksin/furan dengan menggunakan model *system dynamics*
- d. sub-model formulasi kebijakan untuk mengelola pencemaran dioksin/furan dengan menggunakan analisis multi kriteria

Hasil dari kuantifikasi simulasi dinamik tersebut dapat digunakan sebagai dasar membuat skenario usulan kebijakan. Usulan kebijakan yang dihasilkan berdasarkan variabel-variabel yang terkuantifikasi. Secara garis besar, pemetaan proses yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah seperti pada Gambar 9.

Metode-metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu: metode OLS dalam analisis garis regresi, metode untuk estimasi emisi dengan memperhitungkan unsur ketidakpastian dengan metode Monte Carlo, metode *system dynamics*, *assesment* nilai ekonomi serta Analisis Multi Kriteria. Metode OLS digunakan untuk menentukan variabel-variabel yang berpengaruh pada emisi pencemaran dioksin/furan serta hubungan antar variabel tersebut dalam analisis regresi. Untuk keakuratan, pada perhitungan emisi juga digunakan metode Monte Carlo untuk ketidakpastian (*uncertainty*). Sedangkan estimasi konsentrasi ambien dilakukan dengan menggunakan metode dispersi. Lalu berdasarkan *output* dari metode-metode tersebut, maka model dapat dibangun. Setelah model dibangun, dilakukan uji validasi terhadap model. Model dapat direvisi kembali bila ada ketidaksesuaian dengan perhitungan yang didapat.



Gambar 9 Pemetaan proses penelitian

Output dari analisis regresi dan simulasi sistem dinamik akan menjadi *input* bagi analisis multi kriteria, yaitu sebagai dasar pembuatan beberapa skenario untuk berbagai kebijakan yang akan diambil dalam mengelola pencemaran dioksin/furan yang diakibatkan oleh industri. Skenario akan dikembangkan berdasarkan 3 alternatif, yaitu alternatif kebijakan yang berlangsung seperti sekarang atau tidak melakukan apa-apa (*Do nothing, DN*), alternatif kebijakan yang berbasis ekonomi (*Economic Driven*), serta kebijakan yang berbasis lingkungan (*Environment Driven*). Masing-masing alternatif tersebut ditentukan kriterianya, sehingga dapat dilakukan analisis multi kriteria dan didapat alternatif yang sebaiknya diambil oleh pengambil keputusan.

3.4. Teknik Analisis dan *Tools* (Perangkat Lunak) yang digunakan

3.4.1. Analisis Emisi dan Ketidakpastian

3.4.1.1. Metode OLS

Metode OLS adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui variabel-variabel yang berpengaruh pada emisi. Metode OLS adalah teknik statistik sederhana yang menggunakan data sampel untuk mengestimasi hubungan antar variabel dalam penelitian, sehingga dapat ditentukan variabel-variabel dominan dalam analisis garis regresi. Metode ini cukup sederhana dan mudah dilakukan. Banyak penelitian yang telah menggunakan metode ini untuk melihat keterkaitan antar variabel antara lain yaitu penelitian Ostro (1994) dan Syahril (2002). Persamaan dasar dari OLS yaitu

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_iX_i$$

Dalam hal pencemaran dioksin/furan, X dapat merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran. Sehingga Y adalah emisi dioksin/furan yang dikeluarkan dari masing-masing industri dan X adalah variabel-variabel yang mempengaruhi emisi/konsentrasi dioksin/furan, yaitu: X_1 : jumlah produksi, X_2 : suhu, X_3 : kecepatan angin, X_4 : tinggi cerobong, X_5 : jarak penyebaran.

Pendugaan parameter akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SPSS serta SHAZAM.

3.4.1.2. Metode Monte Carlo

Secara ideal, emisi yang dilepaskan oleh industri diukur secara langsung. Kenyataannya banyak kendala, pengukuran emisi dari tiap sumber dianggap tidak praktis, sehingga dilakukan estimasi yang biasanya didasarkan pada karakteristik dari sumber yang representatif, yang dinyatakan dalam faktor emisi.

Emisi suatu pencemar dipengaruhi antara lain oleh teknologi yang digunakan, media penyebaran, serta aktivitas industri (jenis bahan baku atau produksi yang dihasilkan). Dengan demikian, emisi yang dilepaskan merupakan perkalian antara data aktivitas dengan faktor emisi, dimana faktor emisi tersebut berkaitan dengan teknologi yang digunakan serta media penyebaran. Pada penentuan nilai faktor emisi serta data aktivitas, tentu saja ada ketidakakuratan. Walaupun ada referensi yang digunakan dalam aplikasi perhitungan, tetapi nilai tersebut perlu dikoreksi kembali yaitu dengan menggunakan ketidakpastian (*uncertainty*). Diharapkan nilai yang dihasilkan akan lebih akurat. Metode Monte Carlo yaitu salah satu metode untuk menganalisis penyebaran ketidakpastian (*uncertainty propagation*) (IPCC, 2000).

Metode Monte Carlo telah banyak digunakan dalam penelitian-penelitian. Metode ini pada dasarnya merupakan *statistical sampling* dengan proses pengambilan sampel yang acak (*randomness*) dan berulang (*repetitive*). Dalam simulasi Monte Carlo tersebut, proses dilakukan secara iterasi sehingga didapat nilai yang konstan (tidak berubah-ubah). Informasi ketidakpastian ini tidak digunakan untuk validasi, tetapi untuk menambah keakuratan prediksi.

Metode Monte Carlo digunakan untuk menghitung ketidakpastian pada data aktivitas (misalnya jumlah produksi atau bahan mentah) serta faktor emisi untuk masing-masing sumber emisi. Metode Monte Carlo ini akan dilakukan dengan perangkat lunak Crystal Ball.

3.4.2. Analisis System Dynamics

Model *system dynamics* digunakan untuk mempresentasikan faktor-faktor yang mempengaruhi pencemaran serta akibat dari pencemaran tersebut. Model dapat pula digunakan untuk memprediksi dampak pencemaran yang terjadi. Empat (4) variabel stok yang akan diperhitungkan pada simulasi *system dynamics* dampak pencemaran

dioksin/furan, yaitu produksi, emisi, populasi yang terpapar, serta *net benefit*. Emisi dioksin/furan dipengaruhi oleh produksi serta faktor emisi, sedangkan untuk konsentrasi ambien dipengaruhi oleh emisi. Perbandingan besarnya konsentrasi ambien dan konsentrasi ambien standar akan menentukan laju degradasi yang terjadi yang akan berimplikasi pada nilai total degradasi. Variabel stok populasi terpapar dipengaruhi oleh konsentrasi dioksin serta *slope dose response*. Sedangkan variabel nilai kasus kanker, nilai mortalitas, *social cost*, serta keuntungan produksi akan mempengaruhi manfaat bersih yang dalam jangka panjang dihitung dengan *present value net benefit* (PV NetBen) dari emisi yang dilepaskan oleh industri. Besaran nilai PVNetBen ini akan ditentukan oleh seberapa besar tingkat suku bunga yang digunakan (*discount rate*). Dalam implementasi *system dynamics* ini akan dibahas skenario utama yaitu tanpa intervensi fungsional ataupun struktural sebagai *baseline* dan skenario dengan intervensi-intervensi fungsional ataupun struktural.

Validasi dilakukan terhadap validasi struktur dan validasi *output* (Muhammadi *et al.*, 2001). Validasi struktur yaitu keyakinan terhadap konstruksi model valid secara ilmiah, yaitu secara teori. Validasi *output* atau validasi kinerja merupakan keyakinan sejauhmana kinerja model sesuai dengan kinerja sistem nyata, yaitu dengan memvalidasi kinerja model dengan data empiris. Salah satu cara uji validasi *output* yaitu dilakukan uji statistik dengan AME (*Absolute Means Error*) untuk melihat penyimpangan nilai simulasi dan nilai empiris, dengan persamaan yang digunakan:

$$AME = \left| \frac{(X_s - X_E)}{X_E} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

X_s = rata-rata hasil simulasi

X_E = rata-rata data empirik

Batas penyimpangan yang dapat diterima adalah $\leq 10\%$ untuk penelitian dalam laboratorium (hampir semua variabel dapat dikontrol) dan $\leq 30\%$ untuk penelitian lapangan (Muhammadi *et al.*, 2001; Soesilo, 2005).

Uji sensitivitas adalah intervensi parameter input model dan/atau struktur model untuk melihat seberapa jauh kepekaannya terhadap perubahan *output* model (Muhammadi *et al.*, 2001). Hasil uji ini dalam bentuk perubahan perilaku dan digunakan

untuk menganalisis efek intervensi terhadap model. Perangkat lunak yang digunakan pada metode *system dynamics* ini adalah VENSIM.

3.4.3. Analisis Kebijakan

Analisis multi kriteria digunakan untuk menentukan kebijakan atau solusi terbaik dari berbagai alternatif kebijakan untuk mengelola pencemaran dioksin/furan yang diakibatkan oleh industri. *Output* dari metode OLS dan simulasi *system dynamics* akan menjadi input bagi analisis multi kriteria. Alternatif kebijakan yang digunakan dalam penelitian ini ada 3 (tiga) skenario yaitu, tidak melakukan apa-apa (*Do Nothing*) sebagai acuan, kebijakan yang berbasis lingkungan (*Environment Driven*) dan kebijakan yang berbasis ekonomi (*Economic Driven*). Kriteria-kriteria yang akan digunakan sehubungan dengan alternatif kebijakan pencemaran dioksin/furan antara lain (Tabel 8):

- a. kriteria lingkungan: emisi, konsentrasi di ambien
- b. kriteria ekonomi: keuntungan industri, manfaat bersih dan *PV NetBen*
- c. kriteria sosial: potensi kasus kanker, kasus kematian dan *social cost*
- d. kriteria institusi/pemerintah: dana, SDM, keterlibatan

Tabel 8 Matrik . Prime untuk kebijakan dampak pencemaran dioksin/furan

ALTERNATIF	KRITERIA										
	Lingkungan		Ekonomi			Sosial		Institusi/Pemerintah			
	Jumlah emisi	Konsentrasi di ambien	Keuntungan prod.	Manfaat bersih	<i>PV NetBen</i>	Potensi kasus kanker	Potensi kematian	<i>Social cost</i>	Dana	SDM	Keterlibatan
<i>Do Nothing</i> (Skenario I)											
Kebijakan berbasis Lingkungan (Skenario II) - pengurangan emisi											
Kebijakan berbasis Ekonomi (Skenario III) - peningkatan produksi											

IV KONDISI PENELITIAN

Berikut ini diuraikan kondisi daerah penelitian, yaitu propinsi Banten, khususnya kota Cilegon. Kondisi kabupaten Serang akan dilihat secara khusus karena lokasinya paling dekat dengan Cilegon. Emisi dioksin/furan yang berasal dari industri di Cilegon akan berdampak juga pada daerah sekitarnya termasuk Serang. Kondisi yang akan diuraikan mencakup kondisi geografis dan iklim, kondisi demografi dan sosial - ekonomi, kondisi industri-industri logam di Cilegon, serta kualitas udara.

4.1. Kondisi Geografis dan Iklim

Daerah penelitian dimana industri logam besi dan non besi berada adalah daerah Cilegon dan Kawasan Industri Estate Cilegon (KIEC). Daerah tersebut berada di kota Cilegon yang merupakan salah satu kota di propinsi Banten. Propinsi Banten yang luasnya 8.800,83 km² terdiri atas empat kabupaten yaitu Pandeglang, Lebak, Serang dan Tangerang; serta dua kota yaitu Cilegon dan Tangerang (BPS, 2004). Kota Cilegon berbatasan dengan kabupaten Serang pada sebelah utara, timur, dan selatan. Sedangkan sebelah barat berbatasan dengan Selat Sunda. Jarak antara kota Cilegon dengan kota-kota lain seperti pada Tabel 9.

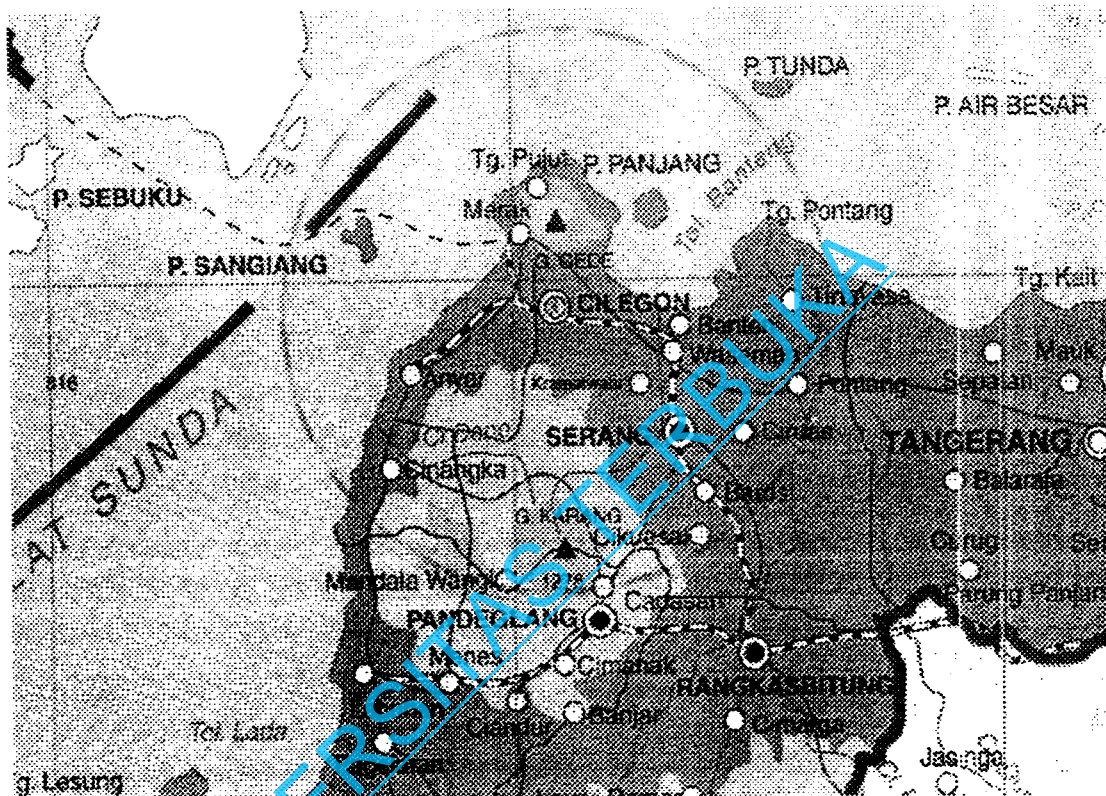
Tabel 9 Jarak antara kota Banten dan sekitarnya (km)

Kota	Jakarta	Pandeglang	Rangkasbitung	Tangerang	Serang	Cilegon
Jakarta	-	111	131	25	90	110
Pandeglang	111	-	20	86	21	41
Rangkasbitung	131	20	-	106	41	61
Tangerang	25	86	106	-	65	85
Serang	90	21	41	65	-	20
Cilegon	110	41	61	85	20	-

Sumber: BPS (2004 a)

Berdasarkan Tabel 9, jarak antara kota Cilegon dengan Serang adalah 20 km. Kota Serang merupakan kota yang terdekat dengan Cilegon, sehingga emisi dioksin/furan

yang dilepaskan industri di Cilegon akan berdampak hingga Serang. Dengan sistem dispersi dari Gaussian, batas perhitungan sistem penyebaran dapat mencapai 50 km (Rufo dan Rufo Jr. 2004), tetapi dalam penelitian ini hanya diambil kota Serang karena pertimbangan batas administratif yang jarak penyebaran dari daerah penelitian hingga seluruh kota Serang adalah 36 km (Gambar 10).



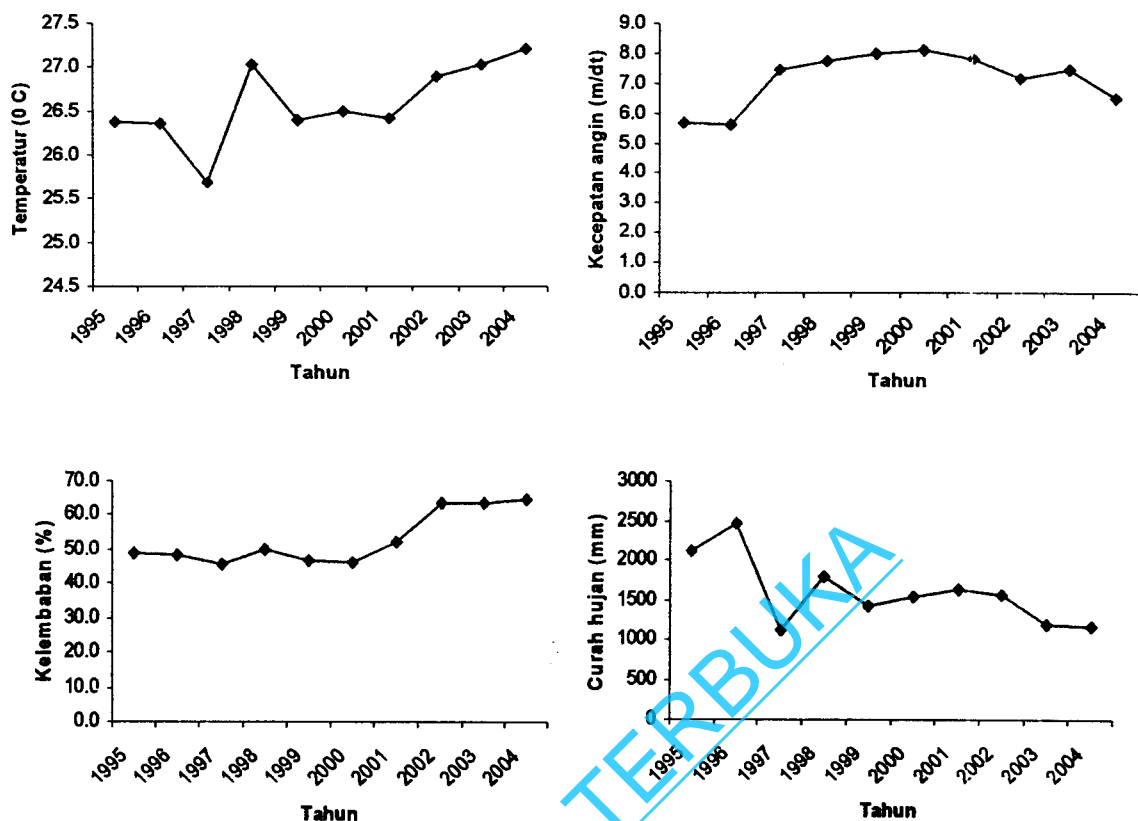
Gambar 10 Peta penyebaran dioksin/furan dari kota Cilegon hingga Serang (36 km)

Penyebaran atau dispersi emisi dioksin/furan sangat dipengaruhi oleh kondisi iklim dan cuaca setempat, yaitu kecepatan angin, arah angin, temperatur rata-rata, kelembaban serta curah hujan. Iklim wilayah Banten sangat dipengaruhi oleh angin Monson dan gelombang La Nina atau El Nino. Saat musim penghujan (Nopember–Maret) cuaca didominasi oleh angin barat (dari Sumatera Hindia sebelah selatan Hindia) yang bergabung dengan angin dari Asia yang melewati laut Cina Selatan. Pada musim kemarau (Juni–Agustus) cuaca didominasi angin timur yang menyebabkan wilayah Banten mengalami kekeringan yang keras terutama wilayah bagian pantai utara, terlebih

lagi bila berlangsung El Nino (BPS, 2004a). Dengan demikian, arah penyebaran emisi dalam waktu panjang (*long term*) dapat diasumsikan menyebar ke semua arah (16 arah *windrose*).

Berdasarkan data yang dikeluarkan BMG Serang yang digunakan dalam penelitian ini, dalam 10 tahun terakhir, rata-rata curah hujan per tahun adalah antara 1171–2460 mm, sedangkan rata-rata kelembaban udara adalah antara 45,3–64,7%. Temperatur rata-rata tahunan dari tahun ke tahun mengalami kenaikan, kenaikan temperatur ini juga dapat merupakan indikasi bahwa udara sekitarnya mengalami pencemaran. Kecepatan angin rata-rata cukup berfluktuasi yaitu berkisar antara 5,6–8 m/detik. Berdasarkan data arah angin, arah angin berkisar dari 113–273 derajat dan arah angin lebih cenderung bergerak ke arah selatan hingga barat yaitu ke arah kota Cilegon, Cibeber, Ciwandan serta ke arah Serang (kecuali pada tahun 1997). Selain itu, persentase cuaca dengan matahari (*sunny*) lebih besar dari pada cuaca mendung (*cloudy*) untuk tiap tahunnya, kecuali tahun 1995, 1996, 1998, dan 2001. Kecepatan angin rata-rata tahunan serta persentase cuaca dengan matahari dan mendung dapat digunakan sebagai indikator untuk pengelompokan kestabilan berdasarkan index Pasquill (Lampiran 1). Kondisi iklim dan cuaca kota Cilegon dalam 10 tahun terakhir dapat dilihat pada Gambar 11.

Berdasarkan index Pasquill tersebut, kestabilan cuaca untuk daerah Cilegon dan Serang pada umumnya adalah kestabilan D, yang menggambarkan keadaan yang netral (Liu dan Liptak, 2000).



Gambar 11 Data Metereologi Cilegon dan Serang dari tahun 1995-2004 (Sumber: BMG Serang, diolah)

4.2. Kondisi Demografi dan Sosial-Ekonomi

4.2.1. Penduduk

Jumlah penduduk di suatu daerah merupakan aset dan potensi suatu daerah bila penduduk tersebut berkualitas. Sebaliknya dengan jumlah dan pertambahan penduduk yang pesat tapi kualitas yang rendah akan menghambat pelaksanaan proses pembangunan. Berdasarkan sensus penduduk yang dilakukan BPS, jumlah penduduk Banten dari tahun ke tahun makin bertambah, demikian pula untuk penduduk kota Cilegon serta Serang. Laju pertumbuhan penduduk untuk kedua daerah tersebut juga dapat dilihat pada Tabel 10. Dalam penelitian ini, angka pertumbuhan (*growth*) yang digunakan, yaitu berdasarkan kondisi *existing* selama 10 tahun terakhir, yaitu 3,6% untuk Cilegon dan Serang.

Tabel 10 Jumlah dan laju pertumbuhan penduduk Cilegon dan Serang tahun 1995-2004

Tahun	Penduduk		(orang) Total	Pertumbuhan
	Cilegon	Serang		
1995	242.069	1.299.905	1.541.974	0,059
1996	246.319	1.392.533	1.638.852	0,012
1997	246.685	1.412.751	1.659.436	0,019
1998	255.262	1.436.505	1.691.767	0,029
1999	278.462	1.464.398	1.742.860	0,105
2000	294.936	1.652.763	1.947.699	0,012
2001	301.225	1.669.119	1.970.344	0,036
2002	309.097	1.735.560	2.044.657	0,021
2003	311.042	1.776.995	2.088.037	0,031
2004	319.422	1.834.514	2.153.936	
			Rata-rata	0,036

Sumber: BPS (2003; 2003a), diolah

Jumlah penduduk dalam penelitian ini digunakan sebagai masyarakat yang terkena dampak dari emisi dioksin/furan. Adanya emisi dioksin/furan akan menyebabkan lingkungan tercemar, sehingga penduduk tersebut dapat merupakan jumlah masyarakat yang berpotensi terpapar yaitu berpotensi terkena kanker hingga mengalami kematian.

Kepadatan penduduk di daerah Cilegon terus meningkat dari tahun 1990 hingga 2003. Kepadatan ini termasuk tinggi dibandingkan daerah lain di Banten, tapi lebih rendah dari kota Tangerang. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 11, yang membandingkan kepadatan Serang, Cilegon, dan Tangerang.

Tabel 11 Kepadatan penduduk Serang, Cilegon dan Tangerang

Kabupaten/Kota	Kepadatan penduduk per km ² (orang)		
	1990	2000	2003
Serang	722	959	1.031
Cilegon	1.288	1.681	1.859
Tangerang	5.010	7.206	7.950

Sumber: BPS (2004a)

Jumlah penduduk Serang lebih besar dari Cilegon, tetapi kepadatannya lebih tinggi Cilegon daripada Serang. Ini disebabkan kota Cilegon yang merupakan kota industri, lebih mempunyai daya tarik untuk tempat tinggal daripada Serang. Di sisi lain, kota Cilegon yang merupakan kota dimana sumber polusi berada, sebaiknya dikurangi kepadatannya untuk mencegah dampak yang lebih besar pada jumlah masyarakat yang terpapar.

Tenaga kerja dominan di Banten berdasarkan status pekerjaan utamanya adalah sebagai buruh/karyawan (45,06%). Jika dirinci menurut kabupaten/kota, sebagian besar pekerja berada pada 3 daerah yang banyak terdapat industri pengolahan, yaitu Kota Tangerang, Kota Cilegon, dan Kabupaten Tangerang (BPS, 2004a). Keadaan ini merupakan hal yang wajar, karena daerah tersebut merupakan pusat pertumbuhan ekonomi setelah masuknya perusahaan-perusahaan industri besar/ sedang yang diikuti sektor perdagangan dan jasa yang menyerap tenaga kerja.

4.2.2. Perkembangan Sosial-Ekonomi

Perekonomian Kecamatan Cilegon sebagai ibukota Kota Cilegon tumbuh dari sektor niaga dan jasa. Kecamatan Cirwandan mempunyai potensi ekonomi di bidang industri dengan Krakatau Steel sebagai industri utama di samping industri-industri padat modal besar lainnya. Dengan jumlah penduduk yang relatif sedikit, sementara nilai tambah yang dihasilkan di wilayah ini cukup besar, maka diperkirakan tingkat kesejahteraan masyarakat juga akan lebih baik. Akan tetapi, tidak semua nilai tambah yang dihasilkan tersebut kembali kepada masyarakat di wilayah tersebut.

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) merupakan salah satu indikator untuk mengukur potensi ekonomi suatu daerah. Kota Cilegon mempunyai PDRB yang cukup tinggi dibandingkan dengan kabupaten/kota lain di Banten, tetapi masih di bawah PDRB Tangerang. Pada pembentukan sektor industri pengolahan mempunyai andil terbesar yaitu lebih dari separuh PDRB kota Cilegon berasal dari sektor industri, seperti yang disajikan pada Tabel 12. Hal ini dikarenakan Cilegon merupakan salah satu kawasan industri yang tengah berkembang, terutama industri logam dan berkontribusi pada pemasukan daerah. Industri logam di Cilegon merupakan industri yang terbesar di Indonesia, oleh sebab itu industri ini dijadikan sampel penelitian karena berdasarkan

penelitian yang telah dilakukan Suminar (2004), estimasi dioksin yang bersumber dari industri logam (besi dan non-besi) merupakan penyumbang sumber emisi dioksin keempat terbesar yaitu sebesar 4,5% dari total emisi dioksin.

Tabel 12 Struktur PDRB kota Cilegon berdasarkan lapangan usaha adh Berlaku tahun 2000-2003 (%)

NO	LAPANGAN USAHA	2000	2001	2002	2003
1	Pertanian, peternakan, kehutanan dan perikanan	3,56	3,36	2,97	2,85
2	Pertambangan dan penggalian	0,09	0,09	0,09	0,08
3	Industri pengolahan	64,38	64,01	61,51	59,34
4	Listrik, gas dan air bersih	8,92	10,18	11,61	12,77
5	Bangunan	0,45	0,46	0,44	0,45
6	Perdagangan, hotel dan restoran	11,09	11,07	10,92	11,68
7	Pengangkutan dan komunikasi	8,72	8,16	9,57	9,36
8	Keuangan, persewaan dan jasa perusahaan	1,50	1,36	1,49	2,10
9	Jasa-jasa	1,29	1,3	1,4	1,42
	Jumlah	100	100	100	100

Sumber: BPS Kota Cilegon (2004)

Dalam penelitian ini, dampak adanya industri besi baja di Cilegon, khususnya emisi dioksin/furan akan dikaji secara ekonomi berdasarkan estimasi PDRB. Sedangkan data PDRB Cilegon dan Serang dalam 10 tahun dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 PDRB Cilegon dan Serang dari tahun 1995-2004

Tahun	PDRB Cilegon				PDRB Serang				PDRB/kpt Serang + Cilegon
	adh*		per kapita		adh*		per kapita		
	Berlaku (Juta Rp)	Konstan (Juta Rp)	adh (Rp)	Berlaku (Rp)	Berlaku (Miliar Rp)	Konstan (Miliar Rp)	Berlaku (Rp)	Konstan (Rp)	
1995	5,704,514	4,981,190	3,511,767	3,066,490	5,704,514	4,981,190	3,511,767	3,066,480	3,066,480
1996	6,539,244	5,419,278	3,947,270	3,271,227	6,539,244	5,419,278	3,947,270	3,271,227	3,271,227
1997	7,503,414	5,653,568	4,443,571	3,348,080	7,503,414	5,653,568	4,443,571	3,348,080	3,348,080
1998	5,188,258	2,413,484	18,711,482	8,704,234	5,203,013	2,424,614	3,405,527	1,585,154	2,859,789
1999	5,680,623	2,508,581	19,836,517	8,759,868	5,653,671	2,453,401	3,597,827	1,553,030	2,847,034
2000	6,656,581	2,659,128	22,463,458	8,990,648	6,541,263	2,577,376	4,009,193	1,579,690	2,688,559
2001	7,827,251	2857000	25,546,331	9,484,604	7,226,565	2,957,374	4,350,886	1,599,921	2,798,685
2002	9,163,358	3097000	29,960,382	10,019,508	8,266,048	2,789,519	4,855,698	1,626,889	2,869,194
2003	10,395,310	3314000	31,679,877	10,654,509	8,998,670	2,884,187	5,123,716	1,642,216	2,968,427
2004	11,632,238	3562000	36,416,521	11,151,392	9,989,429	3,004,923	5,555,074	1,671,032	3,048,808

* = adh = atas dasar harga

Sumber: BPS Kabupaten Serang (1998, 2000, 2001a, 2001b, 2003, 2005); BPS Kota Cilegon (2004), diolah

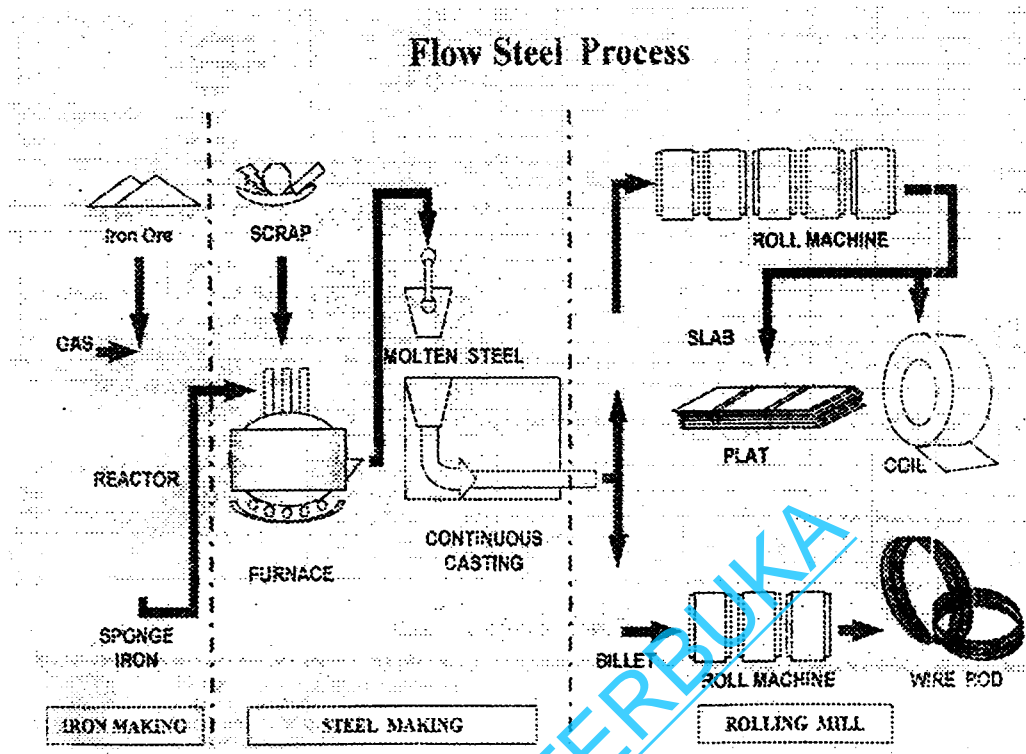
4.3. Kondisi industri-industri logam di Cilegon

Industri-industri yang diambil sebagai sampel adalah industri yang diperkirakan berpotensi mengeluarkan emisi dioksin/furan. Terdapat 5 (lima) industri terpilih yang terletak di daerah Cilegon dan KIEC, yaitu PT Krakatau Steel/PT KS (Industri I-III), PT Krakatau Pratama Dharma Sentana/PT KPDS (Industri IV), PT Latinusa (Industri V), PT Seamless Pipe Indonesia/PT SPLI (Industri VI), PT Karunia Berca Indonesia/PT KBI (Industri VII). Tiga divisi untuk PT KS yaitu divisi penghasil billet baja (Industri I), baja lembaran dingin (Industri II) dan slab (Industri III). Industri-industri tersebut telah lama berdiri dan telah memproduksi lebih dari 10 tahun serta termasuk golongan industri menengah hingga besar. Industri-industri tersebut digolongkan sebagai industri yang memproduksi logam besi dan non-besi atau industri logam.

Industri baja umumnya bersifat padat modal (kapital besar/intensif), karena itu di negara berkembang diawali dengan perusahaan BUMN, seperti PT KS. Tujuan didirikannya pabrik baja adalah untuk memenuhi kebutuhan vital industrialisasi dan pembangunan nasional. Selain itu, untuk kepentingan nasional dalam rangka pembangunan wilayah terpencil, seperti Cilegon atau Banten pada saat itu. Dasar penentuan lokasi pabrik baja di Cilegon, Banten adalah:

- a. pemasaran yang cukup baik
- b. adanya pelabuhan atau prasarana
- c. tersedianya tanah yang cukup luas
- d. tersedianya air yang cukup banyak
- e. kondisi politik daerah
- f. daerah bahan baku (saat itu)
- g. tersedianya pekerja (saat itu)

PT KS memiliki beberapa buah fasilitas produksi yang membuat perusahaan ini menjadi satu-satunya industri baja terpadu di Indonesia. Pabrik tersebut menghasilkan berbagai jenis produk baja dari bahan mentah. Secara umum, proses produksi baja dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Aliran proses pembuatan besi/baja

Proses dimulai dari pengolahan bijih besi menjadi *sponge* besi dengan menggunakan gas alam. Besi yang dihasilkan kemudian diproses lebih lanjut dengan pembakaran pada tungku (*furnace*). Di dalam tungku, besi dicampur dengan *scrap*, *hot bricket iron* dan material tambahan lainnya untuk menghasilkan dua jenis baja yang disebut baja *slab* dan baja *billet*. Baja *slab* selanjutnya menjalani proses pemanasan ulang dan pengerolan di Pabrik Baja Lembaran Panas menjadi produk akhir yang dikenal dengan nama baja lembaran panas. Produk ini banyak digunakan antara lain untuk aplikasi konstruksi kapal, pipa, bangunan, dan konstruksi umum. Selanjutnya sebagian baja diolah melalui proses pengerolan ulang dan proses kimiawi di Pabrik Baja Lembaran Dingin menjadi produk akhir yang disebut lembaran dingin. Proses ini menggunakan HCl sebagai *acid regeneration*. Produk ini umumnya digunakan antara lain untuk aplikasi bagian dalam dan luar kendaraan bermotor, kaleng atau peralatan rumah tangga. Sementara itu, baja *billet* mengalami proses pengerolan di Pabrik Batang Kawat untuk

menghasilkan batang kawat baja yang banyak digunakan untuk aplikasi senar piano, mur dan baut, kawat baja, pegas dan lain-lain.

Berdasarkan proses ini, potensi emisi dioksin/furan ke udara terjadi pada pembakaran dalam tungku. Sedangkan sumber zat klor dapat dihasilkan dari *scrap* serta HCl yang digunakan sebagai *acid regeneration* ataupun penambahan klor pada saat peleburan untuk membersihkan kotoran-kotoran. *Scrap* yang digunakan umumnya merupakan gabungan antara *scrap* kotor dan bersih.

Emisi yang dikeluarkan industri tergantung teknologi tungku yang digunakan serta pada besarnya aktivitas industri, yaitu banyaknya bahan baku atau hasil produksi industri. Sedangkan penyebaran emisi, selain bergantung pada faktor meteorologi, juga tergantung pada kondisi fisik industri, misalnya tinggi cerobong, diameter cerobong, kecepatan gas keluar, serta temperatur gas keluar. Secara detail kondisi *existing* untuk masing-masing industri pada Tabel 14.

Tabel 14 Data-data kondisi *existing* untuk masing-masing industri

	Industri						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Jenis produksi	Billet baja	Baja untuk aplikasi otomotif, alat rt, kaleng dsb	Slab baja	Peleburan aluminium	Pelat baja tipis berlapis timah untuk pembuatan kaleng	Pipa besi baja	<i>Galvanized zinc</i>
Jenis bahan baku	Scrap biji besi, besi spons, kapur	<i>Rolled coil</i>	Scrap, biji besi, besi spons, kapur	Scrap Al, yaitu <i>ingot</i> Al dicampur dengan sisa-sisa, limbah bekas dari masyarakat dan potongan dari pabrik/bengkel	Iron <i>ingot</i> , tin 99,97%	Besi/baja tua	<i>Black steel</i>

Tabel 14 (Lanjutan)

	Industri						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Kapasitas tungku	500.000 ton/tahun	850.000 ton/tahun	1.000.000 ton/tahun + 800.000 ton/tahun	2- 3,5 ton/shift	0,475 ton/jam (130.000 ton/tahun)	4-21 ton/jam	3-4 ton/shift
Jenis tungku	<i>Electric Arc Furnace (EAF)</i>	<i>Batch annealing furnace</i>	EAF	<i>Melting furnace</i>	<i>Electric induction furnace</i>	<i>Tempering furnace</i>	Oven
Tinggi cerobong	32 m	25 m	32 m	10,43 m	3,757 m	16 m	12 m
Diameter cerobong	1,25 m	1,25 m	1,25 m	60 cm	3,048 m	1 m	40 cm
Kecepatan gas keluar	82 m/detik	108 m/detik	73,4 m/detik	9,8 m/detik	2,1 m/detik	9,8 m/detik	9,8 m/detik
Temperatur gas keluar	94 °C	108 °C	50 °C	50 °C	45 °C	50 °C	80 °C

Sumber: Hasil interview dan kuesioner

Penggunaan teknologi tungku serta bahan baku akan menentukan nilai faktor emisi, sehingga emisi dioksin/furan yang keluar dari industri dapat diestimasi. Hubungan antara faktor emisi dan penggunaan teknologi tungku dan bahan baku dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 Faktor emisi untuk kategori produksi logam besi dan non-besi

No	Klasifikasi	Faktor Emisi – ug TEQ/ton produksi				
		Udara	Air	Tanah	Produk	Residu
III Sub-kategori : produksi besi dan baja						
<u>Pembuatan besi baja (Iron and steelmaking)</u>						
1	Skrap kotor (terkontaminasi), kontrol terbatas	10	NA	NA	NA	15
2	Skrap bersih/besi murni, <i>afterburner</i> dan ada penyaringan	3	NA	NA	NA	15
3	Skrap bersih/besi murni, EAF yang dirancang untuk emisi PCDD/PCDF rendah, <i>BOF furnaces</i>	0,1	NA	NA	NA	1,5
4	<i>Blast furnace</i> dengan APC	0,01	ND	ND	ND	ND
<u>Peleburan besi (Iron foundries)</u>						
1	<i>Cold air copula</i> atau <i>rotary drum</i> tanpa pembersih gas	10	NA	NA	NA	ND
2	<i>Rotary drum – fabric filter</i>	4,3	NA	NA	NA	0,2
3	<i>Cold air copula – fabric filter</i>	1	NA	NA	NA	8
4	<i>Hot air copula</i> , atau <i>induction furnace – fabric filter (foundry)</i>	0,03	NA	NA	NA	0,5
V Sub-kategori : produksi aluminium						
<u>Proses skrap Al, minimal treatment pada bahan baku,</u>						
1	Pembuangan debu sederhana	150	ND	ND	ND	400
2	Skrap treatment, kontrol baik, APCS baik	35	ND	ND	ND	400
3	<i>Shaving/turning drying</i>	10	ND	ND	ND	NA
4	Proses optimalisasi, optimal APCS	1	ND	ND	ND	400
VII Sub-kategori : produksi zink						
	Peleburan zink	0,3	ND	NA	NA	NA

NA = Not Available ND = Not Detection
Sumber: UNEP (2003a)

Selama 10 tahun (1995-2004), produksi untuk tiap-tiap industri dapat dilihat pada Tabel 16. Berdasarkan data hasil produksi tersebut, terlihat produksi industri berfluktuasi. Produksi tertinggi diperoleh pada tahun 1996 untuk sebagian industri logam. Pada saat itu, industri logam besi baja tengah mengalami *booming*, setelah itu, produksi industri berfluktuasi. Selain itu, fluktuasi juga dipengaruhi oleh kondisi sosial dan politik, seperti adanya krisis moneter semenjak tahun 1997.

Tabel 16 Hasil produksi industri logam di Cilegon tahun 1995-2004

TAHUN	PRODUKSI INDUSTRI (TON)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1995	368.595	464.663	1.170.150	5.837	24.676,07	0	563,36
1996	1.010.754	1.198.867	2.934.188	1.437	31.235,53	31.657	619,56
1997	473.903	597.417	1.504.463	912	42.210,17	32.309	552,69
1998	305.462	553.894	1.332.633	432	52.111,32	48.119	516,52
1999	317.643	586.633	1.485.472	112	63.159,12	27.803	740,03
2000	430.422	618.320	1.460.623	221	87.177,13	32.772	400,1
2001	422.989	587.040	1.326.128	1.934,26	139.161,65	48.487	466,13
2002	415.555	555.759	1.191.633	3.647,51	191.146,16	46.678	756,24
2003	321.979	495.608	1.000.152	3.123,41	17.287	35.319	622,94
2004	406.607	608.649	1.189.153	3.647,51	92.000	50.038	457,98

Sumber: Sensus Ekonomi BPS 1995-2004 dan hasil *interview*, diolah

Bila dikaji berdasarkan keragaman antar industri tersebut, dengan menggunakan ANOVA (Lampiran 2), tampak bahwa secara *signifikan* terjadi pengelompokan industri berdasarkan produksi, kelompok I yaitu industri I dan II dengan kapasitas produksi rata-rata 447.000-627.000 ton; kelompok II yaitu industri III dengan kapasitas produksi rata-rata 1.000.000-1.460.000 ton; kelompok III yaitu industri IV, V, VI dan VII dengan kapasitas produksi rata-rata 570-74.000 ton. Produksi industri I, II dan III jauh lebih tinggi dibandingkan industri-industri lainnya. Walaupun industri-industri tersebut mempunyai hasil produksi yang rendah, namun emisi dioksin/furan tidak dapat diabaikan. Emisi tersebut bersifat kumulatif, sehingga walaupun kecil, berkontribusi pada pencemaran yang dihasilkan.

4.4. Kondisi kualitas udara

Kondisi udara yang baik bagi kesehatan tubuh adalah salah satu kebutuhan manusia. Kualitas udara ini erat hubungannya dengan tingkat kesehatan penduduk. Sedangkan tingkat kesehatan penduduk merupakan salah satu indikator keberhasilan pembangunan. Masalah kesehatan merupakan hal yang juga berkaitan dengan peningkatan jumlah industri dengan limbah yang mencemari lingkungan.

Berdasarkan hasil pemantauan AMDAL yang dilakukan oleh PT KS pada tahun 1997, kondisi kualitas udara ambien di sekitar kota Cilegon hingga 6 km dari sumber

cukup aman. Hal ini dapat dilihat pada jumlah konsentrasi debu, SO₂, NO₂, H₂S dan NH₃ seperti pada Tabel 17.

Tabel 17 Hasil pengukuran kualitas udara ambien tahun 1997

No	Lokasi	Jarak (m)	Kadar (mg/m ³)				
			Debu	SO ₂	NO ₂	H ₂ S	NH ₃
	Standar		260	260	29,5	42	1360
I	Daerah Industri						
	Mesjid KIEC	1400	54,17	4,02	6,78	ttd	11,2
	PT ASC	6000					
II	Daerah Perkotaan						
	Hotel Permata Krakatau	4600	53,51	1,97	1,73	ttd	3,02
	Jl. Madani	5100	78,42	0,91	0,79	ttd	4,95
III	Daerah Pemukiman						
	Kompl. Rawa Arum	3300	58,71	5,11	4,54	ttd	ttd
	Desa Semang Raya	1050	132,47	3,70	1,83	ttd	6,81

ttd = tidak terdeteksi

Sumber: AMDAL Terpadu PT Krakatau Steel, 1997

Berdasarkan Tabel 17, konsentrasi-konsentrasi yang dikeluarkan industri masih berada di bawah ambang batas, akan tetapi konsentrasi dioksin/furan belum dimasukkan dalam ketentuan yang harus diukur oleh industri.

Di sisi lain, berdasarkan data yang dikeluarkan BPS (2004), banyak desa yang mengalami gangguan lingkungan di daerah Banten pada tahun 2002, termasuk Cilegon dan Serang seperti pada Tabel 18. Indikator dari gangguan lingkungan adalah banyaknya masyarakat yang mengalami berbagai macam penyakit.

Tabel 18 Banyaknya desa yang mengalami gangguan lingkungan pada tahun 2002

Provinsi	Pencemaran		Polusi udara dan bau	Berkurangnya RTH	Pencemaran suara (bising)
	Air	Tanah			
Banten	143 (21,7%)	44 (6,7%)	193 (29,2%)	109 (16,5%)	171 (25,9%)

Sumber: BPS (2004)

Berdasarkan data tersebut, polusi udara dan bau merupakan pencemar yang paling tinggi mengganggu desa-desa yang ada, diikuti dengan pencemaran suara. Hal ini dikarenakan banyaknya industri yang menimbulkan pencemaran, sehingga mengganggu masyarakat yang tinggal di desa-desa tersebut. Data ini sesuai pula dengan data yang dikeluarkan oleh BPS kota Cilegon (2004a) yang menyatakan bahwa keluhan terbanyak yang dialami oleh masyarakat Cilegon adalah panas, batuk, dan pilek. Hampir 50% penduduk menyatakan keluhan terhadap batuk dan pilek. Tingkat pencemaran udara baik dari industri maupun kendaraan kemungkinan merupakan penyebab utama terhadap keluhan pada alat pernafasan manusia. Keluhan kesehatan lain adalah sakit kepala berulang dan (21,88%) dan diare (6,79%).

Industri logam di daerah Cilegon, merupakan industri yang terbesar di Indonesia. Jika dikaji berdasarkan jumlah industri logam, industri ini membutuhkan paling tidak 2.000.000 ton bahan baku yang harus dibakar setiap tahunnya. Tentu saja proses ini akan berpotensi mengeluarkan emisi dioksin/furan yang tingkat konsentrasi di ambien sangat dipengaruhi pula oleh kondisi fisik industri serta kondisi cuaca.

UNIVERSITAS TERBUKA

V MODEL ESTIMASI EMISI DAN KONSENTRASI DIOKSIN/FURAN

Model yang akan dibangun dalam penelitian ini yaitu model dampak pencemaran emisi dioksin/furan yang terdiri atas model *system dynamics* yang komprehensif yang terdiri atas 3 sub model serta model formulasi kebijakan, sehingga secara keseluruhan terdiri dari 4 sub-model, yaitu:

- a. Sub model produksi dan potensi emisi
- b. Sub model dispersi untuk menentukan konsentrasi
- c. Sub model prediksi dampak emisi pada lingkungan, sosial, ekonomi dengan model *system dynamics*
- d. Sub model formulasi kebijakan

Masing-masing sub-model tersebut memerlukan data dan mempunyai dasar perhitungan yang berbeda. Secara umum, dasar perhitungan pembuatan model dalam penelitian menggunakan data secara *time series* selama 10 tahun terakhir yaitu dari tahun 1995–2004, sedangkan sumber data adalah data sekunder maupun primer seperti tercantum pada Tabel 7.

5.1 Sub model produksi dan estimasi emisi

Pada sub-model produksi dan estimasi emisi, data hasil produksi diambil langsung dari lapangan dengan pengisian kuesioner dan dibandingkan dengan data sensus ekonomi industri yang dilakukan oleh BPS pada setiap tahun (Tabel 16). Berdasarkan data tersebut, produksi rata-rata tiap industri dari tahun 1995–2004 sangat bervariasi. Produksi industri I, II, dan III jauh lebih tinggi dibandingkan industri-industri lainnya. Walaupun industri-industri tersebut mempunyai produksi yang rendah, emisi dioksin/furan yang dihasilkan dari produksi juga diperhitungkan.

Berdasarkan data produksi masing-masing industri dalam 10 tahun terakhir (Tabel 16), maka dibuat pertumbuhan (*growth*) dari masing-masing industri, seperti pada Tabel 19, yang nilai pertumbuhan tersebut akan digunakan sebagai parameter konstanta dalam *system dynamics*.

Tabel 19 Tingkat pertumbuhan (*growth*) produksi masing-masing industri

Industri	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>Growth</i>	0,038	0,046	0,041	0,040	0,175	0,003	0,142

Pertumbuhan terbesar terjadi pada industri V yaitu 0,175 dan terkecil pada industri VI yaitu 0,003. Peningkatan industri V sangat signifikan disebabkan perusahaan tersebut memproduksi bahan baku pembuatan kaleng (misalnya untuk kaleng minuman/makanan, susu) dengan tingkat perkembangan yang terus naik.

Selain pertumbuhan produksi, harga per ton produksi juga dikaji untuk model *system dynamics* yang akan dibangun. Harga per ton produksi merupakan nilai produksi dibagi dengan produksi (data lengkap di Lampiran 3). Harga per ton produksi yang digunakan untuk industri I-IV dan VI merupakan harga rata-rata dari tahun 1995-2004, kecuali tahun 2001, karena data tahun tersebut merupakan prediksi (data sebenarnya tidak ada). Untuk industri V, hanya diambil nilai pada tahun terakhir saja (2004), karena data sangat fluktuatif, demikian pula untuk industri VII, data hanya tersedia untuk tahun 2004. Data harga per ton produksi yang digunakan sebagai parameter konstanta dalam *system dynamics* seperti pada Tabel 20.

Tabel 20 Harga per ton produksi industri I–VII

	Industri						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Harga rata-rata per ton (ribu Rp.)	1.585	2.281	1.588	7.923	6.652	5.737	4.115

Perhitungan emisi dioksin/furan dari industri tidak dihitung secara langsung karena sulit dilakukan dan membutuhkan biaya yang besar. Dibutuhkan peralatan yang sangat peka, karena konsentrasi dioksin/furan yang sangat kecil (hingga picogram, 10^{-12} g) dan di Indonesia alat tersebut belum tersedia. Dengan demikian, nilai emisi merupakan estimasi yang merupakan perkalian antara faktor emisi (Tabel 15) dan data aktivitas industri seperti pada persamaan 5.1. Selain itu, faktor emisi yang digunakan merupakan hasil dari penelitian yang sesuai standar dari UNEP-Chemical yang terdapat dalam *Toolkit* UNEP (UNEP, 2003).

Model persamaan yang digunakan untuk menghitung emisi dari tiap-tiap industri adalah :

$$E_{yr} = A_{yr} \times EF \quad (5.1)$$

E_{yr} = emisi /tahun (g TEQ/tahun)

A_{yr} = data aktivitas per tahun yaitu banyaknya bahan baku atau produk yang dihasilkan (kg/tahun)

EF = faktor emisi, massa emisi dioksin/unit tingkat aktivitas, dinyatakan dalam μg I-TEQ per unit bahan baku atau produk yang diproduksi (Tabel 15).

Berdasarkan model persamaan di atas, maka estimasi emisi tiap-tiap industri berdasarkan perhitungan untuk penelitian ini seperti tercantum pada Tabel 21. Perhitungan atau estimasi untuk penelitian menggunakan faktor emisi berdasarkan hasil survey teknologi yang digunakan. Emisi dioksin/furan di lingkungan bersifat akumulatif (UNEP 2003), sehingga walaupun emisi yang dikeluarkan industri sangat kecil (misal, industri V, VI dan VII), tapi perlu diperhitungkan pula, karena akan berpengaruh terhadap emisi total. Perhitungan secara detail terdapat dalam Lampiran 4.

Tabel 21 Estimasi emisi dioksin/furan Industri I–VII

TAHUN	ESTIMASI EMISI DIOKSIN/FURAN (gTEQ)							TOTAL
	I	II	III	IV	V	VI	VII	
1995	2,40	0,46	7,61	0,54	$7,40 \cdot 10^{-4}$	na	$1,69 \cdot 10^{-4}$	11,01
1996	6,57	1,20	19,07	0,13	$9,37 \cdot 10^{-4}$	$9,50 \cdot 10^{-4}$	$1,86 \cdot 10^{-4}$	26,98
1997	3,08	0,50	9,78	0,08	$12,66 \cdot 10^{-4}$	$9,69 \cdot 10^{-4}$	$1,66 \cdot 10^{-4}$	13,54
1998	1,99	0,55	8,66	0,04	$15,633 \cdot 10^{-4}$	$14,43 \cdot 10^{-4}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$	11,24
1999	2,06	0,59	9,66	0,01	$18,95 \cdot 10^{-4}$	$8,34 \cdot 10^{-4}$	$2,22 \cdot 10^{-4}$	12,32
2000	2,80	0,62	9,49	0,02	$26,15 \cdot 10^{-4}$	$9,83 \cdot 10^{-4}$	$1,20 \cdot 10^{-4}$	12,93
2001	2,75	0,59	8,62	0,18	$41,75 \cdot 10^{-4}$	$14,55 \cdot 10^{-4}$	$1,40 \cdot 10^{-4}$	12,14
2002	2,70	0,56	7,75	0,34	$57,34 \cdot 10^{-4}$	$14,00 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-4}$	11,35
2003	2,09	0,50	6,50	0,29	$5,19 \cdot 10^{-4}$	$10,59 \cdot 10^{-4}$	$1,87 \cdot 10^{-4}$	9,38
2004	2,64	0,61	7,73	0,34	$27,60 \cdot 10^{-4}$	$15,01 \cdot 10^{-4}$	$1,37 \cdot 10^{-4}$	11,32

Estimasi emisi dioksin/furan yang berasal dari industri pabrik logam besi dan non-besi di daerah Cilegon dari tahun 1995-2004 adalah sebesar 9,38–26,98 gTEQ yang berasal dari total produksi 1,87–5,21 juta ton. Bila dikaji lebih lanjut, data pada tahun

1996 merupakan pencilan, sehingga dalam analisis untuk perhitungan rata-rata, data tersebut tidak digunakan. Dengan demikian, emisi untuk tahun 1995-2004 adalah sebesar 9,38-13,54 gTEQ per produksi 1,874-2,152 juta ton per tahun. Negara Cina, yang memproduksi 182 juta ton baja pada tahun 2002, menghasilkan emisi dioksin/furan sebesar 127-1.820 gTEQ. Data emisi ini memperlihatkan bahwa emisi yang bersumber dari kategori proses logam besi memberikan kontribusi emisi terbesar di Cina (Jin *et al.*, 2004). Di Indonesia, emisi dioksin/furan yang berasal dari industri logam tidak merupakan sumber terbesar untuk emisi dioksin/furan seperti di Cina, tapi merupakan sumber emisi dioksin/furan ke-4 terbesar (Suminar, 2003). Walaupun demikian, emisi yang dilepaskan telah cukup tinggi, sehingga harus direduksi.

Berdasarkan faktor emisi (Tabel 15), ada nilai faktor emisi terendah dan tertinggi yang bergantung pada teknologi yang digunakan, sehingga nilai emisi terendah dan tertinggi dapat diestimasi pula. Emisi terendah dihitung berdasarkan nilai faktor emisi terendah dalam sub-kategori tersebut, misalnya untuk pembuatan besi baja faktor emisi terendah adalah 0,01 $\mu\text{gTEQ/ton}$ produksi, dikalikan dengan hasil produksi. Sedangkan untuk emisi tertinggi merupakan hasil perkalian faktor emisi tertinggi (10 $\mu\text{gTEQ/ton}$ produksi) dengan hasil produksi. Estimasi emisi terendah dan tertinggi serta estimasi hasil penelitian untuk tiap-tiap industri dari tahun 1995-2004 serta contoh perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 4.

Berdasarkan perhitungan emisi yang telah dilakukan, maka tiap tahun ada 3 nilai emisi, yaitu nilai emisi terendah, nilai emisi tertinggi dan nilai emisi berdasarkan penelitian. Untuk nilai emisi berdasarkan penelitian, dilakukan perhitungan ketidakpastian dengan menggunakan simulasi Monte Carlo (MC). Dengan menggunakan *confidence interval* 95%, iterasi 20.000 kali, *certainty* 100% dan 50% (*uncertainty* 0% dan 50%), maka hasil simulasi MC seperti terlihat dalam Tabel 22 (contoh *output* MC ada di Lampiran 5). Berdasarkan simulasi tersebut, estimasi berdasarkan simulasi MC memberikan interval nilai sebesar $\pm 3\%$ dari estimasi emisi berdasarkan penelitian baik untuk *certainty* 100% ataupun 50%. Ini berarti, data pada penelitian mempunyai ketidakpastian yang kecil. Interval dalam penelitian sangat kecil bila dibandingkan dengan kajian yang dilakukan oleh Pulles dan Kok (2005). Dengan menggunakan simulasi MC iterasi 20.000 kali dan 90% *confidence interval*, penelitian tersebut

menghasilkan emisi dioksin/furan yang mempunyai interval $\pm 2,5$ lebih besar dan lebih kecil dari nilai penelitian (sebenarnya) yaitu 3,3 kgI-TEQ/tahun menjadi 1,2–7,4 kg-TEQ/tahun.

Tabel 22 Estimasi emisi dioksin/furan berdasarkan simulasi Monte Carlo

Tahun	Estimasi emisi terendah (Toolkit) gTEQ	Estimasi emisi tertinggi (Toolkit) gTEQ	Estimasi emisi berdasarkan penelitian gTEQ	Estimasi emisi berdasarkan simulasi Monte Carlo, <i>certainty</i> 100% gTEQ	Estimasi emisi berdasarkan simulasi Monte Carlo, <i>certainty</i> 50% gTEQ
1995	0,48	21,16	11,01	10,69 - 11,62	10,71-11,19
1996	1,24	52,28	26,98	26,72 - 27,49	26,71-27,49
1997	0,62	26,64	13,54	13,26 - 14,07	13,30-13,72
1998	0,57	22,99	11,24	11,02 - 11,80	11,03-11,79
1999	0,61	24,82	12,32	12,09 - 12,79	12,06-12,84
2000	0,64	26,33	12,93	12,73 - 13,43	12,74-13,74
2001	0,61	25,53	12,14	11,89 - 12,68	11,88-12,64
2002	0,58	24,56	11,35	11,06 - 11,95	11,11-11,93
2003	0,51	19,17	9,38	9,08 - 9,92	9,12-9,93
2004	0,63	24,01	11,32	11,03 - 11,86	11,04-11,90

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Suminar (2003), pada tahun 2000 emisi dioksin/furan sebesar 21.126 gTEQ untuk seluruh Indonesia. Dengan mempertimbangkan jumlah penduduk, maka paparan per orang/hari/kg berat badan mencapai 4.686,3 pgTEQ. Sedangkan bila dikaji emisi yang dihasilkan dari penelitian ini yang berasal dari industri logam besi dan non-besi di daerah Cilegon dan Serang, maka paparan per orang/hari/kg berat badan telah mencapai 205,13-325,96 pgTEQ. Angka ini jauh di atas batas ambang maksimal yang telah ditentukan WHO ataupun EPA yaitu 10 pgTEQ, sehingga emisi dioksin/furan ini harus direduksi.

Hubungan antara produksi dan emisi

Untuk mengkaji hubungan antara produksi dan emisi, digunakan metode OLS dengan model persamaan regresi dengan persamaan :

$$\text{Estimasi emisi dioksin/furan} = b_0 + b_1 \text{ produksi}$$

Berdasarkan hasil pendugaan parameter atas model tersebut, memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) mencapai 100% dengan nilai s yang sangat kecil. Makin besar produksi, maka emisi yang dikeluarkan juga akan semakin besar. Secara lengkap koefisien-koefisien yang terdapat dalam persamaan regresi untuk Industri I – VII adalah seperti dalam Tabel 23.

Tabel 23 Koefisien-koefisien persamaan regresi antara emisi dan produksi

Jenis Industri	Koefisien		
	b_0	b_1	$R^2 / R^2_{\text{adjs.}}$
I	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	100% / 100%
II	$-4,97 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	100% / 100%
III	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-6}$	100% / 100%
IV	$1,97 \cdot 10^{-7}$	$9,25 \cdot 10^{-5}$	100% / 100%
V	$-1,12 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	100% / 100%
VI	$-1,54 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	100% / 100%
VII	$-2,5 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$	100% / 100%

Berdasarkan persamaan regresi dengan koefisien-koefisien seperti pada Tabel 23, maka untuk industri I, bila industri tersebut berproduksi 1.000.000 ton, maka estimasi emisi dioksin/furan yang akan dikeluarkan sebesar 6,5 gram. Sedangkan untuk industri-industri lainnya estimasi emisi dioksin adalah Industri II sebesar 1 gram, Industri III sebesar 6,5 gram, Industri IV sebesar 92,5 gram, Industri V, VI sebesar 0,03 gram dan Industri VII sebesar 0,3 gram.

Berdasarkan hubungan regresi antara produksi dan emisi tersebut menunjukkan bahwa emisi yang dikeluarkan oleh industri dapat dibagi dalam 3 kelompok. Industri I–III menghasilkan emisi dioksin/furan 1–6,5 gram per 1 juta ton produksi. Industri IV menghasilkan estimasi emisi yang tertinggi dibandingkan industri lainnya yaitu 92,5 gram, serta Industri V–VII menghasilkan emisi sebesar 0,03–0,3 gram. Perbedaan antara emisi yang dilepaskan dapat disebabkan dari berbagai aspek, yaitu jenis industri serta faktor emisi. Tapi bila dikaji untuk masing-masing industri (Tabel 21), ternyata emisi yang berasal dari industri I, II dan III yang memberikan kontribusi terbesar.

Jenis industri IV (emisi tertinggi untuk 1 juta ton produksi) merupakan industri aluminium, sedangkan industri I-III adalah industri besi-baja. Berdasarkan penelitian terdahulu, untuk pembakaran dengan teknologi yang tidak modern (*older technology*) pada industri aluminium akan menghasilkan emisi sebesar 146-233 $\mu\text{gTEQ/ton}$ produksi atau 146-233 gTEQ/juta ton produksi (UNEP, 2003). Industri aluminium dalam penelitian ini, menggunakan jenis pembakaran *scrap* Al dengan perlakuan pembuangan debu sederhana. Berdasarkan UNEP (2003), faktor emisi untuk jenis pembakaran tersebut adalah 150 $\mu\text{gTEQ/ton}$. Untuk mengurangi emisi dioksin/furan pada industri aluminium, harus dilakukan seleksi pada *scrap* yang digunakan dan *pretreatment*. Setelah pembakaran, dilakukan perlakuan terhadap gas yang dibuang, misalnya dengan penyaringan menggunakan *lime injection* atau karbon aktif (UNEP, 2003).

Berdasarkan persamaan regresi dengan koefisien pada Tabel 23, maka hubungan antara emisi dan produksi merupakan hubungan linier sempurna. Maka untuk mengkaji hubungan konsentrasi dioksin/furan di ambien dengan pengaruh variabel-variabel, hanya akan digunakan satu variabel saja, yaitu variabel emisi. Hal ini digunakan untuk menghindari muktikolinieritas sempurna.

5.2 Sub model dispersi untuk estimasi konsentrasi

Pada perhitungan dispersi parameter meteorologi atau cuaca memegang peranan penting. Berdasarkan data meteorologi dari tahun 1995-2004 (Gambar 10), digunakan index Pasquill untuk menentukan kestabilan cuaca (Lampiran 1). Walaupun data meteorologi adalah data pengamatan dalam jangka pendek, tetapi data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data rata-rata tahunan (jangka panjang). Pendekatan diharapkan dapat mewakili keadaan cuaca rata-rata untuk pengendalian pencemaran udara, dan dapat digunakan data sekunder dalam periode pengamatan yang cukup panjang (Soedomo, 2001). Menurut Soedomo (2001), pengambilan sampel sesaat (data primer), hanya dipakai sebagai verifikasi, karena perilaku variasi unsur pencemar udara yang sangat dinamis dengan waktu dan ruang, diantaranya unsur cuaca. Pada penelitian ini juga tidak dilakukan pengambilan sampel secara langsung.

Konsentrasi dioksin/furan dihitung berdasarkan persamaan Gaussian. Karena penelitian ini menggunakan data tahunan, maka persamaan dispersi yang digunakan

Konsentrasi dioksin/furan dihitung berdasarkan persamaan Gaussian. Karena penelitian ini menggunakan data tahunan, maka persamaan dispersi yang digunakan adalah persamaan Gaussian untuk jangka panjang (*long term*) (Schnelle dan Dey, 1999). Pada persamaan *long term*, asumsi yang digunakan adalah arah angin merata ke 16 arah *wind rose*. Penelitian ini menggunakan tipe sumber untuk skala *urban* (perkotaan) dengan *multiple sources* (banyak sumber). Pada prinsipnya, karakteristik model yang digunakan seperti pada *single source* (Shah *et al.*, 1997). Model persamaan yang digunakan seperti pada persamaan 2.5.

Persamaan 2.5 menunjukkan bahwa konsentrasi secara langsung dipengaruhi oleh emisi, kecepatan angin, suhu, jarak penyebaran dan secara tidak langsung dipengaruhi oleh kestabilan cuaca. Perhitungan konsentrasi emisi dioksin/furan untuk suatu area dapat merupakan aglomerasi dari konsentrasi emisi yang berada di sekitarnya (Soedomo, 2001; Schnelle dan Dey, 1999). Contoh perhitungan secara lengkap konsentrasi emisi dioksin/furan terdapat dalam Lampiran 6.

Pada kajian ini konsentrasi dioksin/furan yang digunakan adalah jarak penyebaran 36 km yang merupakan batas administratif dari sumber (Cilegon) hingga Serang, yang mempengaruhi masyarakat dan ekonomi kota Cilegon dan Serang. Konsentrasi dioksin/furan dari tiap-tiap industri dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24 Konsentrasi emisi dioksin/furan dengan penyebaran 36 km (Cilegon dan Serang)

TAHUN	KONSENTRASI EMISI DI AMBIEN untuk industri (pgTEQ/m ³)							KONST
	I	II	III	IV	V	VI	VII	pgTEQ/m ³
1995	20267,96	4035,97	64433,23	5424,27	8,67	0,00	1,66	96165,09
1996	56425,02	10594,08	164443,46	1359,24	11,17	9,17	1,86	234838,07
1997	9900,21	3965,81	63006,89	644,12	11,27	6,94	1,24	79532,22
1998	12274,69	3537,55	53668,47	293,37	13,38	9,94	1,11	71795,401
1999	12446,85	3654,29	58331,00	74,16	15,81	5,60	1,56	76526,70
2000	16659,00	3804,77	56648,49	144,52	21,55	6,52	0,84	79284,85
2001	16997,38	3749,24	53406,49	1313,56	35,72	10,01	1,01	77513,41
2002	16698,67	3549,46	47990,04	2477,04	49,07	9,64	1,63	72775,92
2003	13452,79	3289,97	41886,35	2205,96	4,61	7,59	1,40	62850,28
2004	19582,55	4650,06	57443,58	2972,44	28,34	12,40	1,19	86693,36

Hasil pendugaan parameter persamaan konsentrasi dioksin/furan (Lampiran 7) memberikan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 99,27%, dengan nilai Durbin-Watson (DW) adalah 1,8897, sehingga tidak ada multikolinearitas dalam variabel-variabel tersebut. Hal ini berarti variabel-variabel penjelas dalam model dapat menjelaskan 99,27% fluktuasi variabel emisi, suhu, dan kecepatan angin. Konsentrasi dioksin/furan secara nyata dipengaruhi oleh emisi, suhu dan kecepatan angin dengan masing-masing koefisien estimasi adalah 8819,9; 6858,4; dan -13570. Variabel emisi mempunyai koefisien estimasi cukup tinggi, sehingga faktor yang paling mempengaruhi besarnya konsentrasi dioksin/furan adalah emisi yang dikeluarkan industri. Bila dikaji hubungan antara konsentrasi dan emisi yang dilepaskan, maka berdasarkan *curve fit* SPSS (Lampiran 8), maka model persamaan untuk konsentrasi dan emisi adalah model kubik (model persamaan pangkat tiga) dengan R^2 adalah 97,0% mempunyai koefisien $b_0 = 71.474,7$; $b_1 = 0$; $b_2 = -114,66$; dan $b_3 = 12,4637$. Koefisien-koefisien ini digunakan sebagai konstanta hubungan antara emisi dan konsentrasi emisi pada model *system dynamics*.

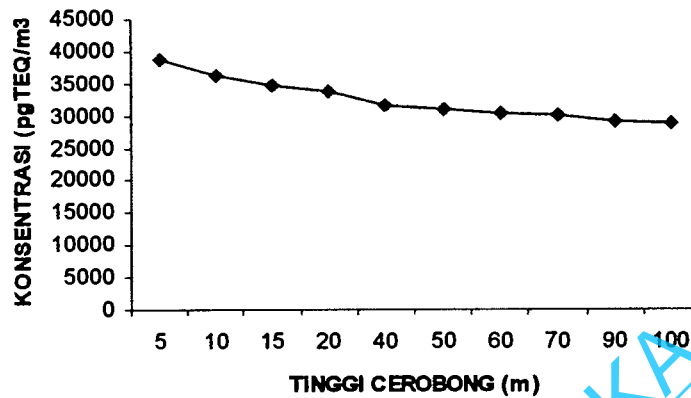
5.2.1 Pengaruh tinggi cerobong pada konsentrasi emisi

Secara fisik, konsentrasi dioksin/furan dipengaruhi pula oleh tinggi cerobong pengeluaran gas. Tinggi cerobong akan mempengaruhi kecepatan emisi yang keluar (u_z) serta tinggi emisi yang menyebar (H), dengan hubungan seperti pada persamaan 4-8 dalam Lampiran 6. Hubungan tinggi cerobong dengan konsentrasi dioksin/furan di ambien dikaji dengan asumsi kondisi cuaca yang tetap (variasi tinggi cerobong pada Industri III untuk tahun 2004). Hubungan persamaan konsentrasi dengan tinggi cerobong adalah:

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi dioksin/furan} &= 69.203,23 - 175,87 \text{ tinggi cerobong} & (5.2) \\ t &= 48,47 & \text{VIP} = 1,000 & \text{DW} = 0,53 \\ \text{R-Sq} &= 85,6\% & \text{R-Sq(adj)} &= 83,8\% \end{aligned}$$

Hasil pendugaan parameter konsentrasi dioksin/furan terhadap tinggi cerobong mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 83,8%. Konsentrasi dioksin/furan dipengaruhi tinggi cerobong dengan nilai dugaan parameternya adalah -175,87. Makin

tinggi cerobong yang digunakan oleh industri, maka konsentrasi dioksin/furan yang dilepaskan semakin kecil. Secara grafik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 13 Hubungan konsentrasi dioksin/furan dengan tinggi cerobong

Terdapat hubungan yang signifikan antara tinggi cerobong dengan konsentrasi emisi. Bila tinggi cerobong dinaikkan 1 m, maka akan mengurangi konsentrasi emisi ambien sebesar 175,87 pgTEQ/m³ (persamaan 5.2). Makin tinggi cerobong yang digunakan, maka makin luas dispersinya atau penyebaran emisi makin luas, sehingga konsentrasi semakin kecil. Untuk melindungi masyarakat dan lingkungan dari pencemaran atau emisi yang berlebihan, maka pemerintah selayaknya mengeluarkan peraturan mengenai tinggi cerobong minimal yang harus dipatuhi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan The World Environment Department. (Lvovsky *et al.* 2000), tinggi cerobong dapat pula menggambarkan kelompok industri. Tinggi cerobong dibagi dalam 3 (tiga) kelompok, yaitu kelompok dengan tinggi cerobong > 75 m (*high stack*); kelompok medium dengan tinggi cerobong antara 25–75 m. (*medium stack*) dan kelompok tinggi cerobong < 25 m (*low stack*). Industri dengan *high stack* merupakan industri dengan peralatan modern (*modern power plants*), industri dengan *medium stack* merupakan industri besar, *district heating plants* dan *suboptimal power utilities*; sedangkan industri dengan *low stack* merupakan industri kecil dan industri komersial (*commercial users*), transpor, dan sektor domestik. Industri-industri dalam penelitian ini mempunyai tinggi cerobong antara 3,757–32 m. Industri I, II dan III

merupakan industri dengan cerobong medium, sedangkan Industri IV-VII merupakan industri dengan cerobong rendah, sehingga industri-industri tersebut dapat dikelompokkan ke dalam industri besar dan industri kecil/industri komersial

5.2.2 Pengaruh jarak penyebaran pada konsentrasi emisi

Besarnya konsentrasi dioksin/furan yang sampai ke reseptor dipengaruhi pula oleh jarak penyebaran emisi. Penentuan jarak penyebaran didasarkan hingga jarak maksimal yang dapat dicapai oleh persamaan dispersi Gaussian (50 km), yang perhitungannya dilakukan pada industri III. Hubungan antara jarak penyebaran dan konsentrasi dioksin/furan seperti pada Tabel 25.

Tabel 25 Hubungan jarak penyebaran dan konsentrasi dioksin/furan

TA- HUN	KONSENTRASI DIOKSI/FURAN DI AMBIEN (pg TEQ/m ³) UNTUK JARAK						
	(km) 10	12	20	30	36	40	50
1995	267424,54	207736,93	109304,64	99509,90	96165,0924	86118,84	1718,36
1996	660164,05	513004,75	270164,43	246046,19	234838,0688	212941,33	4250,73
1997	221235,78	171643,73	90055,01	81909,06	79532,2249	70906,27	1413,14
1998	189847,90	149589,26	82099,33	72403,76	71795,3971	62426,72	1348,49
1999	212755,71	165044,94	86568,78	78730,56	76526,6980	68156,02	1358,16
2000	211888,21	164420,35	86496,87	79046,68	79284,8548	68758,61	1376,39
2001	206557,66	160304,52	84369,36	77172,10	77513,4110	67250,23	1349,90
2002	201895,46	156648,45	82199,33	74767,70	72775,9240	64723,59	1290,00
2003	166489,57	129223,91	68024,79	62196,61	62850,2771	54143,79	1085,60
2004	230723,89	179190,65	94478,70	86492,86	86693,3598	75392,16	1515,08

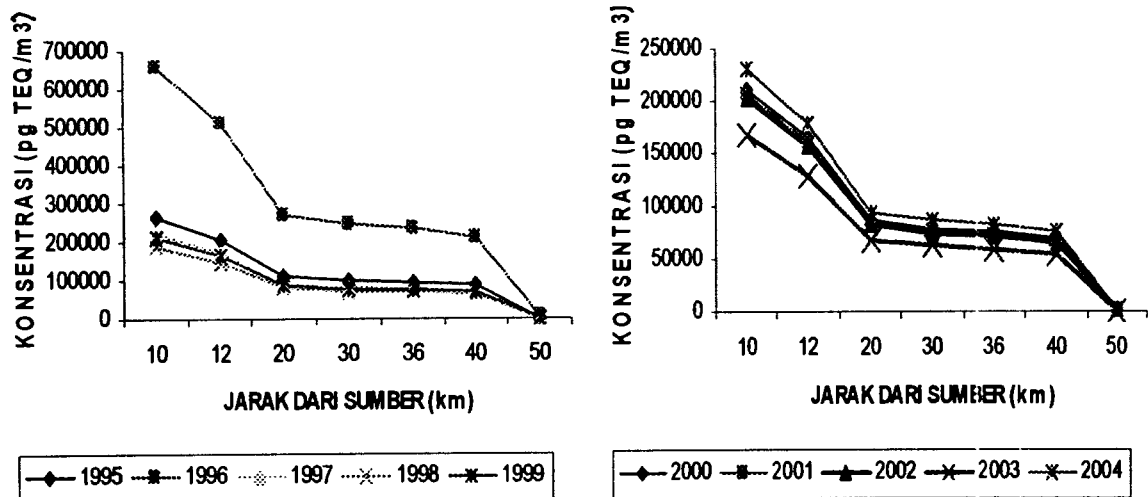
Bila digambarkan dengan model persamaan regresi, maka hubungan jarak penyebaran dengan konsentrasi dioksin/furan adalah sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi dioksin/furan} = 238.527 - 4.645 \text{ jarak penyebaran} \quad (5.3)$$

$$S = 31.428 \quad R\text{-Sq} = 85,4\% \quad R\text{-Sq(adj)} = 82,5\%$$

$$\text{Durbin-Watson} = 1,41$$

Hasil pendugaan parameter menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 82,5%. Secara grafik, hubungan konsentrasi dengan jarak penyebaran seperti pada Gambar 14.



Gambar 14 Hubungan konsentrasi dioksin/furan dengan jarak penyebaran

Berdasarkan hubungan model persamaan regresi antara konsentrasi dan jarak penyebaran, secara signifikan makin jauh jarak dari sumber, maka konsentrasi yang diterima oleh reseptor makin kecil. Perubahan jarak sejauh 1 km, akan memberikan pengurangan konsentrasi emisi sebesar 4.645 pgTEQ/m^3 (persamaan 5.3). Bila dikaji berdasarkan pengurangan konsentrasi emisi, maka persentase pengurangan konsentrasi seperti pada Tabel 26

Tabel 26 Hubungan antara jarak penyebaran dengan persentase pengurangan konsentrasi

Jarak penyebaran (km)	20	30	40	50
Pengurangan konsentrasi emisi (%)	60,84	76,64	83,63	87,50

Untuk jarak penyebaran dari 40 km hingga 50 km, pengurangan konsentrasi tidak berbeda secara signifikan. Masyarakat sebaiknya membangun perumahan jauh dari sumber pencemaran atau daerah industri.

Emisi dioksin/furan secara langsung dipengaruhi oleh jumlah produksi atau aktivitas dari industri. Sedangkan bila dikaji faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi yaitu emisi, kecepatan angin, suhu, tinggi cerobong, serta jarak penyebaran, maka emisi merupakan hal utama yang sangat berpengaruh. Berdasarkan koefisien

regresi yang dihasilkan dari model, kecepatan angin juga mempunyai pengaruh yang besar secara negatif.

Hasil kajian menunjukkan bahwa, konsentrasi emisi dioksin/furan yang dihasilkan dalam penelitian ini cukup tinggi bila dibandingkan dengan konsentrasi emisi standar dari beberapa negara (Tabel 4), yaitu dari tahun 1995-2004 rata-rata konsentrasi emisi dioksin/furan yang berasal dari pabrik logam di Cilegon adalah 78.126,36 pgTEQ/m³ (perhitungan dari Tabel 24). Pada Tabel 4, konsentrasi emisi standar tertinggi yaitu 30 ngTEQ/m³ atau 30.000 pgTEQ/m³ (Thailand), selain itu pada penelitian Rabi dan Spadaro (2002), konsentrasi emisi maksimal yang berasal dari insinerator *Municipal Solid Waste* (MSW) adalah 38.600 pgTEQ/m³.

Untuk melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat, maka emisi yang dikeluarkan industri besi di Cilegon dan Serang harus dimonitor agar tidak melebihi batas ambang. Industri harus menyadari dan peduli akan adanya bahaya emisi dioksin/furan. Pengurangan emisi juga harus dilakukan semaksimal mungkin. Juga adanya pengaturan jarak daerah pemukiman dan daerah industri.

UNIVERSITAS TERBUKA

VI MODEL DAMPAK EMISI DIOKSIN/FURAN DAN HASIL SIMULASI

Dalam bab ini akan diuraikan model dampak emisi dioksin/furan pada lingkungan, ekonomi dan sosial. Model yang dikembangkan menggunakan model dinamik.

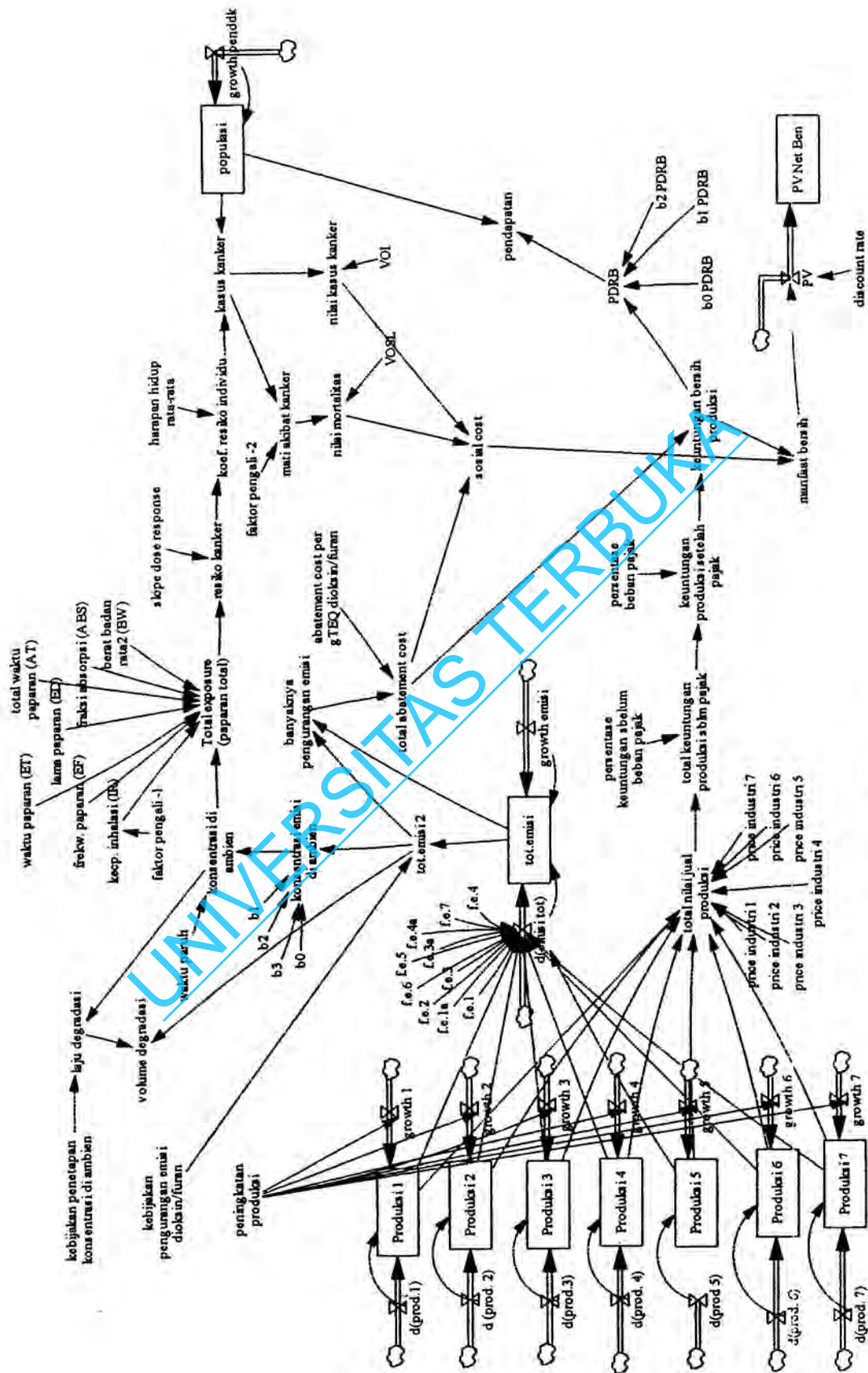
6.1 Model System Dynamics

6.1.1 Stock Flow Diagram (SFD) model system dynamics

Model *system dynamics* yang dibangun merupakan model komprehensif dari sub-sub model yang telah dikaji sebelumnya. Model dampak emisi dioksin/furan ini hanya memperhitungkan emisi yang berasal dari industri-industri yang telah disebutkan yaitu 7 (tujuh) industri logam yang mengeluarkan emisi ke udara. Secara garis besar, model dinamis terdiri atas:

- a. Sub-model produksi dengan pertumbuhannya
- b. Sub-model dampak pada lingkungan, yaitu emisi, konsentrasi di ambien serta laju degradasi
- c. Sub-model dampak pada sosial, yaitu potensi terkena kanker, kasus kematian serta *social cost* dari keduanya
- d. Sub-model dampak pada ekonomi, yaitu *abatement cost*, manfaat bersih, keuntungan bersih serta *PV NetBen*
- e. Sub-model kebijakan, yaitu kebijakan pengurangan emisi, kebijakan peningkatan produksi dan kebijakan penetapan konsentrasi di ambien

Secara keseluruhan SFD model tersebut adalah seperti pada Gambar 15.



Gambar 15 SFD Model Dampak Emisi Dioksin/furan

6.1.2 Asumsi-asumsi yang digunakan dalam *system dynamics*

Estimasi dampak pada faktor lingkungan

Untuk menganalisis dampak emisi pada lingkungan digunakan ukuran nilai batas ambang bagi pencemaran udara pada lingkungan. Indonesia belum memiliki standar ambien untuk dioksin/furan, oleh karenanya acuan standar yang dipakai untuk penelitian ini diambil standar yang digunakan oleh negara-negara lain seperti pada Tabel 4. Sebagai contoh adalah konsentrasi di ambien, dalam penelitian digunakan nilai maksimal yaitu 1 pgTEQ/m^3 per tahun (Rao dan Brown, 1990), tetapi dibandingkan pula dengan nilai $0,11 \text{ pgTEQ/m}^3$ seperti yang disarankan WHO (European Commission, 2001). Dalam penelitian ini, kedua nilai di atas akan dijadikan pertimbangan dalam penetapan laju degradasi.

Adanya emisi dioksin/furan ke atmosfer yang melebihi ambang batas akan menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan atmosfer atau terdegradasinya lingkungan atmosfer. Terdegradasinya lingkungan dapat dirumuskan dengan model seperti pada persamaan 2.1.

Estimasi dampak pada faktor sosial

Estimasi dampak faktor sosial akan dikaji pada adanya potensi kasus kanker, potensi kematian di Cilegon dan Serang, serta *social cost*. *Social cost* merupakan biaya yang dikeluarkan karena adanya emisi, yang meliputi estimasi biaya *total abatement*, biaya kasus kanker, dan biaya kematian karena kanker. Perhitungan kesehatan didasarkan bahwa status kesehatan, paparan pada pekerjaan, waktu yang digunakan, musim, serta aktivitas sehari-hari di daerah Cilegon dan Serang selama 10 tahun adalah sama.

Untuk menganalisis dampak emisi pada kesehatan digunakan nilai TDI (*Total Daily Intake*) yang maksimal, yaitu 10 pgTEQ/kg berat badan/hari, seperti yang telah distandarkan oleh negara Jepang (Kishimoto *et al.*, 2001). Nilai di atas standar ambien yang telah ditetapkan dapat memberikan dampak yang negatif pada kesehatan.

Rata-rata Angka Harapan Hidup pada saat lahir merupakan salah satu indikator kesejahteraan rakyat. Adanya kecenderungan angka kematian bayi (AKB) menurun serta perubahan susunan umur penduduk, menyebabkan harapan hidup penduduk Indonesia naik dari 67,8 tahun pada periode 2000–2005 menjadi 73,6 tahun pada periode 2020–

2025. Khusus untuk propinsi Banten, harapan hidup pada periode 2000–2005 adalah 62,4 tahun dan pada periode 2020–2025 adalah 71,9 tahun (BPS, Bappenas dan UNFPA 2005). Nilai ini akan digunakan dalam perhitungan banyaknya jumlah kasus kanker yang disebabkan emisi dioksin/furan.

Emisi atau pencemaran dioksin/furan akan berdampak juga terhadap jumlah penduduk, khususnya jumlah penduduk yang terpapar. Banyaknya jumlah penduduk yang terkena kasus kanker dan mengalami kematian dapat diestimasi dengan model persamaan (Rufo dan Rufo Jr., 2004) seperti pada persamaan 2.7–2.11, dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- a. IR (kecepatan inhalasi): $0,83 \text{ m}^3/\text{jam}$ (USEPA, 2000)
- b. ET (waktu paparan): 24 jam/hari
- c. EF (frekwensi paparan): 330 hari/tahun, industri tidak terus menerus mengoperasikan pabrik dan ada masa istirahat.
- d. ED (lama paparan atau harapan hidup rakyat Banten): 62,4 tahun pada tahun 2002 (BPS, 2005)
- e. ABS (fraksi absorpsi): 1 (USEPA, 2000)
- f. BW (berat badan rata-rata orang Indonesia = 60 kg) (Depkes dan Kesejahteraan Sosial, 2002)
- g. penduduk beresiko merupakan jumlah seluruh penduduk, dalam hal ini untuk jarak 36 km, yaitu penduduk Serang dan Cilegon

Estimasi dampak pada faktor ekonomi

Dampak pada ekonomi yang dikaji selain keuntungan industri, juga manfaat bersih yang dihasilkan akibat adanya emisi dioksin/furan. Dampak manfaat bersih dalam jangka panjang juga kemudian diukur dengan manfaat ekonomi yang diperoleh dalam bentuk *present value net benefit (PV NetBen)*. Kerugian secara ekonomi akibat adanya pencemaran dioksin/furan akan diestimasi berdasarkan *benefit transfer* nilai hidup statistik (VOSL) dan nilai sakit statistik (VOI) yang disesuaikan dengan kondisi daerah penelitian. Sebagai perbandingan, nilai VOSL dari berbagai negara adalah seperti pada Tabel 27.

Tabel 27 Nilai VOSL dari berbagai negara

Negara	Nilai VOSL/VOI	Nilai Rupiah	Nilai Tahun	Sumber
Eropa	3,1 MECU ^{a)} atau 3,5 million USD 1,5 MECU (kanker) ^{a)}	16.275.000.000 7.875.000.000	1997	Rabl dan Spadaro, 1998
India	153.000-358.000 USD 477-2.870 USD ^{b)}		1990	Simon <i>et al.</i> 1999 <u>dalam</u> Rufo dan Rufo Jr., 2004
Taiwan	413.000 USD		1990	Liu <i>et al.</i> 1997 <u>dalam</u> Rufo, 2004
WHO	36.172 USD		1992	Rufo dan Rufo Jr., 2004
Chili	519.000-675.000 USD		1992	Rufo dan Rufo Jr., 2004
Philipina	670.176 USD	6.430.338.720	2000	Rufo dan Rufo Jr., 2004
Canada	600.000 USD (kanker) ^{b)}	6.240.000.000	2001	Ackerman, 2003
Indonesia	\$75.000 \$556.000	1.324.948.000	1995 1996	Larson dan Rosen, 2000; World Bank 1996, <u>dalam</u> Markandya, 1998
	\$144.000	1.381.680.000	2000	Susandi, 2004

Keterangan : - ^{a)} *Mega European Currency Unit*
- ^{b)} nilai VOI
- Kurs berdasarkan Indonesia Energy Outlook and Statistics 2004 (PE-UI, 2004)

Tidak semua negara mencantumkan nilai VOI. Berdasarkan data-data dalam Tabel 27, nilai VOI adalah ± 50% dari nilai VOSL untuk negara Eropa, tetapi tidak demikian untuk India. Nilai VOSL yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai yang digunakan dalam penelitian Susandi (2004), yaitu \$144.000 atau Rp.1.381.680.000,- pada tahun 2000. Dengan mempertimbangkan inflasi hingga tahun 2004, maka nilai VOSL pada tahun 2004 adalah Rp.1.912.714.332,- (perhitungan pada Lampiran 9). Nilai VOI yang akan digunakan adalah 50% dari nilai VOSL yaitu Rp 956.357.166,-.

Nilai ekonomi dari emisi yang ditimbulkan dioksin/furan juga dapat dihitung berdasarkan *abatement cost*, yaitu nilai yang dikeluarkan untuk mereduksi emisi yang terjadi. Indonesia belum mempunyai nilai *abatement cost* untuk dioksin/furan, maka dalam penelitian ini, *abatement cost* dihitung berdasarkan *benefit transfer* dari negara Jepang dan UK. Nilai *abatement cost* dari berbagai negara seperti pada Tabel 28.

Tabel 28 Nilai abatement dioksin/furan di Jepang dan UK

Negara	Abatement cost	Nilai Tahun	Nilai Rupiah/gram polutan
Jepang Oka <i>et al.</i> , 2005 Kishimoto <i>et al.</i> , 2001	19 billion yen/kg-TEQ 1.94 million yen/g-TEQ – <i>short term</i> dan 16.8 million yen/g-TEQ - <i>long term</i> (khusus emisi untuk insinerator)	2001	16.311.520.000 141.254.400.000
UK Grebot dan Corden, 2004	£70.000/g-TEQ- £700.000/g-TEQ (khusus emisi untuk sektor besi baja, bergantung pada teknologi yang digunakan)	2003	1.055.320.000- 10.553.200.000

Berdasarkan data dari negara-negara tersebut, maka *abatement cost* yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan *abatement cost* yang digunakan di UK (Grebot dan Corden, 2004), karena nilai tersebut khusus untuk emisi dioksin/furan yang berasal dari industri besi/baja. Bila dikaji lebih lanjut berdasarkan teknologi yang digunakan, maka nilai abatement (*abatement cost*) sebagai berikut.

Tabel 29 *Abatement cost* dioksin/furan untuk sektor besi/baja serta reduksi emisi

No	Teknologi	<i>Abatement cost</i> per g TEQ		Reduksi emisi (%)
		£ (2003)	Rp. (2004)	
1	Penambahan urea pada <i>sinter plants</i>	70.000	149.201.751	30,3
2	Injeksi karbon pada EAF's	170.000	362.347.112	40,7
3	Instalasi penyaringan mesh logam dengan injeksi karbon pada <i>sinter plants</i>	700.000	1.492.017.519	46,1

Sumber: Grebot dan Corden, 2004

Untuk mendapatkan *abatement cost* yang akan digunakan dalam penelitian ini, maka akan dipertimbangkan perbandingan *Gross Domestic Product* (GDP) kedua negara serta inflasi hingga tahun 2004. Contoh perhitungan *benefit transfer* untuk *abatement cost* adalah sebagai berikut: *abatement cost* pada tahun 2003 (kurs Rp. 15.076,-) untuk nilai £ 700.000, adalah Rp. 10.055.320.000,- per gram emisi. Pada tahun 2003, GDP UK yaitu

1.794,9 milyar USD, sedangkan GDP Indonesia yaitu 238,5 milyar USD (GDP Country, 2007). Berdasarkan perbandingan GDP, *abatement cost* di Indonesia tahun 2003 adalah Rp. 1.402.272.104,- dan berdasarkan inflasi tahun 2004 adalah 6,4% (BPS, 2004a), maka *abatement cost* untuk tahun 2004 adalah Rp.1.492.017.519,-. Nilai inilah yang akan digunakan pada perhitungan dalam penelitian ini.

Dampak pada PDRB dan pendapatan

Adanya emisi dioksin/furan yang dilepaskan industri dihasilkan dari aktivitas industri. Sesuai dengan tujuan pendirian industri, yaitu memberikan kesejahteraan pada masyarakat setempat, maka aktivitas industri tersebut akan mempengaruhi masyarakat setempat serta pendapatan daerah (PDRB), yaitu masyarakat dan ekonomi kota Cilegon dan Serang (36 km).

Dampak pada PDRB akan dikaji dengan persamaan regresi berdasarkan keuntungan bersih dari semua industri. Sedangkan pendapatan masyarakat merupakan pembagian PDRB dengan jumlah penduduk. Keuntungan bersih merupakan keuntungan industri yang telah memperhitungkan mulai dari penjualan bersih, harga pokok penjualan, laba kotor, laba/rugi sebelum pajak (rata-rata 6,52% dari penjualan bersih) dan pajak (rata-rata 29,3172% dari laba/rugi sebelum pajak) (Lampiran 10). Hasil akhir dari perhitungan tersebut merupakan laba/keuntungan bersih.

Hasil pendugaan parameter persamaan hubungan antara keuntungan bersih dengan PDRB memberikan hubungan dengan persamaan kuadratik ($y = b_0 + b_1.x + b_2.x^2$) dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 26,7% dengan konstanta $b_0 = 7179,65$; $b_1 = -2,4033$; $b_2 = 0,0002$ (Lampiran 11). Hal ini berarti variasi variabel-variabel penjelas dalam persamaan tersebut hanya dapat menjelaskan 26,7% fluktuasi variabel dampak. Meski koefisien determinasi ini relatif kecil, namun menghasilkan koefisien antara PDRB dan keuntungan bersih yang paling memungkinkan. Koefisien determinasi yang relatif kecil ini dapat disebabkan PDRB tidak hanya dipengaruhi oleh keuntungan bersih saja, tetapi ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi PDRB tersebut. Nilai b_0 , b_1 , dan b_2 digunakan sebagai konstanta hubungan antara PDRB dengan keuntungan bersih dalam *system dynamics*.

6.1.3 Simulasi Model

Simulasi terhadap model dilakukan dengan kurun waktu tahun 1995-2025. Data tahun 2004 digunakan sebagai acuan. Keluaran dari simulasi ini dapat berupa grafik ataupun tabel perilaku terhadap waktu. Data yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah:

- (a) jumlah produksi yang digunakan merupakan produksi industri dari tahun 1995-2004, dengan tingkat pertumbuhan (*growth*) berdasarkan data empiris tersebut.
- (b) waktu paruh yang digunakan merupakan waktu paruh dioksin/furan di udara, yaitu 3 minggu (Tabel 2)
- (c) jumlah penduduk yang digunakan sebagai inisial adalah jumlah penduduk Cilegon dan Serang dengan tingkat pertumbuhan 0,03603 (3,6%) per tahun untuk kurun waktu 1995-2004

Sebelum dilakukan simulasi terhadap model *system dynamics*, terlebih dahulu dilakukan uji validasi dan uji sensitivitas terhadap model. Uji dilakukan terhadap model dengan kondisi *baseline* yaitu kondisi dengan *data-data existing*.

6.1.4 Validasi Model *System Dynamics*

Validasi konstruksi atau validasi teori dilakukan terhadap model yang dibangun. Secara teori, makin besar produksi yang dihasilkan, maka emisi yang dilepaskan juga semakin tinggi yang menyebabkan konsentrasi di ambien juga meningkat. Hal ini akan memberikan dampak negatif pada lingkungan, yaitu tingkat degradasi lingkungan yang semakin meningkat. Semakin tinggi konsentrasi di ambien secara signifikan akan berdampak pada potensi kasus kanker dan kematian, secara sosial akan berdampak pada jumlah penduduk. Tentu saja, degradasi lingkungan serta kasus kanker akan berdampak tidak saja pada sosial, tapi juga pada ekonomi. Secara ekonomi, bertambahnya emisi akan menyebabkan peningkatan *social cost*, sehingga manfaat bersih akan berkurang. Di sisi lain, peningkatan produksi akan memberikan kenaikan keuntungan pada industri, sehingga akan dapat meningkatkan PDRB setempat. Berdasarkan hasil simulasi (Lampiran 12-19), nilai tersebut sesuai dengan teori, sehingga struktur model *system dynamics* yang dibangun adalah valid secara teoretis.

Validasi *output* dilakukan dengan membandingkan rata-rata data empiris tahun 1995–2004 dengan hasil rata-rata simulasi model untuk keadaan *baseline*. *Absolute Means Error* (AME) dihitung seperti pada persamaan 3.1. Hasil validasi dari model yang telah dibangun adalah seperti pada Tabel 30.

Tabel 30 Nilai AME untuk beberapa variabel

Variabel	Rata-rata		AME %
	Empiris	Simulasi	
Produksi I (ton)	447391	432122	3,41
Emisi total (gTEQ)	13,22	14,19	7,32
Konsentrasi emisi (pgTEQ/m ³)	90766,76	85907,63	5,35
Penduduk (orang)	1847956	1817328	1,66

Nilai AME yang dihasilkan masih di bawah 30%, sehingga model dapat dikatakan sebagai model yang valid untuk memprediksi nilai yang akan datang.

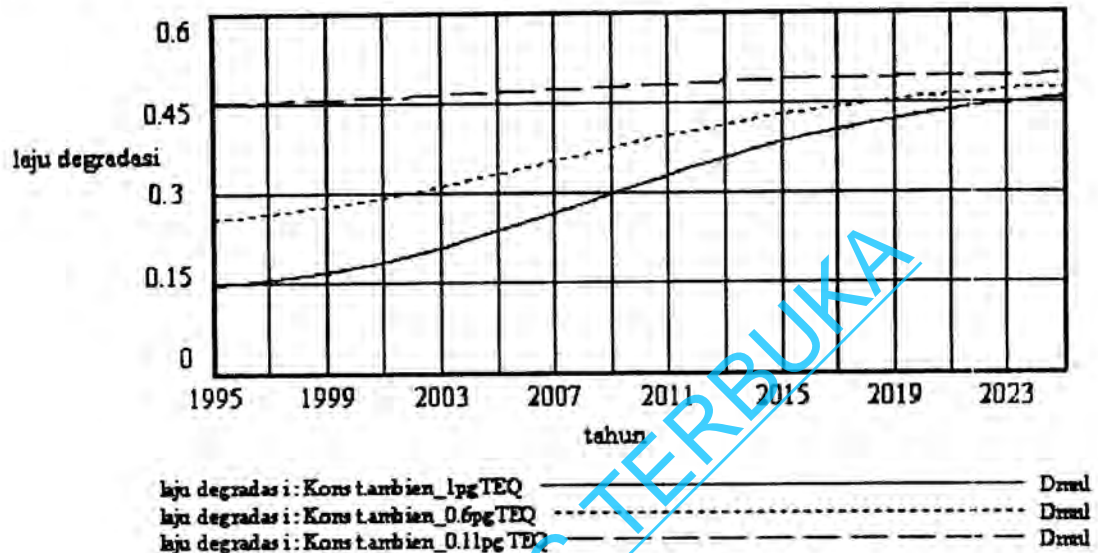
6.1.5 Sensitivitas Model *System Dynamics*

Uji sensitivitas adalah intervensi parameter input model dan/atau struktur model untuk melihat seberapa jauh kepekaannya terhadap perubahan *output* model (Muhammadi *et al.*, 2001). Hasil uji ini dalam bentuk perubahan perilaku dan digunakan untuk menganalisis efek intervensi pada model. Dalam penelitian ini uji sensitivitas akan dilakukan dengan melakukan intervensi fungsional dan intervensi struktural.

a. Intervensi fungsional

Intervensi fungsional adalah intervensi atau perubahan terhadap parameter tertentu. Pada penelitian ini, intervensi fungsional dilakukan terhadap parameter lingkungan, yaitu perubahan konsentrasi di ambien dan parameter ekonomi yaitu perubahan harga (*price*) produksi. Dampak perubahan konsentrasi di ambien akan dikaji dampaknya pada laju degradasi, sedangkan dampak perubahan harga akan dikaji dampaknya pada keuntungan produksi.

Perubahan konsentrasi di ambien mengacu pada konsentrasi standar ambien yang dikeluarkan WHO, yaitu $0,11 \text{ pgTEQ/m}^3$; konsentrasi standar ambien yang digunakan Jepang yaitu $0,6 \text{ pgTEQ/m}^3$ serta standar yang dikeluarkan Rao dan Brown (1990) yaitu 1 pgTEQ/m^3 . Perubahan konsentrasi standar di ambien akan memberikan dampak pada laju degradasi. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 16.



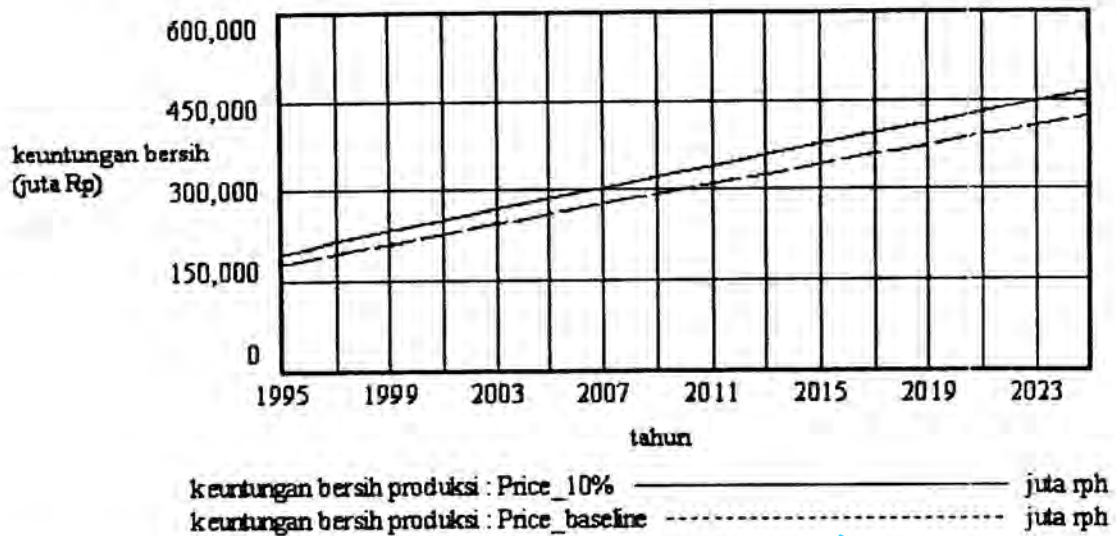
laju degradasi: Kons t.ambien_1pgTEQ ————— Dmnl
 laju degradasi: Kons t.ambien_0.6pgTEQ Dmnl
 laju degradasi: Kons t.ambien_0.11pgTEQ - - - - - Dmnl

Dmnl = *dimensionless*, tidak bersatuan

Gambar 16 Hasil simulasi dampak perubahan konsentrasi standar di ambien pada laju degradasi

Berdasarkan Gambar 16, bila konsentrasi standar ambien yang digunakan semakin kecil, maka laju degradasi akan semakin besar. Hal ini disebabkan bila acuan yang digunakan semakin kecil (konsentrasi ambien standar), maka perbandingan antara konsentrasi standar dengan konsentrasi aktual semakin besar sesuai dengan persamaan 2.1.

Perubahan harga produksi diasumsikan adanya kenaikan harga sebesar 10%. Hasil simulasi adanya perubahan harga produksi dan dampaknya pada keuntungan bersih industri dapat dilihat pada Gambar 17.



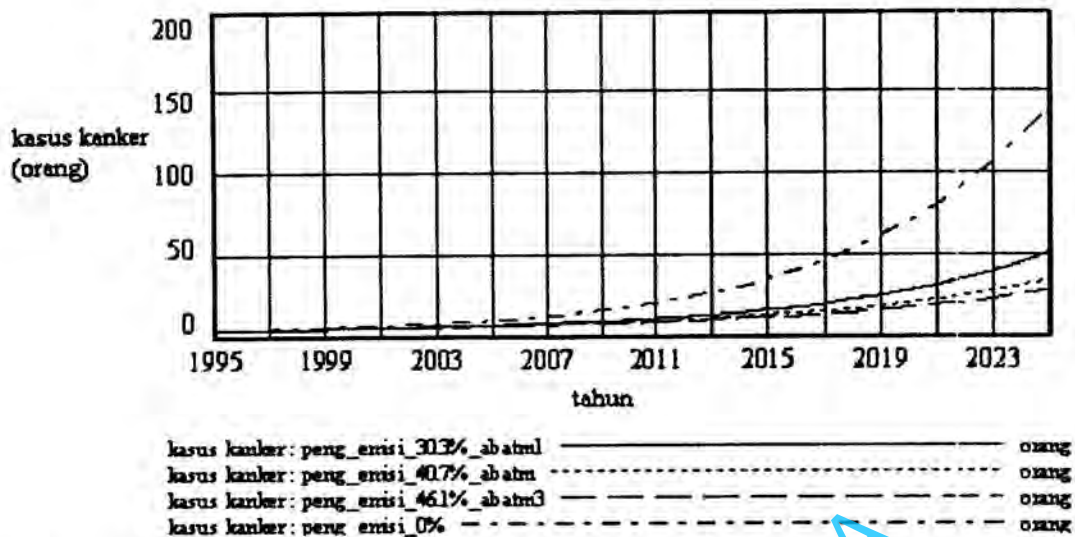
Gambar 17 Hasil simulasi dampak perubahan harga produksi pada keuntungan bersih

Berdasarkan hasil simulasi untuk uji sensitivitas terhadap intervensi fungsional untuk model yang telah dibangun menunjukkan bahwa grafik yang dihasilkan mempunyai pola yang sama, walaupun ada perubahan-perubahan nilai yang dihasilkan (Gambar 16 dan 17). Dengan demikian, model yang dibangun dapat dikatakan model yang stabil.

b. Intervensi struktural

Intervensi struktural yaitu intervensi yang dilakukan terhadap model dengan cara mengubah hubungan yang membentuk struktur model guna melihat pengaruh pada variabel-variabel dalam model. Pada penelitian ini intervensi struktural dilakukan dengan menambahkan variabel kebijakan pengurangan emisi dan kebijakan peningkatan produksi. Kedua kebijakan ini akan berpengaruh pada seluruh variabel.

Kebijakan pengurangan emisi dilakukan untuk pengurangan emisi sebesar 30,3%, 40,7% dan 46,1%, sedangkan kebijakan peningkatan produksi sebesar 3,8%. Sebagai contoh adalah uji sensitivitas untuk dampak kebijakan pengurangan emisi pada potensi kanker seperti pada Gambar 18. Semakin besar pengurangan emisi, maka kasus kanker akan semakin kecil.



Gambar 18 Hasil simulasi dampak kebijakan pengurangan emisi terhadap kasus kanker

Uji sensitivitas ini dapat digunakan sebagai skenario pemodelan dari model yang dibangun. Adanya intervensi kebijakan pengurangan emisi akan mempengaruhi seluruh variabel, dan mempunyai kecenderungan atau perilaku yang sama. Hal ini dapat dikaji pada grafik-grafik hasil simulasi. Dengan demikian, dapat dikatakan model yang dibangun cukup sensitif.

Berdasarkan hasil uji validasi dan uji sensitivitas, maka model yang dibangun dapat dikatakan model yang valid dan stabil, sehingga model dapat digunakan untuk memprediksi nilai-nilai dengan melakukan simulasi. Simulasi akan dilakukan dengan perubahan variabel-variabel sebagai berikut:

1. Simulasi *baseline*

pengurangan emisi 0%, belum ada kebijakan pengurangan emisi, (*baseline*)

2. Simulasi perbaikan teknologi

- a. pengurangan emisi 30,3% dengan *abatement cost/g* TEQ 1
- b. pengurangan emisi 40,7% dengan *abatement cost/g* TEQ 2
- c. pengurangan emisi 46,1% dengan *abatement cost/g* TEQ 3

3. Simulasi peningkatan produksi

- a. peningkatan produksi 3,8%, tanpa pengurangan emisi (0%)

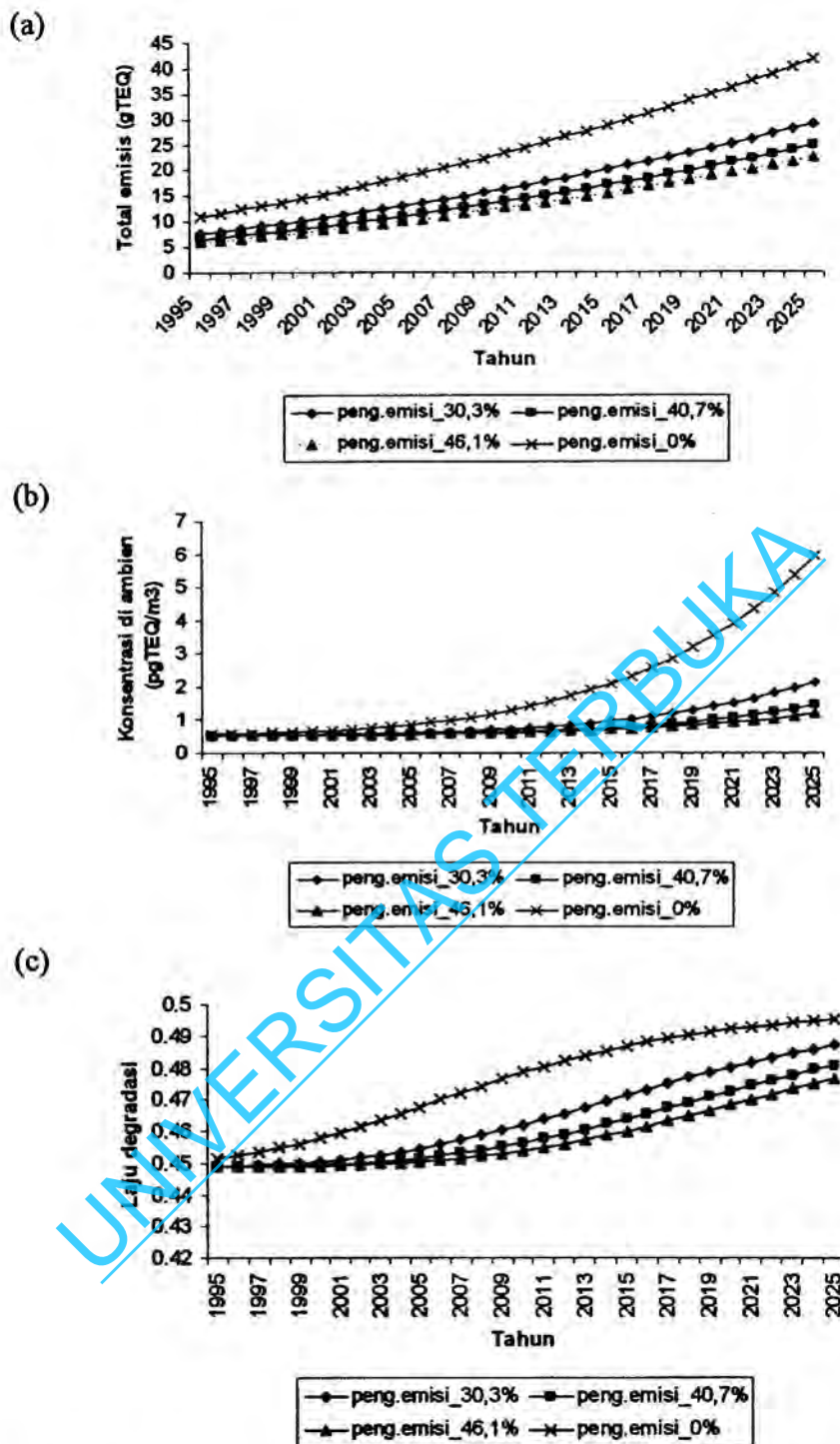
- b. peningkatan produksi 3,8% dengan pengurangan emisi 30,3%
- c. peningkatan produksi 3,8% dengan pengurangan emisi 40,7%
- d. peningkatan produksi 3,8% dengan pengurangan emisi 46,1%

Dasar pemilihan simulasi pada variabel pengurangan emisi adalah reduksi (pengurangan) emisi hingga maksimal yaitu dari 30,3%-46,1% yang dapat dilakukan oleh teknologi dengan *abatement cost* yang bersangkutan (Tabel 29). Sedangkan untuk variabel peningkatan produksi didasarkan pada pertumbuhan PDRB yang berkisar 2%-8% dalam tahun 1995-2004 serta pertumbuhan produksi industri 3,8%-17%, sehingga simulasi dilakukan untuk peningkatan produksi 3,8%. Algoritma VENSIM terdapat dalam Lampiran 20.

6.2 Hasil Simulasi

6.2.1 Estimasi dampak lingkungan

Dampak emisi pada lingkungan, dilihat terhadap adanya perubahan-perubahan pada variabel-variabel emisi total, konsentrasi di ambien, serta laju degradasi atau pengurangan kualitas udara. Berdasarkan hasil simulasi *baseline* untuk emisi total, (Gambar 19), diperkirakan peningkatan emisi dioksin/furan akan sangat cepat apabila tidak ada pengurangan emisi. Peningkatan emisi sebesar 278% terjadi dari jumlah emisi sebesar 11,01 gTEQ pada tahun 1995 menjadi 41,69 gTEQ pada akhir tahun 2025 (Lampiran 12). Tentu saja hal ini akan berakibat pada konsentrasi di ambien. Konsentrasi di ambien berkisar 0,57-5,92 pgTEQ/m³ dari tahun 1995-2025. Bila mengacu pada standar yang dikeluarkan WHO pada tahun 1998 konsentrasi dioksin/furan di Cilegon dan Serang telah melebihi ambang batas. Sedangkan bila mengacu pada standar yang dikeluarkan Rao dan Brown (1990) maka baru pada tahun 2008 konsentrasi telah melebihi ambang batas. Jepang juga telah mengeluarkan batas ambang konsentrasi standar di ambien yang berbeda, yaitu 0,6 pgTEQ/m³ (Environment Agency of Japan, 1999; UNEP Chemicals, 1999). Untuk Indonesia hingga kini belum ditetapkan batas ambang untuk konsentrasi dioksin/furan di ambien.



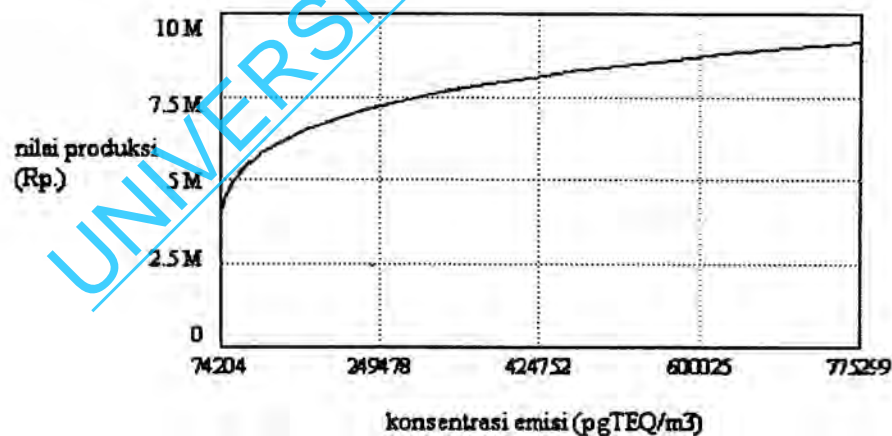
Gambar 19 Hasil simulasi (a) total emisi, (b) konsentrasi di ambien dan (c) laju degradasi dengan berbagai pengurangan emisi

Berdasarkan persamaan 2.1, laju degradasi dihitung berdasarkan penetapan konsentrasi standar di ambien. Degradasi lingkungan udara dari tahun 1995 hingga 2025

berkisar 0,45–0,49 untuk konsentrasi standar di ambien berdasarkan WHO. Bila digunakan standar menurut Rao dan Brown (1990), laju degradasi atau penurunan kualitas udara berkisar 0,15–0,46 (Gambar 16). Untuk mengetahui tingkat degradasi lingkungan atau penurunan kualitas udara, maka penentuan konsentrasi di ambien sangat penting.

Pengurangan emisi 30,3%, 40,7%, dan 46,1% akan memberikan dampak yang signifikan terhadap perubahan emisi total (Gambar 19a), konsentrasi di ambien (Gambar 19b) dan laju degradasi (Gambar 19c). Pengurangan emisi 46,1% akan mengurangi laju degradasi sebesar 0,63–3,75%. Laju degradasi yang relatif stabil ini disebabkan perubahan konsentrasi di ambien sangat kecil, sedangkan konsentrasi standar di ambien tetap. Pengurangan emisi 46,1% juga akan mengurangi konsentrasi ambien sebesar 5,61–80,01%. Hasil simulasi secara lengkap terdapat dalam Lampiran 12-19.

Peningkatan konsentrasi di ambien, yang dihasilkan dari produksi industri yang meningkat akan menyebabkan peningkatan laju degradasi atau pengurangan kualitas udara. Hubungan antara produksi, dalam hal ini nilai produksi dengan konsentrasi emisi dapat dilihat pada Gambar 20. Makin tinggi produksi, maka konsentrasi emisi juga akan makin meningkat.



Gambar 20 Hasil simulasi hubungan antara nilai produksi dengan konsentrasi emisi

Bagi industri, adanya pengurangan emisi akan berdampak pada peningkatan biaya yang harus dikeluarkan, misalnya untuk investasi dengan introduksi teknologi atau perbaikan peralatan. Agar keuntungan tidak berkurang, maka harus diimbangi dengan peningkatan produksi. Berdasarkan hasil simulasi, bila diasumsikan ada peningkatan produksi minimal sebesar 3,8%, maka akan memberikan dampak yang cukup signifikan pada variabel-variabel emisi, konsentrasi di ambien dan laju degradasi. Bila peningkatan produksi tanpa diikuti dengan pengurangan emisi akan memberikan dampak kenaikan total emisi serta konsentrasi di ambien yang cukup besar, rata-rata total emisi (1995-2025) akan bertambah 11,70% dan konsentrasi di ambien 36,29%, sedangkan dampak pada laju degradasi hanya 0,57%. Dampak peningkatan produksi akan berkurang bila ada pengurangan emisi. Peningkatan produksi 3,8% dengan pengurangan emisi 30,3%, 40,7%, serta 46,1% akan berdampak seperti yang disajikan pada Tabel 31.

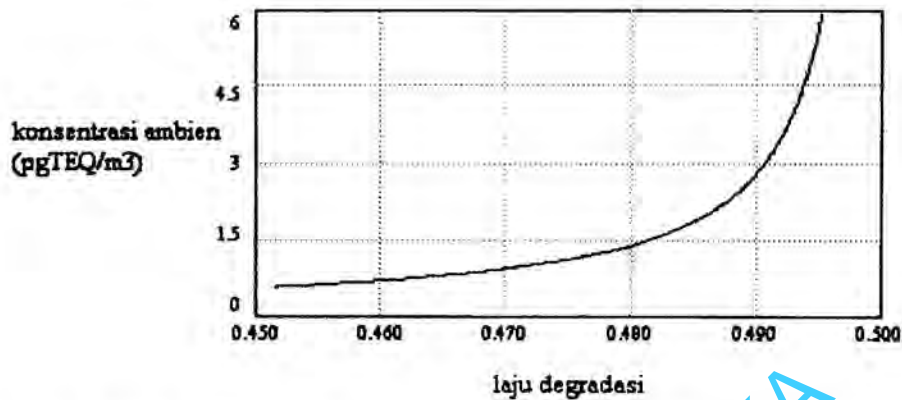
Tabel 31 Persentase dampak asumsi peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi pada total emisi, konsentrasi di ambien dan laju degradasi

Variabel	Rata-rata persentase penambahan/pengurangan dengan peningkatan produksi 3,8%, dan asumsi pengurangan emisi sebesar:			
	0%	30,3%	40,7%	46,1%
Total emisi	+ 11,70	- 22,14	- 33,76	- 39,79
Konsentrasi di ambien	+ 36,29	- 28,15	- 39,53	- 43,77
Laju degradasi	+ 0,57	- 1,58	- 2,51	- 3,03

Peningkatan produksi yang diikuti dengan pengurangan emisi akan memberikan dampak yang positif pada industri yaitu adanya peningkatan produksi serta bagi lingkungan yaitu adanya pengurangan total emisi, konsentrasi di ambien, dan laju degradasi yang masih cukup tinggi.

Bila dikaji hubungan antara konsentrasi di ambien dengan laju degradasi, maka makin tinggi konsentrasi polutan di ambien, maka laju degradasi juga akan mengalami peningkatan seperti tampak seperti Gambar 21. Kurva pada Gambar 21 menunjukkan bahwa laju degradasi akan meningkat dengan tajam bila telah melewati konsentrasi di ambien standar yang digunakan, yaitu $0,11 \text{ pg TEQ/m}^3$. Bila konsentrasi ambien telah melewati batas ambang, maka degradasi lingkungan udara akan meningkat dengan tajam, hal ini disebabkan karena sifat dioksin/furan yang dapat terakumulasi. Hal ini juga sesuai

dengan Gambar 19c, laju degradasi meningkat secara tajam, karena telah melewati batas ambang konsentrasi ambien.



Gambar 21 Hasil simulasi hubungan antara laju degradasi dengan konsentrasi di ambien

6.2.2 Estimasi dampak sosial

Berdasarkan hasil simulasi, potensi kasus kanker yang terjadi yaitu 0,000301-0,003147% atau 3,01-3,14 per mil dari total penduduk. Tiap tahun terjadi penambahan kasus kanker minimal 1 orang, tapi mulai tahun 2009 tiap tahun terjadi penambahan kasus kanker ≥ 2 orang. Berdasarkan simulasi menggunakan data *baseline* (Lampiran 12), antara tahun 1995-2004 total estimasi potensi kasus kanker yang terjadi akibat emisi dioksin/furan adalah 64 kasus dan total kasus kanker hingga 30 tahun mendatang (2025) adalah 1092 kasus dari jumlah penduduk 1,5– 4,5 juta orang. Bila dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan Rufo dan Rufo Jr. (2004), berdasarkan penelitian tersebut estimasi kasus kanker yang terjadi akibat emisi dioksin/furan melalui insinerator pada tahun 2000-2014 adalah sebesar 2.347 kasus atau sebanyak 0,00192–0,00349% dari jumlah penduduk sebanyak 7,04-9,93 juta orang. Tampak bahwa estimasi kasus kanker yang diakibatkan industri besi baja di Cilegon mempunyai dampak kasus kanker yang lebih kecil dibandingkan estimasi pada penelitian insenerator yang telah dilakukan oleh Rufo dan Rufo Jr. (2004).

Menurut penelitian, dari sekian banyak kasus kanker yang terjadi, maka 0,16 atau 16% (Rufo dan Rufo Jr., 2004; Kishimoto *et al.*, 2001) akan mengalami kematian. Nilai ini selanjutnya digunakan sebagai perkiraan angka kematian. Tingginya estimasi potensi

kasus kanker tersebut akan berimplikasi pada ekonomi dan sosial masyarakat setempat yang dihubungkan dengan nilai kematian (VOSL) dan nilai kesakitan (VOI) dalam hal ini potensi terkena kanker. Nilai VOSL Indonesia sangat rendah, yaitu bila dibandingkan dengan nilai VOSL dari negara lain (Tabel 27). Hal ini disebabkan pendapatan rata-rata tahunan masyarakat Indonesia, khususnya Serang dan Cilegon (Banten) masih sangat rendah dibandingkan negara lain. Sebagai gambaran, pendapatan per kapita Indonesia pada tahun 2005 adalah \$ 4.684 US, yang merupakan urutan ke 114 dari 179 negara (Wikipedia, 2007). Bila dikuantifikasi, berdasarkan simulasi, maka nilai kesehatan akibat kasus kanker dan kematian yang terjadi akibat emisi dioksin/furan dari tahun 1995-2025 sebesar Rp.5,86-177,00 Milyar hingga akhir tahun 2025. Nilai kesehatan yang didapat berdasarkan penelitian Rufo dan Rufo Jr. (2004) di Filipina dari tahun 2000-2014 adalah 338-2355 juta Peso atau sekitar Rp. 64,38-448,57 Milyar. Tampak bahwa nilai kesehatan berdasarkan penelitian ini lebih kecil dibandingkan nilai kesehatan pada penelitian di Filipina. Hal ini disebabkan jumlah yang terpapar lebih besar (kanker dan kematian) serta nilai VOSL maupun VOI Filipina lebih tinggi (Tabel 27).

Estimasi potensi kasus kanker dan kasus kematian akan berkurang pula dengan terjadinya pengurangan emisi. Bila tidak ada pengurangan emisi, estimasi potensi kematian akibat kanker tahun 1995-2004 sebanyak 10 orang, tiap tahun terjadi kematian sebanyak 1 orang akibat emisi dioksin/furan. Pada pengurangan emisi 30,3%, 40,7%, serta 46,1% hingga tahun 2025, akan mengurangi potensi kasus kematian dan potensi kasus kanker seperti pada Tabel 32. Pengurangan emisi 46,1% akan mengurangi potensi kanker sebesar 69%.

Tabel 32 Hasil simulasi estimasi potensi kasus kanker dan kasus kematian dengan asumsi pengurangan emisi tahun 1995-2025

	Jumlah kasus dengan asumsi pengurangan emisi:			
	0%	30,3%	40,7%	46,1%
Kasus kanker	1092	485 (-55,6%)	377 (-65,48%)	336 (-69,23%)
Kasus kematian	175	78 (-55,43%)	60 (-65,71%)	54 (-69,14%)

Peningkatan produksi 3,8% tanpa pengurangan emisi akan memberikan dampak yang sangat besar bagi estimasi potensi kasus kanker dan potensi kasus kematian seperti

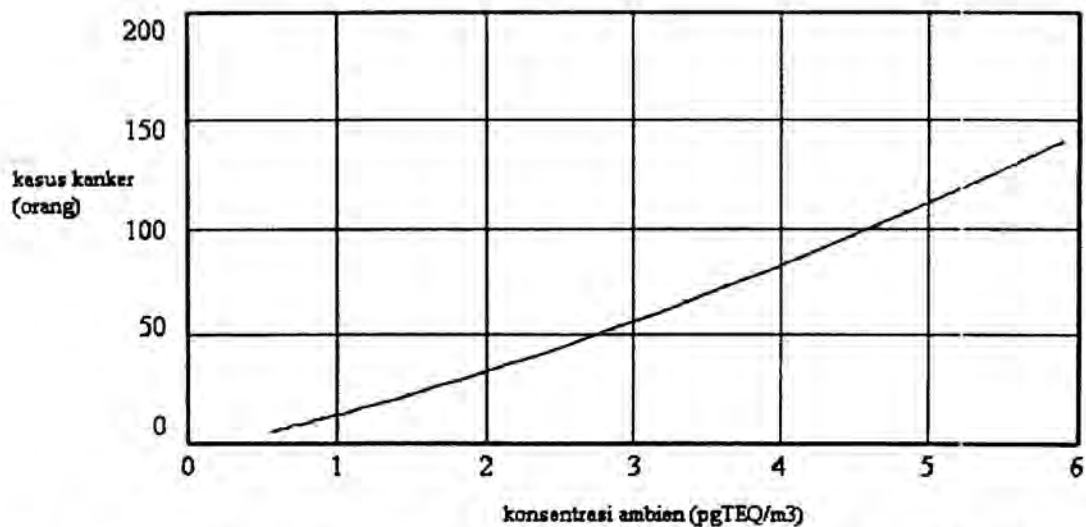
pada Tabel 33. Peningkatan produksi 3,8% diikuti dengan pengurangan emisi menghasilkan persentase pengurangan jumlah kasus yang cukup tinggi. Pada peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 46,1% akan menurunkan kasus kanker sebesar 76%.

Tabel 33 Hasil simulasi estimasi potensi kasus kanker dan kasus kematian dengan asumsi peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi tahun 1995-2025

	Jumlah kasus dengan asumsi peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi:			
	0%	30,3%	40,7%	46,1%
Kasus kanker	1857	723 (-61,07%)	516 (-72,21%)	437 (-76,47%)
Kasus kematian	297	116 (-60,94%)	83 (-72,05%)	70 (-76,43%)

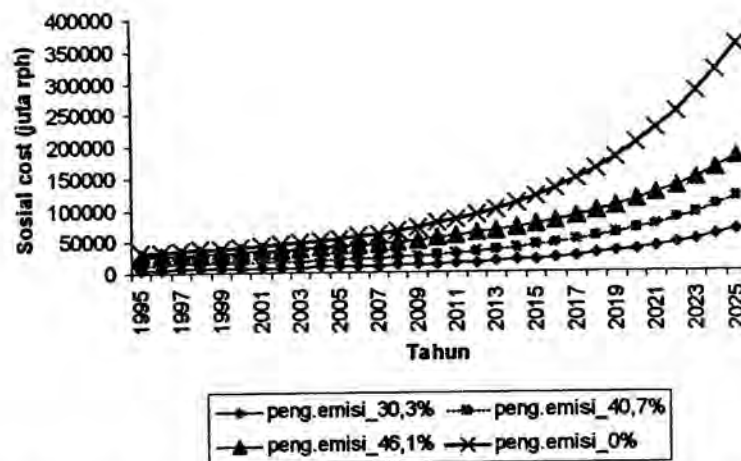
Untuk mengetahui keadaan aktual, sulit untuk mendapatkan data dari lingkungan setempat mengenai kasus kanker ataupun kasus kematian akibat emisi dioksin/furan. Walaupun ada data kasus kanker dan kematian akibat kanker, tetapi tidak dapat dipastikan apakah memang kanker tersebut diakibatkan dari emisi dioksin/furan atau sebab lainnya. Hal ini perlu dibuktikan lebih lanjut dengan monitoring terus menerus dalam jangka waktu yang panjang.

Hubungan antara potensi kasus kanker dengan konsentrasi di ambien dapat digambarkan seperti pada Gambar 22. Pada gambar tersebut tampak bahwa bila tidak dilakukan intervensi kebijakan untuk pengendalian emisi dioksin/furan, konsentrasi di ambien akan terus meningkat, sehingga kasus kanker juga akan meningkat secara linier. Dioksin/furan merupakan zat yang tidak dibutuhkan oleh tubuh, sehingga walaupun sedikit dapat merupakan racun bagi tubuh, terlebih dengan sifatnya yang dapat berakumulasi dalam jaringan lemak. Sehingga bila telah melewati batas ambang, respon pada peningkatan dosis makin tajam (Connell dan Miller, 1995).



Gambar 22 Hasil simulasi hubungan antara konsentrasi di ambien dengan kasus kanker

Adanya pengurangan emisi berdampak pula pada *social cost* (Gambar 23). Perhitungan *social cost* tidak saja hanya berdasarkan estimasi kasus kanker dan kasus kematian saja, tapi juga ditambah dengan adanya *abatement cost*. Walaupun estimasi potensi kasus kanker dan kematian telah berkurang, tetapi *abatement cost* yang harus dikeluarkan industri mempunyai nilai yang cukup besar untuk diperhitungkan. Hal ini pula yang menyebabkan *social cost* pada pengurangan emisi 46,1% lebih besar dari *social cost* pada pengurangan 30,3%. Makin besar pengurangan emisi, *abatement cost* nya juga semakin tinggi. Pada beberapa tahun pertama, terjadi penambahan *social cost*, setelah itu, *social cost* menjadi lebih kecil dari *baseline* (data lengkap dalam Lampiran 13-15).



Gambar 23 Hasil simulasi *social cost* dengan berbagai asumsi pengurangan emisi

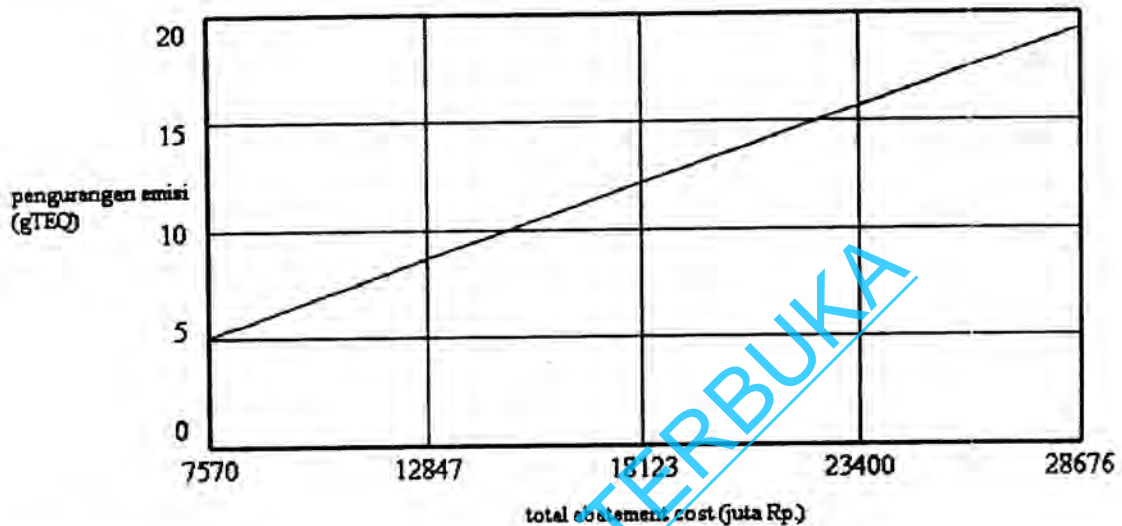
Untuk pengurangan emisi 46,1%, kenaikan *social cost* mula-mula sebesar 123,51% dan berangsur-angsur turun hingga 64%. *Social cost* sebelum adanya pengurangan emisi dari tahun 1995-2025 adalah Rp.5,86-36,16 Milyar, sedangkan *social cost* setelah adanya pengurangan emisi 46,1% adalah Rp.13,11-64,06 Milyar. Adanya peningkatan produksi 3,8% juga akan meningkatkan *social cost* secara keseluruhan, karena peningkatan produksi menyebabkan kenaikan emisi, terjadi peningkatan konsentrasi di ambien dan akhirnya peningkatan kasus kanker dan kematian.

Adanya emisi dioksin/furan akan memberikan estimasi dampak sosial yang perlu diperhatikan, terutama sebagai penyebab kasus kanker dan kematian. Walaupun membutuhkan waktu yang cukup lama untuk melihat kasus kanker yang terjadi, tapi emisi dioksin/furan ini tidak dapat diabaikan, karena bersifat akumulatif, sehingga membahayakan untuk generasi yang akan datang.

6.2.3 Estimasi dampak ekonomi

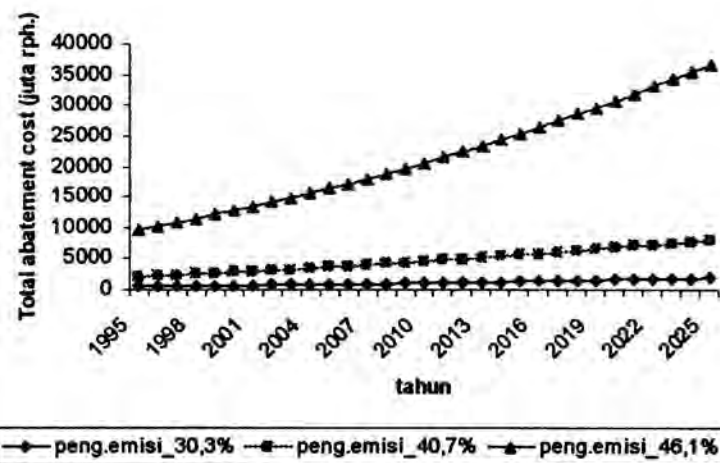
Asumsi pengurangan emisi serta peningkatan produksi akan berimplikasi pada faktor ekonomi, yang dikaji terhadap variabel *abatement cost* total, keuntungan produksi, manfaat bersih serta *net benefit*. Penekanan atau pengurangan emisi dapat dilakukan industri antara lain dengan pengembangan teknologi, yang berdampak pada biaya. Adanya pengurangan emisi juga akan diikuti dengan *abatement cost* yang harus

dikeluarkan oleh industri untuk memperbaiki lingkungan. Dengan demikian, *abatement cost* per gTEQ bergantung pada teknologi yang digunakan seperti pada Tabel 29. *Abatement cost* erat hubungannya dengan pengurangan emisi, makin besar pengurangan emisi, maka *abatement cost* juga akan meningkat secara linier seperti pada Gambar 24.



Gambar 24 Hasil simulasi hubungan antara pengurangan emisi dengan *abatement cost*

Tidak ada pengurangan emisi dianggap nilai *abatement cost* nol, yaitu diasumsikan belum ada pengeluaran untuk memperbaiki atau mengurangi emisi khususnya akibat dioksin/furan. Total *abatement cost* akan makin meningkat dari tahun 1995-2025, makin besar pengurangan emisi, maka total *abatement cost* juga semakin meningkat (Gambar 25). Ini disebabkan tingkat emisi yang dapat dikurangi berhubungan dengan teknologi yang digunakan, semakin besar emisi yang dapat dikurangi, maka teknologi yang digunakan membutuhkan biaya yang semakin tinggi (Tabel 29). Demikian pula dengan adanya peningkatan produksi, maka total *abatement cost* juga akan meningkat dengan nilai yang lebih tinggi daripada tanpa peningkatan produksi. Peningkatan produksi menyebabkan emisi yang dilepaskan meningkat, sehingga emisi yang harus dikurangi juga meningkat dan total *abatement cost* meningkat.



Gambar 25 Hasil simulasi total *abatement cost* dengan asumsi pengurangan emisi

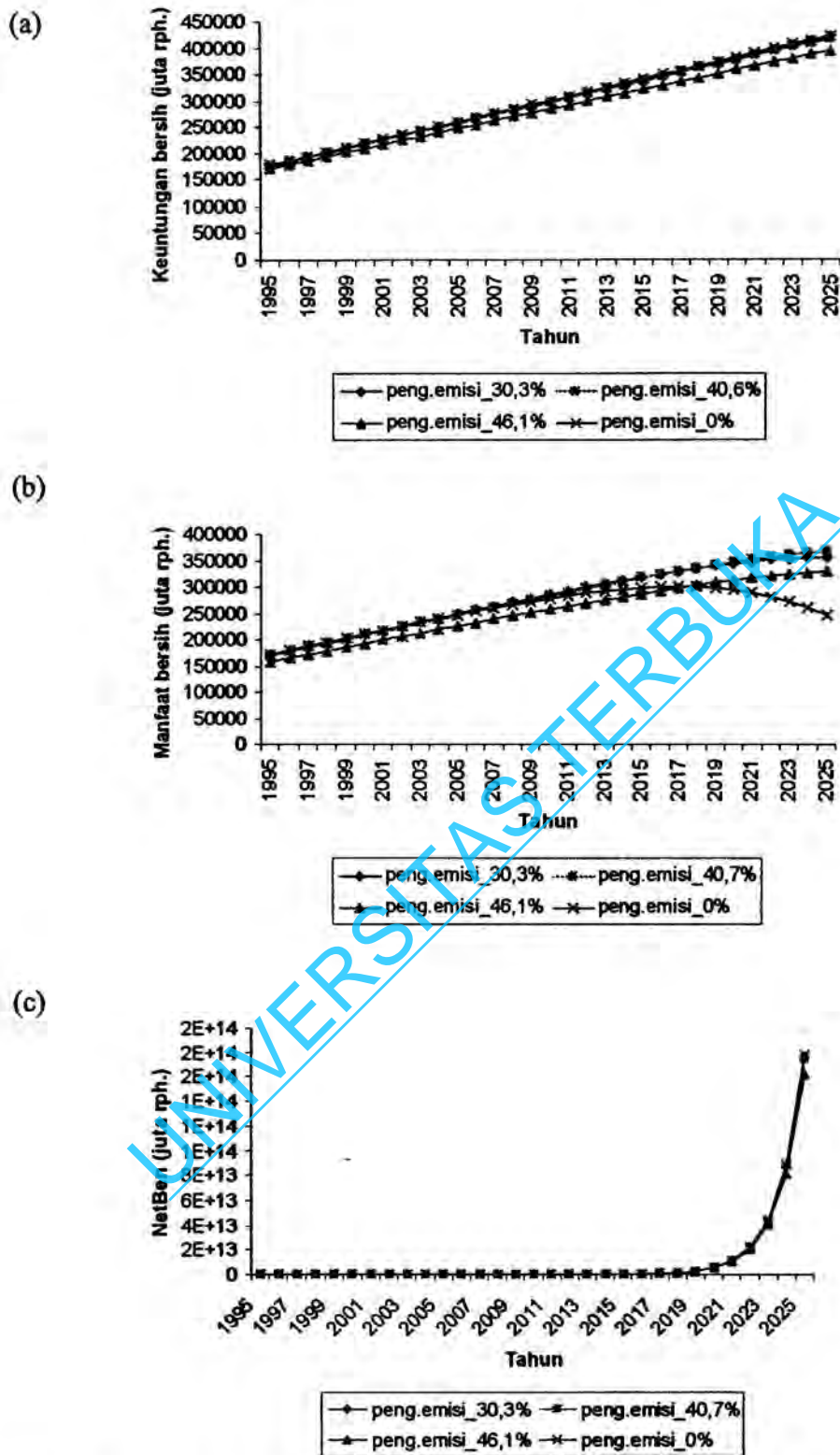
Adanya pengeluaran untuk total *abatement cost* akan mengurangi keuntungan bersih industri, karena industri mengeluarkan biaya tambahan untuk mengurangi emisi dioksin/furan yang dikeluarkan. *Abatement cost* berdasarkan simulasi mempunyai nilai yang kecil bila dibandingkan dengan keuntungan bersih industri. Keuntungan bersih industri sebelum adanya pengurangan emisi dari tahun 1995-2025 berkisar antara Rp.178,06-422,36 Milyar dan bila ada pengurangan emisi 46,1%, maka keuntungan bersih menjadi Rp.170,49-393,69 Milyar atau berkurang 4,25-6,79%. *Abatement cost* pada pengurangan emisi 46,1% adalah Rp.7,57-28,68 Milyar (Gambar 25). Sebagai bahan perbandingan, di UK *abatement cost* untuk mereduksi emisi dioksin dari 276 hingga 225 gTEQ/tahun pada tahun 2000 sebesar £ 0,146 juta/tahun atau setara dengan Rp.20,8877 Milyar. (Entex, 2003). *Abatement cost* yang dihasilkan dari penelitian ini masih jauh lebih kecil. Ini dimungkinkan karena di UK pengurangan emisi yang terjadi cukup besar yaitu sebesar 51 gTEQ, sedangkan penelitian ini pengurangan emisi pada tahun 1995 sebesar 4,48 gTEQ.

Untuk emisi dioksin/furan, berdasarkan estimasi *abatement cost* yang harus dikeluarkan, industri diharapkan mengurangi emisi dan mengeluarkan *abatement cost* karena ternyata keuntungan industri tidak berkurang secara signifikan. Potensi estimasi kasus kanker dan kasus kematian akibat adanya emisi dioksin/furan juga dapat dikurangi dengan adanya pengurangan emisi. Di sisi lain, adanya pengurangan emisi menunjukkan bahwa industri tersebut peduli akan lingkungan.

Manfaat bersih merupakan selisih antara keuntungan bersih industri dengan *social cost*, dengan demikian makin besar *social cost* maka manfaat bersih yang dihasilkan makin berkurang. *Social cost* hanya berkisar 7,69–16,27% dari keuntungan bersih untuk pengurangan emisi 46,1%. Hal ini dapat dibandingkan dengan biaya lingkungan yang dikeluarkan industri kertas dan pulp sekitar 5-10% dari biaya pendirian pabrik baru (Hayter, 2000), biaya ini merupakan biaya yang cukup besar. Dengan demikian, industri tidak akan banyak berkurang keuntungannya bila *social cost* tersebut dibayarkan. Permasalahan timbul apabila industri tidak bersedia mengeluarkan biaya *abatement cost* dan *social cost* tersebut. Dalam hal ini peran pemerintah untuk memonitor dan mengendalikan industri agar mau mengeluarkan dana untuk *social cost* ataupun *abatement cost* sangat dibutuhkan.

Berdasarkan simulasi tanpa pengurangan emisi, untuk variabel manfaat bersih, dari tahun 1995 manfaat bersih terus meningkat, yaitu dari Rp.172,19-298,61 Milyar, tetapi sejak tahun 2019 ada penurunan manfaat bersih yaitu menjadi Rp.298,69 Milyar (Gambar 26b). Hal ini disebabkan *social cost* mulai saat itu sudah sangat tinggi, sehingga selisih keuntungan bersih dan *social cost* menjadi turun. Adanya pengurangan emisi akan meningkatkan manfaat bersih.

Untuk mengkaji manfaat bersih di masa mendatang, maka digunakan analisis *PV NetBen*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pengurangan emisi 30,3%, 40,7%, dan 46,1% tidak memberikan perbedaan yang signifikan untuk *PV NetBen* (Gambar 26c). Hal ini disebabkan manfaat bersih yang dihasilkan dari pengurangan emisi tersebut juga tidak berbeda secara signifikan.



Gambar 26 Hasil simulasi (a) keuntungan bersih, (b) manfaat bersih, (c) PV NetBen dengan berbagai asumsi pengurangan emisi

Dampak adanya emisi dioksin/furan pada faktor ekonomi akan berubah bila ada peningkatan produksi. Peningkatan produksi ini mempunyai pengaruh yang besar terutama untuk faktor ekonomi, karena peningkatan produksi akan berpengaruh langsung pada keuntungan bersih. Dengan peningkatan produksi 3,8%, serta dengan pengurangan emisi yang sama, maka peningkatan keuntungan bersih dan manfaat bersih seperti pada Tabel 34.

Tabel 34 Pengaruh peningkatan produksi 3,8% pada keuntungan bersih dan manfaat bersih

Variabel	Persentase (%) peningkatan nilai dengan asumsi pengurangan emisi			
	0%	30,3%	40,7%	46,1%
Keuntungan bersih	3,67 - 48,49	3,68 - 48,60	3,70 - 48,82	3,83 - 50,12
Manfaat bersih	3,79 - 38,53	3,81 - 43,41	3,86 - 45,96	4,15 - 50,07

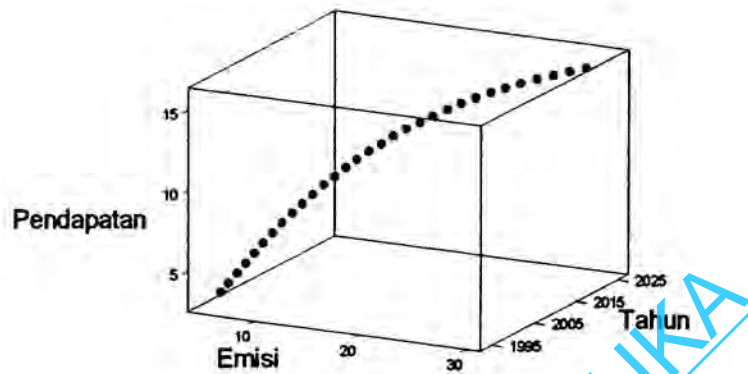
Berdasarkan Tabel 34, peningkatan produksi yang diikuti dengan pengurangan emisi 46,1% mempunyai dampak yang terbaik secara ekonomi dan lingkungan. Secara ekonomi, bagi industri keuntungan bersih akan meningkat dan bagi masyarakat manfaat bersih juga akan meningkat, tetapi di sisi lain emisi dapat dikurangi hingga 46,1%.

Hubungan antara emisi, pendapatan, dan kerusakan

Adanya industri-industri yang menghasilkan emisi dioksin/furan di daerah Cilegon akan berdampak pada PDRB setempat. Pada kurun waktu 2000-2003, sekitar 59-64% PDRB Cilegon diperoleh dari industri pengolahan (BPS Kota Cilegon, 2004a). Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8%, diperkirakan dalam kurun waktu 1996-2025, PDRB juga akan meningkat sebesar 7-122%. Pendapatan ini akan memberi tambahan pendapatan masyarakat (Gambar 27).

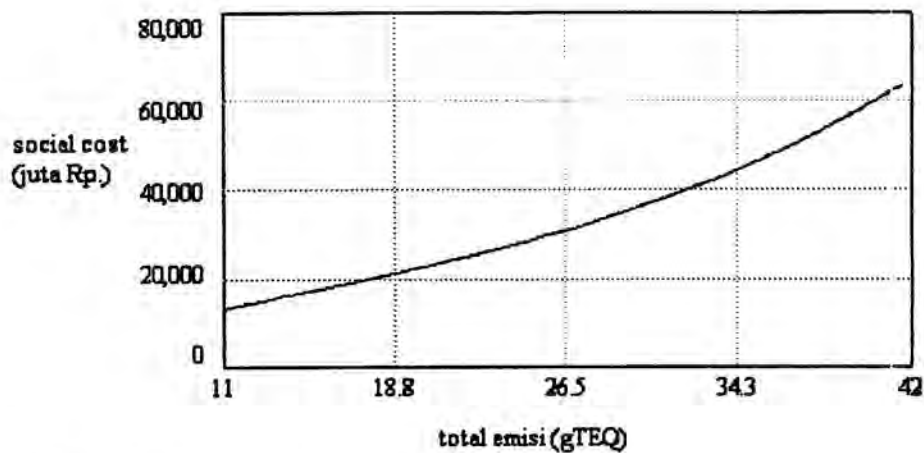
Gambar 27 dapat dihubungkan dengan teori Kuznet yaitu peningkatan emisi atau kerusakan lingkungan akan diikuti dengan meningkatnya pendapatan per kapita dan pada titik tertentu meskipun pendapatan meningkat tetapi kerusakan lingkungan akan menurun, sehingga terjadi kurva U terbalik. Pada Gambar 26, belum terlihat gejala

penurunan kurva, sehingga pada emisi dioksin/furan yang terjadi pada pabrik logam di Cilegon dan Serang, kurva Kuznet tidak dapat digunakan (tidak berlaku).



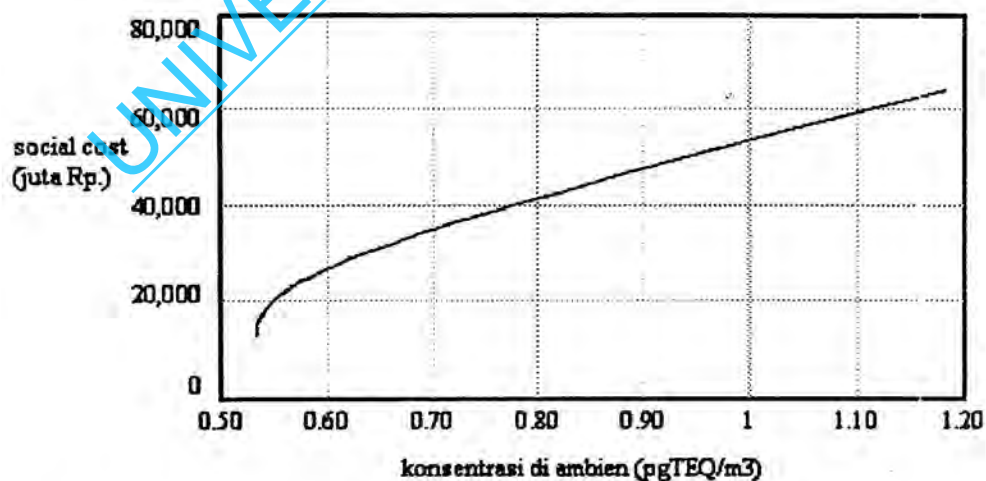
Gambar 27 Hasil simulasi hubungan antara emisi dengan pendapatan

Pada umumnya, semakin tinggi volume pencemaran semakin tinggi pula kerusakan yang ditimbulkan. Untuk melukiskan hubungan antara pencemaran dan kerusakan dapat digunakan fungsi kerusakan (*damage function*). Fungsi kerusakan ini digambarkan dengan volume kerusakan dalam arti biaya yang dikeluarkan karena pencemaran tersebut. Ada 2 macam fungsi kerusakan, yaitu fungsi kerusakan emisi (*emission damage function*) dan fungsi kerusakan ambien (*ambient damage function*) (Field dan Field, 2002; Suparmoko dan M. Suparmoko, 2000). Fungsi kerusakan emisi dioksin/furan yang dihasilkan dari simulasi ini seperti pada Gambar 28.



Gambar 28 Hasil simulasi grafik fungsi kerusakan emisi

Fungsi kerusakan emisi dioksin/furan ini melukiskan kerusakan yang meningkat yang ditandai dengan *social cost* yang juga meningkat secara linier dengan kenaikan emisi. Keadaan ini sangat umum ditemui dalam kasus pencemaran lingkungan. Fungsi kerusakan ini dimulai pada sumbu vertikal di atas titik nol dan meningkat dengan cepat. Fungsi seperti ini merupakan gambaran untuk pencemaran seperti limbah B3 yang mempunyai dampak mematikan meskipun pada volume emisi yang rendah. Sedangkan untuk fungsi kerusakan ambient untuk pencemaran dioksin/furan seperti pada Gambar 29.



Gambar 29 Hasil simulasi grafik fungsi kerusakan ambient

Berdasarkan Gambar 29, fungsi kerusakan ambien dimulai tidak dari titik nol, tapi dari sebelah kanan titik nol, yang berarti bahwa kerusakan baru dimulai pada sejumlah konsentrasi tertentu, yaitu setelah konsentrasi mencapai ambang batas, kemudian meningkat tajam secara linier dengan bertambahnya tingkat konsentrasi.

Hasil simulasi model *system dynamics* secara keseluruhan dapat menjelaskan dampak pencemaran emisi dioksin/furan pada lingkungan, ekonomi dan sosial. Untuk jangka panjang, bila tidak dilakukan apa-apa atau kondisi seperti saat ini, maka akan menyebabkan kerugian pada aspek lingkungan, masyarakat (sosial), serta ekonomi. Pada aspek lingkungan, kerugian akan terjadi akibat adanya degradasi lingkungan dan semakin tingginya konsentrasi dioksin/furan di ambien. Kerugian yang terjadi pada aspek sosial yaitu adanya peningkatan kasus kanker dan kematian yang menyebabkan peningkatan *social cost*. Sedangkan kerugian yang terjadi pada aspek ekonomi yaitu manfaat bersih yang semakin berkurang.

Pengurangan emisi secara signifikan akan mempunyai efek yang positif pada lingkungan, tetapi efek negatif bagi industri, karena industri harus mengeluarkan *abatement cost*. Pengurangan emisi dapat dijadikan suatu kebijakan terhadap lingkungan. Di sisi lain, peningkatan produksi akan berdampak positif secara ekonomi, tetapi akan berdampak negatif bagi lingkungan, karena peningkatan emisi. Peningkatan produksi dapat dijadikan kebijakan berbasis ekonomi. Agar semua kepentingan tercapai, maka kebijakan yang digunakan harus dapat memenuhi kepentingan lingkungan dan ekonomi.

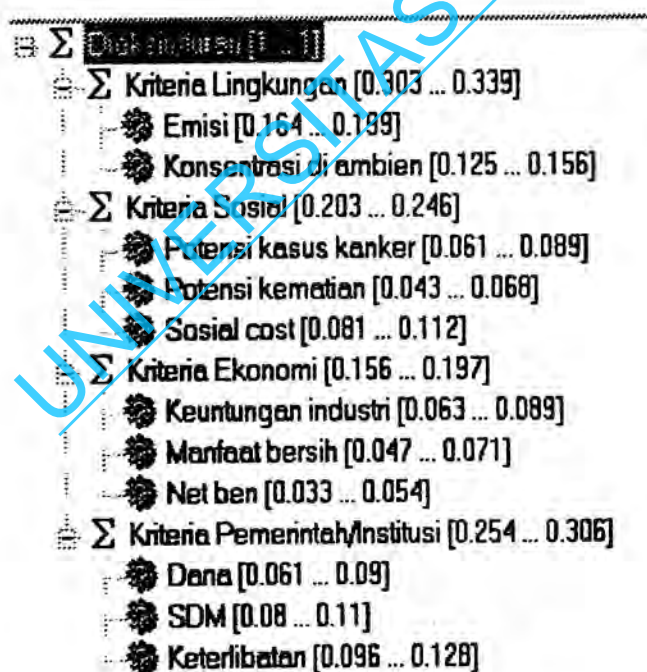
Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa untuk simulasi tanpa pengurangan emisi (*baseline*), simulasi dengan pengurangan emisi serta simulasi terhadap peningkatan produksi mempunyai kecenderungan yang sama, yaitu kenaikan yang cukup tajam pada akhir simulasi. Hal ini dapat disebabkan pada simulasi prediksi jangka panjang, makin jauh prediksi (makin lama waktu simulasi dilakukan), maka estimasi nilai makin jauh dari aktual data, sehingga tingkat penyimpangan juga besar. Khusus untuk hasil simulasi konsentrasi ambien dan *social cost* (Gambar 19b, 23), ada kecenderungan kenaikan yang cukup tajam pada tahun 2011. Hal ini berimplikasi bahwa perlu dilakukan peninjauan kembali terhadap kebijakan pengurangan emisi guna mengurangi konsentrasi ambien.

VII MODEL ALTERNATIF KEBIJAKAN DAN IMPLIKASI KEBIJAKAN

7.1 Model Alternatif Kebijakan

Model alternatif kebijakan dilakukan dengan menggunakan metode multi kriteria analisis dengan perangkat lunak PRIME dan menggunakan data hasil simulasi model *system dynamics* serta *judgement* kualitatif. Tahap-tahap yang dilakukan pada pengembangan model alternatif kebijakan (Fauzi, 2005) yaitu:

- a. Tahap pertama, menentukan kriteria (sub atribut) serta sub-kriteria yang akan mempengaruhi alternatif kebijakan yang diambil. Penelitian ini menggunakan kriteria lingkungan, sosial, ekonomi serta kelembagaan/institusi. Sub-kriteria dipilih berdasarkan variabel-variabel yang terdapat dalam sistem dinamik serta untuk kriteria kelembagaan/institusi digunakan *judgement* kualitatif. Kriteria dan sub-kriteria tersebut di masukkan ke dalam PRIME dalam bentuk *value tree* seperti pada Gambar 30.



Gambar 30 *Value tree* untuk kriteria dan sub-kriteria kebijakan dioksin/furan

- b. Tahap kedua, penentuan alternatif kebijakan yang akan digunakan sebagai acuan skenario serta dilakukan pembobotan. Ada 3 alternatif kebijakan yang digunakan sebagai skenario yaitu:

1. Skenario I: bila tidak dilakukan apa-apa (*Do Nothing*)
2. Skenario II : kebijakan yang berbasis lingkungan (*Environment Driven*)
3. Skenario III: kebijakan yang berbasis ekonomi (*Economic Driven*)

Penentuan bobot untuk kriteria-kriteria yang telah ditentukan didasarkan dari nilai rata-rata hasil simulasi *system dynamics* selama kurun waktu 1995-2025 untuk masing-masing variabel. Alternatif *Do Nothing* digunakan sebagai *baseline*, diasumsikan kita tidak melakukan apa-apa (*Do Nothing*), belum ada kebijakan pengurangan emisi dioksin/furan (data Lampiran 12). Alternatif kebijakan berbasis lingkungan, yaitu dengan pengurangan emisi hingga maksimal yaitu sebesar 46,1% (data Lampiran 15). Sedangkan alternatif kebijakan berbasis ekonomi, yaitu dengan kenaikan produksi industri yang diasumsikan 3,8% dari produksi (data Lampiran 16). Proses pembobotan beserta alternatif kebijakan pada PRIME dapat dilihat pada Tabel 35.

- c. Tahap ketiga, menentukan perbandingan pada tiap-tiap kriteria. Perbandingan dilakukan terhadap *score assessment*, *weight assessment*, serta *holistic comparison*, seperti terlihat pada Gambar 31.

Tabel 35 Alternatif untuk analisis PRIME dengan nilai masing-masing kriteria

Name	Kriteria Lingkungan	Spes	Konsentrasi di ambal Kriteria Sosial	Potensi kasus kerak	Potensi kemolan	Sosial cost	Kriteria
Do Nothing		22.6388367	1.49270988	20	3	25689.48362	
Kebijakan berbasis Ling.		12.20279218	0.86357223	9	1	27367.91366	
Kebijakan berbasis Ekon.		25.21578804	1.9127842	27	4	33987.64279	

Name	Keuntungan individu	Manfaat bersih	Net ben	Kriteria Penerimaan/ Gera	SDM	Kelambatan
Do Nothing	291010.2659	252659.4522	1.15082E+13	ketap	rukup	lemah
Kebijakan berbasis Ling	278288.1551	247074.2231	1.05135E+13	brgg	rukup sekali	kual
Kebijakan berbasis Ekon.	379465.3533	317470.7093	1.1944E+13	sedang	rukup	netral

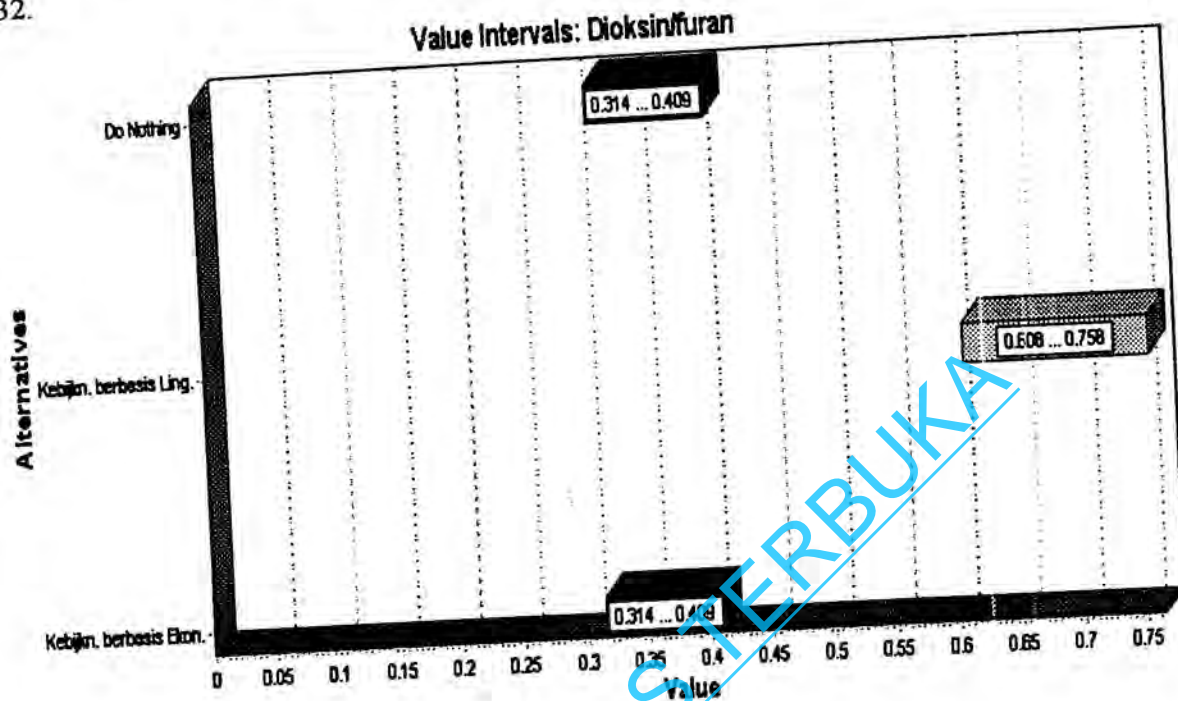
- Preference Information			
Preference Type	References to	Assessed	Remarks
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Emisi	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Konsentrasi di ambien	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Potensi kasus kanker	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Potensi kematian	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Sosial cost	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Keuntungan industri	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Manfaat berair	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Net ben	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Dana	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	SDM	Yes	
<input checked="" type="checkbox"/> Score Assessment	Keterlibatan	Yes	
<input type="checkbox"/> Weight Assessment	Twig-level attributes	No	Bottom Up
<input checked="" type="checkbox"/> Weight Assessment	Dioksin/furan	Yes	Top Down
<input checked="" type="checkbox"/> Weight Assessment	Kriteria Lingkungan	Yes	Top Down
<input checked="" type="checkbox"/> Weight Assessment	Kriteria Sosial	Yes	Top Down
<input checked="" type="checkbox"/> Weight Assessment	Kriteria Ekonomi	Yes	Top Down
<input checked="" type="checkbox"/> Weight Assessment	Kriteria Pemerintah/L...	No	Top Down
<input type="checkbox"/> Holistic Comparison	Dioksin/furan	No	Optional
<input type="checkbox"/> Holistic Comparison	Kriteria Lingkungan	No	Optional
<input type="checkbox"/> Holistic Comparison	Kriteria Sosial	No	Optional
<input type="checkbox"/> Holistic Comparison	Kriteria Ekonomi	No	Optional
<input type="checkbox"/> Holistic Comparison	Kriteria Pemerintah/L...	No	Optional

Gambar 31 Informasi *preference* untuk menentukan *score assessment* (Tanda panah menunjukkan teknik *assessment* yang dipilih)

Proses penentuan alternatif terbaik akan dilakukan secara otomatis oleh PRIME berdasarkan perhitungan pada persamaan 2.12-2.14. *Output* PRIME akan direpresentasikan dalam bentuk *value intervals*, *weights*, *dominance matrix* serta *decision rules*.

a. *Value interval* merupakan interval nilai yang dihasilkan dari perhitungan untuk tiap-tiap alternatif kebijakan. *Value interval* untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar

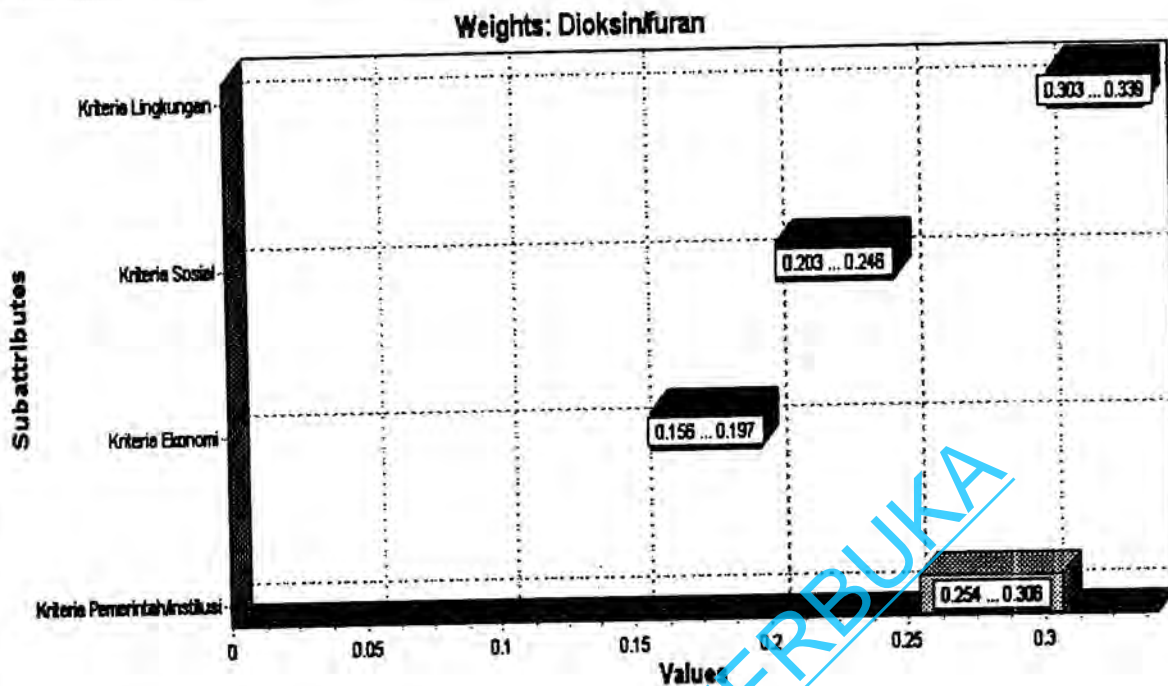
32.



Gambar 32 *Value interval* kebijakan dioksin/furan

Berdasarkan hasil *value interval* Gambar 31, terlihat tumpang tindih nilai antara nilai interval untuk skenario kebijakan berbasis ekonomi dengan skenario *Do Nothing*. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kebijakan pada saat ini yang berbasis ekonomi, dimana hampir setiap kebijakan yang dikeluarkan pengambil keputusan ditujukan untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Sedangkan skenario dengan kebijakan berbasis lingkungan mempunyai interval tertinggi dibandingkan dengan 2 alternatif kebijakan lainnya. Dengan demikian perlu dipertimbangkan tentang kebijakan yang berbasis lingkungan, yaitu terhadap pengurangan emisi.

b. *Output* kedua, *weight* yang merupakan pembobotan untuk setiap atribut, dapat dilihat pada Gambar 33 berikut ini,



Gambar 33 Hasil *weight* (pembobotan)

Gambar 33 menunjukkan bahwa hasil pembobotan tertinggi pada model alternatif kebijakan yang dikembangkan terdapat pada sub-atribut atau kriteria lingkungan, diikuti sub-atribut pemerintahan/institusi, sosial dan ekonomi. Dengan demikian, kriteria lingkungan merupakan prioritas untuk alternatif kebijakan yang akan diambil. Hal ini sesuai dengan pengembangan model simulasi *system dynamics*, dimana pengurangan emisi akan memberikan dampak yang positif baik pada lingkungan ataupun sosial. *Weight* untuk masing-masing kriteria dapat dilihat pada Lampiran 21. Pada kriteria lingkungan, sub-atribut yang mempunyai bobot tertinggi adalah emisi, pada kriteria sosial yaitu *social cost*, pada kriteria ekonomi yaitu keuntungan produksi dan pada kriteria pemerintahan/institusi bobot yang tertinggi adalah keterlibatan masing-masing instansi terkait.

c. *Output* selanjutnya *dominance*, yaitu suatu matrik yang menunjukkan alternatif yang terbaik yang dipengaruhi oleh hasil pembobotan (*weight*) dari keempat kriteria yang telah dipilih. *Dominance* dapat dilihat pada Gambar 34.

	Do Nothing	Kebijakan berbasis Ling	Kebijakan berbasis Ekos
Do Nothing	●	↓ ●	
Kebijakan berbasis Ling	→ ●	●	→ ●
Kebijakan berbasis Ekos		↓ ●	●

Gambar 34 *Dominance* alternatif kebijakan dioksin/furan

Bulatan dengan tanda (↓) dan tanda (→) menyatakan bahwa alternatif kebijakan tersebut yang paling dominan alternatif kebijakan berbasis lingkungan. Hasil ini sesuai dengan *value interval* yang telah dihasilkan dan diperkuat dengan nilai *decision rules* sebagai output terakhir.

d. *Decision rules* menyatakan seberapa jauh kerugian yang akan diterima bila alternatif-alternatif kebijakan tersebut dilaksanakan. *Decision rules* dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa kerugian terkecil diperoleh bila skenario kebijakan berbasis lingkungan dilaksanakan, karena mempunyai *possible loss* terkecil (-0,201) (Gambar 35).

	Maximax	Maximin	Central Values	Minimax Regret	Possible Loss
Do Nothing					0.432
Kebijakan berbasis Ling.	✓	✓	✓	✓	0.201
Kebijakan berbasis Ekos.					0.432

Gambar 35 *Decision rules* untuk alternatif kebijakan dioksin/furan

Empat (4) informasi penting yang terdapat pada *decision rules*, yaitu *maximax*, *maximin*, *central values* dan *minimax regret*. *Maximax* merupakan alternatif dengan nilai kemungkinan terbesar. *Maximin* yaitu alternative dengan nilai kemungkinan terkecil yang paling besar. *Minimax regret* merupakan alternatif untuk *possible lost* terkecil dan *central values* merupakan alternative dimana nilai tengah *value interval* terbesar (Gustafsson *et al.*, 2001). Untuk kebijakan berbasis lingkungan ke empat faktor tersebut diberi tanda ✓, yang menandakan alternatif kebijakan tersebut telah memenuhi kriteria untuk dipilih, sehingga alternatif kebijakan berbasis lingkungan adalah kebijakan yang secara perhitungan merupakan kebijakan yang terbaik. Jika ditinjau berdasarkan nilai *possible loss* yang didapat, maka alternatif kebijakan lingkungan mempunyai kemungkinan kerugian yang paling kecil yaitu 20,1% dibandingkan alternatif kebijakan lainnya.

Implikasi model alternatif kebijakan dengan analisis multi kriteria yaitu, untuk pengendalian pencemaran (emisi) dioksin/furan, alternatif kebijakan yang terbaik adalah alternatif kebijakan berbasis lingkungan. Artinya, perlu diadakan pengendalian emisi dari masing-masing industri yang berpotensi mengeluarkan emisi tinggi. Dalam banyak

kebijakan, kebijakan yang sekarang digunakan umumnya merupakan kebijakan berbasis ekonomi, artinya penentuan kebijakan ditekankan untuk peningkatan ekonomi. Untuk itu perubahan arah kebijakan diperkirakan melalui *trade off* antara lingkungan dan ekonomi dan kesejahteraan sosial. Upaya pengendalian emisi dilakukan dengan peningkatan produksi. Peningkatan produksi dapat mempertahankan keuntungan perusahaan apabila terdapat biaya untuk pengendalian emisi.

7.2 Implikasi kebijakan

Untuk kasus dioksin/furan, alternatif kebijakan terbaik yang diperoleh dengan aplikasi *system dynamics* dan analisis multi kriteria maka aspek lingkungan perlu diperhatikan. Aspek ini terkait dengan pengendalian/pengurangan emisi dioksin/furan. Dampak emisi dioksin/furan pada makhluk hidup bersifat tidak langsung dan membutuhkan waktu hingga dampak dapat terlihat.

Alternatif kebijakan yang akan digunakan dapat bersifat makro ataupun mikro, yang masing-masing mempunyai dampak pada faktor-faktor lingkungan, ekonomi, sosial ataupun pemerintah. Apabila dijabarkan untuk masing-masing aspek kebijakan dan perkiraan dampak berkaitan dengan aspek tersebut, maka kebijakan akan dikaji seperti pada pada Tabel 36.

Tabel 36 Kebijakan makro dan mikro pengendalian pencemaran dioksin/furan

KEBIJAKAN	DAMPAK pada				Instrumen kebijakan
	Lingkungan	Ekonomi	Sosial	Pemerintah	
MAKRO					
Ekonomi: fiskal	emisi meningkat	a. pertumbuhan industri meningkat b. investasi meningkat	a. kesempatan kerja bertambah b. pendapatan masyarakat meningkat	a. peningkatan pertumbuhan ekonomi b. mempertahankan kestabilan ekonomi	EI
Lingkungan: a. penetapan standar pencemaran udara b. inventarisasi emisi	batas ambang pencemaran udara terpenuhi	adanya pajak lingkungan	masyarakat peduli terhadap pencemaran udara khususnya dioksin/furan	a. memasukkan parameter emisi dioksin/furan ke PP, Kepmen pencemaran udara b. kerjasama antar instansi	CAC
Sosial: a. pembinaan SDM b. kampanye publik c. penelitian	perbaiki lingkungan	a. adanya biaya tambahan yang harus dikeluarkan b. PDRB berkurang	pemahaman masyarakat mengenai lingkungan meningkat	koordinasi dengan instansi-instansi pemerintah, swasta	CAC

Tabel 36 (Lanjutan)

KEBIJAKAN	DAMPAK pada				Instrumen kebijakan
	Lingkungan	Ekonomi	Sosial	Pemerintah	
MIKRO					
Lingkungan: a. penetapan standar b. inventarisasi emisi c. kebijakan pengurangan emisi d. kebijakan jarak pemukiman dan tinggi cerobong	a. perbaikan kondisi lingkungan setempat b. emisi berkurang	a. pajak lingkungan b. <i>abatement cost</i> meningkat	a. masyarakat menjadi memahami emisi dioksin/furan b. kasus kan ker dan kematian berkurang	a. membuat standar emisi, pemukiman terdekat dan tinggi cerobong untuk daerah setempat b. penetapan standar teknologi	CAC
Ekonomi: denda	emisi berkurang	a. pendapatan daerah meningkat b. peningkatan teknologi	a. perbaikan sarana/ prasarana b. pendapatan masyarakat meningkat c. kepercayaan masyarakat terhadap pemerintah meningkat	a. membuat peraturan-peraturan mengenai pajak dan denda b. menciptakan lingkungan yang kondusif	IE
Sosial: a. sosialisasi ke masyarakat b. pembinaan SDM c. penelitian	perbaikan lingkungan	adanya biaya tambahan yang harus dikeluarkan	a. kepercayaan masyarakat terhadap industri meningkat b. mengubah <i>behaviour</i> masyarakat	koordinasi dengan instansi-instansi pemerintah, swasta	CAC

7.2.1 Kebijakan Makro

Dalam konteks kebijakan makro, menunjukkan bahwa kebijakan pengendalian pencemaran udara, khususnya emisi POPs antara lain dioksin/furan masih belum diperhatikan. Walaupun Indonesia telah menandatangani Konvensi Stockholm tentang POPs, tetapi Indonesia masih belum mempunyai perangkat kebijakan yang khusus mengatur pengendalian dioksin/furan tersebut. Selain itu, pemahaman tentang dioksin/furan di kalangan masyarakat maupun aparat pemerintah juga tidak diketahui. Di sisi lain tingkat pencemaran dioksin/furan di Indonesia telah cukup tinggi.

Jika Indonesia telah membuat NIP (*National Implementation Plan*) sebagai implementasi dari Konvensi Stockholm, maka NIP tersebut seyogyanya dijadikan landasan bagi kebijakan makro (nasional). Di dalam NIP, tertera langkah-langkah jangka pendek ataupun jangka panjang untuk mereduksi, mengeliminasi dan mengendalikan pencemaran POP's.

Kebijakan yang bersifat makro dengan kriteria ekonomi memerlukan perbaikan di bidang fiskal. Antara lain dengan menciptakan pertumbuhan ekonomi yang stabil dan kondusif. Hal ini akan berimplikasi pada pertumbuhan industri yang semakin meningkat serta perkembangan investasi. Pertumbuhan ekonomi terkait erat dengan perbaikan di bidang sosial, yaitu peningkatan kesempatan kerja dan pendapatan masyarakat, karena sebagian besar masyarakat di daerah penelitian bekerja sebagai pekerja pada industri-industri tersebut. Namun pertumbuhan industri akan berdampak pada kenaikan pencemaran dan telah dibuktikan dari hasil penelitian ini, yaitu kenaikan produksi akan meningkatkan konsentrasi emisi juga akan meningkat secara linier. Untuk itu, untuk kebijakan yang bersifat makro dari sisi ekonomi perlu disertakan kebijakan pengendalian emisi.

Untuk sektor industri pada umumnya, UU No. 5 tahun 1985 tentang Perindustrian dapat dijadikan dasar untuk pengembangan kebijakan agar mencegah pencemaran udara yang bersumber dari kegiatan industri. UU tersebut menjelaskan larangan bagi kegiatan industri untuk mencemari lingkungan. Setiap kegiatan industri wajib menyusun dokumen pengelolaan lingkungan hidup kegiatan industri pada saat mengajukan izin usaha. Dokumen tersebut berisi informasi emisi yang dikeluarkan oleh industri dan penetapan

standar emisi tertuang pada KepMen LH No. 13 tahun 1995, tetapi standar emisi untuk dioksin/furan belum tercantum.

Untuk pengendalian dioksin/furan maka pencantuman parameter dioksin/furan dalam PP No. 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara menjadi penting. Parameter emisi dioksin/furan dapat pula ditambahkan pada PP No. 74 tahun 2001 tentang Pengelolaan B3. Dalam PP tersebut, penggunaan organoklorin POPs dan PCB telah dilarang, namun belum mencantumkan senyawa dioksin/furan. Walaupun dioksin/furan merupakan derivat pestisida telah tercantum dalam peraturan B3, tetapi senyawa dioksin/furan perlu tercantum dengan jelas sebagai bahan berbahaya. Hal ini dikarenakan, sumber dioksin/furan tidak saja dari pestisida, tetapi juga berasal dari berbagai macam sumber. Selain PP No. 74 tahun 2001, senyawaan dioksin/furan juga dapat ditambahkan dalam peraturan mengenai baku mutu emisi sumber tak bergerak yang tertuang dalam KepMen LH No. 13 tahun 1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber tak Bergerak, khususnya untuk industri-industri yang berpotensi mengeluarkan emisi dioksin/furan, misalnya industri kertas, industri besi/baja, industri semen, industri kimia, dan insinerator. Pada tingkat nasional, pemerintah seyogyanya melakukan inventarisasi emisi dioksin/furan secara berkala, hal ini dimaksudkan agar emisi tersebut dapat terdeteksi secara akurat.

Diharapkan dengan adanya penetapan standar dan peraturan untuk pencemaran udara yang menyertakan parameter dioksin/furan, ataupun dalam peraturan-peraturan lainnya, dapat meningkatkan kepedulian masyarakat dan pelaku usaha akan adanya emisi tersebut dan batas ambang lingkungan terpenuhi. Penetapan standar untuk batas ambang harus dilakukan berdasarkan penelitian. Ada 3 penetapan standar, yaitu penetapan standar ambien, penetapan standar emisi, dan penetapan standar teknologi. Ketiga standar tersebut ditujukan agar emisi yang dikeluarkan menjadi terkendali. Penetapan standar ini dapat dilakukan dengan koordinasi antar departemen, misalnya pada penetapan standar konsentrasi ambien, maka Depkes juga perlu dilibatkan; pada penetapan standar emisi dan teknologi, maka Departemen Perindustrian dan Departemen Perdagangan perlu dilibatkan. Dampak ekonomi dari penetapan standar ini adalah terhadap pajak lingkungan untuk industri yang melebihi standar emisi. Dampak ekonomi dari penetapan standar ini

adalah pada pajak lingkungan untuk industri yang melebihi standar emisi yang berupa denda.

Nilai denda dapat diatur sesuai dengan *abatement cost* dan *social cost* yang harus ditanggung. Berdasarkan hasil penelitian ini, *social cost* tanpa pengurangan emisi adalah sekitar Rp. 5,863-358,162 Milyar dalam kurun waktu 1995-2025. Nilai ini merupakan biaya yang harus ditanggung akibat emisi dioksin/furan yang melebihi ambang batas. Dana yang masuk yang berasal dari denda dapat dikelola dalam suatu wadah dapat dikembalikan untuk perbaikan lingkungan, sarana dan prasarana.

Aspek sosial yang perlu diperhatikan pada pengendalian emisi dioksin/furan yaitu berhubungan dengan kesehatan masyarakat dan *social cost*. Bila dikaji hubungan antara *social cost* dengan PDRB setempat, dalam kurun waktu 1995-2025, *social cost* pada pengurangan emisi 46,1% (Rp. 13,11-64,06 Milyar) adalah sekitar 0,2% dari PDRB setempat (Rp.5,41-300,59 Trilyun) (perhitungan pada Lampiran 23). Nilai ini sangat kecil, dan tidak memberatkan Pemda untuk dialokasikan pada perbaikan lingkungan atau kesehatan masyarakat akibat pencemaran industri, oleh karena itu seyogyanya Pemda mengeluarkan dana tersebut. Dana tersebut adalah *economic lost* yang dibayar industri ke pemerintah melalui denda atau pajak. Dana tersebut sebaiknya dikembalikan lagi pada masyarakat untuk perbaikan lingkungan, yang disebut sebagai *ear marked tax* (World Bank Group, 1998; Millock dan Nauges, 2006). Dari sisi industri, *social cost* tersebut hanya sekitar 7,69-16,27% dari keuntungan bersih industri pada tahun 1995-2025, yang sebaiknya juga dikeluarkan oleh industri. Dengan mengeluarkan *social cost* tersebut, maka citra industri akan lebih baik, sehingga kepercayaan dan dukungan masyarakat meningkat dan akan berdampak pada lingkungan kerja yang kondusif. Sebagai kompensasi terhadap industri, maka Pemda menjamin lingkungan kerja yang aman dan kondusif.

Pemerintah atau KLH juga dapat membuat kampanye publik untuk penyadaran masyarakat akan dampak emisi dioksin/furan pada kesehatan, sehingga masyarakat menjadi peduli. Diharapkan masyarakat dapat berperan serta dalam mengontrol industri-industri yang mengeluarkan emisi dioksin/furan.

7.2.2 Kebijakan Mikro

Kebijakan yang bersifat mikro, yaitu kebijakan yang dikhususkan untuk industri logam besi dan non besi dan untuk emisi dioksin/furan. Pada kebijakan mikro ini akan diuraikan besaran pengurangan emisi dari industri, introduksi teknologi, serta peranan Pemerintah Daerah (Pemda) untuk pemantauan, informasi pada masyarakat dan pengendalian pencemaran dioksin/furan.

Hasil model alternatif kebijakan menunjukkan bahwa alternatif kebijakan terbaik adalah pengurangan emisi. Emisi yang dihasilkan dari industri logam besi dan non logam pada lokasi penelitian pada tahun 2004 adalah 11,03-11,86 gTEQ/tahun (Tabel 22). Bila dikaji berdasarkan jumlah penduduk, berat badan rata-rata dan TDI, maka pada tahun yang sama emisi yang diperbolehkan adalah 0,3931 gTEQ/tahun (perhitungan pada Lampiran 22). Pengurangan emisi yang harus dilakukan adalah sebesar 10,667 g.TEQ/tahun atau 97%. Berdasarkan 3 jenis teknologi seperti pada Tabel 29, maka teknologi pada nilai *abatement cost* yang digunakan dapat mengurangi emisi maksimal hingga 46,1%, sehingga masih diperlukan penurunan sebesar 50,9%. Pengurangan sebesar itu dapat dilakukan dengan perbaikan teknologi atau lainnya. Pengaturan emisi tersebut perlu ditunjang oleh kebijakan di tingkat daerah/nasional.

Pengendalian emisi dapat dilakukan dengan 2 (dua) cara/perlakuan yaitu perlakuan primer dan perlakuan sekunder. Dua hal ini melibatkan teknologi yang digunakan (UNEP Chemical, 1999). Perlakuan primer yaitu mencegah pembentukan dioksin/furan, yang dapat dilakukan dengan substitusi bahan baku, modifikasi pengoperasian pabrik atau merubah desain pabrik. Sedangkan perlakuan sekunder yaitu mengurangi emisi dioksin/furan yang ke luar ke lingkungan, yang dapat dilakukan dengan introduksi teknologi pada industri, seperti pada penelitian ini.

Pengurangan emisi juga dapat dilakukan dengan pengaturan teknologi untuk tinggi cerobong serta jarak pemukiman. Pemerintah dapat mengeluarkan kebijakan atau aturan mengenai tinggi cerobong minimal yang harus digunakan serta jarak terdekat antara pemukiman dan daerah industri, karena jarak penyebaran dan tinggi cerobong sangat berpengaruh pada tingkat konsentrasi emisi yang diterima masyarakat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa makin tinggi cerobong, konsentrasi yang diterima reseptor makin berkurang secara linier (Gambar 13), demikian pula untuk jarak

permukiman. Jarak penyebaran hingga 50 km dari sumber, akan mengurangi konsentrasi emisi sebesar 87,5%.

Emisi dioksin/furan bersifat akumulasi, sehingga bila tidak dikendalikan, tidak saja generasi kini, tetapi akan mengganggu kesehatan generasi yang akan datang. Emisi dioksin/furan yang hanya berasal dari industri logam besi dan non besi di daerah penelitian hingga tahun 2025 dapat mengakibatkan kenaikan potensi terkena kanker sejumlah 1092 orang dan kasus kematian sebanyak 175 kasus bila tidak dilakukan tindakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kasus kanker dan konsentrasi di ambien mempunyai hubungan yang linier. Informasi ini harus disampaikan kepada masyarakat melalui media massa (kampanye publik) oleh kementerian Lingkungan Hidup bekerjasama dengan Departemen Kesehatan (menyangkut kesehatan masyarakat) dan Departemen Perindustrian (menyangkut industri-industri yang mengeluarkan emisi). Informasi ini harus dilengkapi dengan data-data mengenai kerugian sosial.

Dalam pelaksanaan aspek-aspek di atas yang terkait dengan kebijakan harus melibatkan antar instansi, koordinasi dengan departemen-departemen terkait menjadi agenda pemerintah yang utama, yaitu Departemen Perindustrian, Kementerian Lingkungan Hidup, Departemen Kesehatan, serta Departemen Perdagangan. Hal ini sesuai dengan hasil model alternatif kebijakan bahwa keterlibatan instansi-instansi mempunyai bobot tertinggi untuk kriteria pemerintahan (Lampiran 21). Harus ada tanggung jawab dan wewenang dari masing-masing instansi, pemerintah pusat, pemerintah daerah, industri, dan masyarakat. Pemerintahpun harus dapat mengeluarkan kebijakan yang tidak merugikan masyarakat ataupun kalangan industri. Kebijakan pengendalian emisi tidak dapat berlaku selamanya, harus diadakan peninjauan kembali kebijakan yang sedang berjalan secara berkala.

Kerjasama yang baik antara pemerintah dan kalangan industri pada kasus dioksin/furan di AS, ternyata AS dapat mengurangi emisi dioksin sebesar 99% dari tahun 1987 hingga sekarang, hal ini disebabkan karena pemerintah AS mengeluarkan peraturan yang ketat yang harus dipatuhi oleh kalangan industri. Pengurangan terbesar disebabkan oleh perubahan teknologi untuk insinerator yang merupakan sumber terbesar emisi dioksin/furan di Amerika (Chlorine Chemistry Division of the American Chemistry Council, 2007). Selain insinerator, sumber dioksin juga berasal dari *societal sources*

(misal, pembakaran sampah di udara terbuka) dan *natural sources* (misal, kebakaran hutan). Untuk mengatasi hal itu, US-EPA melakukan kampanye-kampanye yang dimaksudkan untuk mendidik masyarakat agar lebih menyadari akan bahaya dioksin pada lingkungan dengan tidak membakar sampah sembarangan.

Di Jepang, pengendalian emisi dioksin merupakan agenda nasional yang ditangani langsung pemerintah. Direncanakan penurunan emisi dioksin mencapai 90% mulai dari 1997 hingga 4 tahun ke depan, dengan melakukan *monitoring* dan evaluasi tiap tahun (Environment Agency of Japan, 1999). Kebijakan yang digunakan lebih mengarah pada CAC, dengan peraturan-peraturan dan standar-standar yang dikeluarkan pemerintah, selain itu Jepang menggunakan instrumen pajak untuk mekanisme investasi fasilitas. UNEP juga mengusulkan, pengendalian emisi dioksin/furan dapat dilakukan dari kalangan industri sendiri, yaitu secara primer ataupun sekunder (UNEP Chemicals, 1999). Kalangan industri dapat memilih cara pengendalian dengan teknologi yang terbaik secara efektif dan efisien.

Indonesia dapat mencontoh Amerika dan Jepang dalam pengendalian emisi dioksin/furan. Selain menetapkan TDI dan baku mutu ambien, pemerintah beserta industri dapat menyepakati peraturan-peraturan mengenai operasional industri yang menggunakan pembakaran atau industri yang berpotensi mengeluarkan emisi dioksin/furan, misalnya pada pengaturan temperatur pembakaran atau tinggi cerobong. Penetapan baku mutu atau konsentrasi ambien, sebaiknya ditetapkan berdasarkan penelitian yang lebih spesifik, demikian pula untuk TDI yang juga sangat bergantung pada kondisi dan kesehatan masyarakat setempat.

Berdasarkan kebijakan makro dan mikro yang telah dikaji, maka instrumen kebijakan yang digunakan adalah gabungan antara CAC dan IE. Menurut Konvensi Stockholom, emisi dioksin/furan merupakan emisi yang harus dieliminasi dari sumber (dalam penelitian ini adalah industri), maka dapat dilakukan pengendalian/monitor terhadap industri tersebut. Pemerintah harus membuat peraturan-peraturan yang ketat untuk pengendalian emisi yang dikeluarkan industri, sehingga CAC merupakan instrumen yang harus dilaksanakan dengan ditunjang IE. Pemerintah dapat menyarankan teknologi terbaik yang harus digunakan (*Best Availabel Technology*, BAT) untuk industri tersebut. Sesuai dengan Konvensi Stockholm (2001) pula, pada pengendalian

dioksin/furan selain dilakukan dengan BAT, juga dibarengi dengan *Best Environmental Practise* (BEP) yang merupakan kombinasi antara perencanaan dan pengendalian terhadap lingkungan.

UNIVERSITAS TERBUKA

VIII KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diuraikan beberapa kesimpulan yang merupakan hasil inti dari keseluruhan hasil telaah yang telah dilakukan untuk menjawab tujuan yang telah diuraikan dalam bab awal disertasi ini. Beberapa kesimpulan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Estimasi emisi dioksin/furan ke udara yang berasal dari industri logam di kawasan Cilegon sebesar 9,38–13,54 gTEQ per produksi 1,874–2,152 juta ton per tahun. Emisi dioksin/furan dari 1 juta ton produksi besi baja sebesar 1-6,5 gTEQ dan produksi logam lainnya mengeluarkan emisi 0,03–0,3 gTEQ. Paparan per orang/hari/kg bb telah cukup tinggi.
2. Model dinamik untuk mengukur tingkat dampak emisi dioksin/furan terhadap faktor lingkungan, sosial dan ekonomi berhasil dibangun dan dapat dilakukan simulasi untuk menghitung dampak emisi tersebut. Berdasarkan baseline tahun 1995, maka untuk 30 tahun ke depan emisi dioksin/furan di daerah Cilegon Serang menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan, yaitu sebesar 278% hingga akhir tahun 2025. Jika tidak dilakukan kebijakan apa-apa, maka hingga tahun 2025, banyaknya potensi kasus kanker 1092 kasus, kasus kematian sebanyak 175 kasus, terjadi tingkat degradasi udara hingga 0,495, nilai *social cost* sebesar Rp.5,863-358,162 Milyar, dan keuntungan bersih industri mencapai Rp.178,1– 422,4 Milyar dari tahun 1995-2025.
3. Pada kurun waktu 1995-2025, pengurangan emisi sebesar 46,1% akan berdampak terhadap pengurangan laju degradasi sebesar 0,63–3,75%, konsentrasi ambien 5,61-80,01%, menurunkan potensi kanker dan kematian sebesar 69%, mengurangi keuntungan bersih sebesar 4,25-6,79% dan mengurangi *social cost* 7,69–16,27% dari keuntungan bersih. Peningkatan produksi 3,8% dengan pengurangan emisi 46,1% akan berdampak pada peningkatan keuntungan bersih sebesar 3,83–50,12%, manfaat bersih sebesar 4,16–50,07% dan *abatement cost* 0,20–26,19%. Adanya pengurangan

emisi hanya akan sedikit mengurangi keuntungan bersih industri. Dalam hal ini peran serta pemerintah yang dituangkan dalam kebijakan-kebijakan sangat dibutuhkan agar industri bersedia mengeluarkan *social cost* ataupun *abatement cost*.

4. Alternatif kebijakan berbasis lingkungan dengan pengurangan emisi memberikan dampak terkecil berdasarkan model alternatif kebijakan bila dibandingkan dengan kebijakan berbasis ekonomi dan *Do Nothing*. Pengendalian pencemaran dioksin/furan dapat dilakukan dengan menerapkan kebijakan gabungan antara sistem *Command and Control* (CAC) yaitu dengan penetapan standar teknologi, konsentrasi di ambien dan emisi maksimum yang diperbolehkan; dan sistem instrumen ekonomi (EI) yaitu penetapan denda. Dana yang dihasilkan dari denda harus dikembalikan untuk keperluan perbaikan lingkungan. Perlu mekanisme penyaluran dan pemanfaatan dana perbaikan lingkungan. *Best Available Technology* (BAT) dan *Best Environmental Practices* (BEP) yang diusulkan pada Konvensi Stockholm secara signifikan dapat mengurangi dampak pencemaran yang diakibatkan emisi dioksin/furan.

Walaupun tujuan penelitian telah dapat dicapai, namun bagaimanapun hasil penelitian ini tentu saja masih belum sempurna karena berbagai keterbatasan baik yang berkaitan dengan kondisi data yang ada, maupun keterbatasan dalam pengembangan model yang kemungkinan masih dapat lebih komprehensif lagi. Dari penelitian dapat disampaikan beberapa saran yang berkaitan dengan pengembangan penelitian lanjutan sebagai berikut:

- Untuk penelitian lanjutan, jika memungkinkan maka perlu dilakukan pengukuran langsung dioksin/furan sebagai data pembanding atau digunakan zat antara agar konsentrasi yang terukur dapat menjadi lebih besar. Penentuan zat antara untuk industri logam besi dan non-besi juga memerlukan penelitian lebih lanjut.
- Pemerintah harus melakukan penelitian yang lebih spesifik untuk menetapkan standar konsentrasi ambien dan TDI bagi masyarakat Indonesia.
- Penelitian untuk dampak terhadap sosial ataupun kesehatan sebaiknya dilakukan dengan memonitor langsung kondisi masyarakat setempat oleh dinas kesehatan setempat.

- Model yang dikembangkan dari hasil studi ini dapat dijadikan landasan kebijakan bagi pengendalian emisi dioksin/furan, khususnya industri besi/baja. Untuk verifikasi model dapat digunakan *expert system*.

UNIVERSITAS TERBUKA

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi M. 1999. Dioksin ada di sekitar kita. *Ekolita: Majalah Manajemen Mutu, Lingkungan dan Appraisal*. Edisi 5. Jakarta.
- Ackerman F. 2003. The outer bounds of the possible: economic theory, precaution, and dioxin. *Organohalogen Comp* 65:378-381.
- Aritonang VP. 1999. Insinerator, sumber dioksin ?. *Ekolita: Majalah Manajemen Mutu, Lingkungan dan Appraisal*. Edisi 5. Jakarta.
- Belton V dan TJ Stewart. 2002. Multiple Criteria Decision Analysis An Integrated Approach. Kluwer Academic Publisher. USA.
- BPS. 2003. Cilegon dalam Angka 2002. Kerjasama dengan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Cilegon. Badan Pusat Statistik Kota Cilegon.
- BPS. 2003a. Serang dalam Angka 2002. Kerjasama dengan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Cilegon. Badan Pusat Statistik Kota Cilegon.
- BPS. 2004. Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2003. Biro Pusat Statistik. Jakarta-Indonesia.
- BPS. 2004a. Banten dalam Angka 2003. Kerjasama Badan Perencanaan Daerah Propinsi Banten dan Badan Pusat Statistik Propinsi Banten. Badan Pusat Statistik Propinsi Bnaten. Banten.
- BPS Kota Cilegon. 2004. Indeks Pembangunan Manusia Kota Cilegon 2003. Kerjasama BPS Kota Cilegon dengan Badan Perencana Daerah Kota Cilegon. Indonesia.
- BPS Kota Cilegon. 2004a. Indikator Kesejahteraan Rakyat Kota Cilegon 2003. Kerjasama BPS Kota Cilegon dengan Badan Perencana Daerah Kota Cilegon. Indonesia.
- BPS Kota Cilegon. 2004b. Interpretasi Tabel Input-Output Kota Cilegon 2003. BPS Kota Cilegon dan Badan Perencana Daerah Kota Cilegon. Cilegon.
- BPS-Bappenas. 2005. Proyeksi Penduduk Indonesia 2000-2025. BPS-Bappenas dan UNFPA. Indonesia.
- BPS. 2005. Indikator Kesejahteraan Rakyat 2004. Badan Pusat Statistik. Jakarta-Indonesia.

- BPS Kabupaten Serang. 1998. Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Serang Tahun 1993-1997. Kerjasama BPS Serang dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat II Serang. BPS Kabupaten Serang.
- BPS Kabupaten Serang. 2000. Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Serang Tahun 1998-1999. Kerjasama BPS Serang dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat II Serang. BPS Kabupaten Serang.
- BPS Kabupaten Serang. 2001a. Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Serang Tahun 1998-2000. Kerjasama BPS Serang dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat II Serang. BPS Kabupaten Serang.
- BPS Kabupaten Serang. 2001b. Produk Domestik Regional Bruto Kota Cilegon Tahun 2000-2002. Kerjasama BPS Serang dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat II Serang. BPS Kabupaten Serang.
- BPS Kabupaten Serang. 2003. Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Serang Tahun 1998-2000. Kerjasama BPS Serang dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat II Serang. BPS Kabupaten Serang.
- BPS Kabupaten Serang. 2005. Produk Domestik Regional Bruto Kabupaten Serang Tahun 2000-2004. Kerjasama BPS Serang dan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Tingkat II Serang. BPS Kabupaten Serang.
- Chlorine Chemistry Division of American Chemistry Council. 2007. Trends in dioxin emission and exposure in United States. <http://www.DioxinFacts.org>. [10/11/2008].
- Colls J. 2002. *Air Pollution*. Spon Press. London
- Connell DW dan GJ Miller. 1995. *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*. UI Press. Jakarta.
- [CWS]. Canada-wide Standards. 1999. Socio-economic analysis for dioxin and furans: Summary by Priority Sector. http://www.ccme.ca/initiatives/standards.html?category_id=51 [12/9/2004].
- Depkes (Departemen Kesehatan) dan Kesejahteraan Sosial. 2002. digilib.menlh.go.id/go.php?id=jkpkbppk-gdl-res-2000-padapotan-26-plants&PHPSESSID=8b974d37bd614231fc4 [23/11/2006].
- Eduljee G. 2000. Legislative Council Joint Panel on health services and environmental affairs report on dioxin emission. Paper No. CB(2)1845/99-00(01). <http://legco.gov.hk/yr99-00/english/panels/ea/papers/1845e01.pdf> [23/11/2006]

- Energy Institute London. 2004. UK oil refining and the atmospheric emission of dioxins. A briefing paper. Energy Institute. London.
- Entex. 2003. Department for environment, food, and rural affairs, Development of UK cost curves for abatement of dioxin emission to air.
<http://www.defra.gov.uk/corporate/consult/dioxin-two/report2.pdf> . [3/12/2006].
- Environment Agency of Japan. 1999. Law concerning special measures against dioxins, (Law No. 105 of 1955. Promulgated on July 16, 1999). Office of Environmental Risk Assessment, Environmental Health and Safety Division, Environmental Health Department. Japan.
- [EPA]. Environment Protection Agency. 2003. Evaluating Atmospheric Releases Dioxin-Like Compounds from Combustion Sources.
http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin/nas-review/pdfs/part1_vol3/dioxin_pt1_vol3_ch03_dec2003.pdf [6-2-2006].
- Eriyatno. 2003. *Ilmu Sistem Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen*. IPB Press. Bogor.
- Esposito MP, HM Drake, JA Smith dan TW Owens. 1980. Dioxins: Volume I. Sources, exposure, transport and control. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati.
<http://www.nal.usda.gov/speccoll/findsaids/agentorange/text/05331.pdf> [3/3/2008].
- European Commission. 2001. Community strategy for dioxin, furan and polychlorinated biphenyls, COM (2001) 593 final.
http://europa.eu.int/eur.lex/en/com/pdf/2001/com2001_0593en01.pdf [25/12/2005]
- Fauzi A. 2004. *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan Teori dan Aplikasi*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Fauzi A dan S Anna. 2005. *Pemodelan Sumber Daya Perikanan dan Kelautan untuk Analisis Kebijakan*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Fauzi A. 2005. Materi Kuliah Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan. Bogor.
- Field BC dan MK Field. 2002. *Environmental Economics: An Introduction. 3th Ed*. McGraw-Hill. New York.
- Ford A. 1999. *Modeling the Environment, An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems*. Island Press. USA.

- Friedman LS. 2002. *The Microeconomics of Public Policy Analysis*. Princeton University Press. USA.
- GDP Country. 2007. http://country.alibaba.com/profiles/UK/United_Kingdom/economics-indicators.htm [26/05/2007].
- Gorman S dan E Tynan. 2003. Environment strategy notes: Persistent Organics Pollutants- a legacy of environmental harm and threats to health. No. 6 May 2003. <http://www.worldbank.org/pops> [23/2/ 2004].
- Government of Japan. 2003. Dioxin. Council of Ministries and Agencies on Dioxin Policy. <http://www.env.go.jp/en/chemi/dioxins/brochure2003.pdf> [7/3/2008].
- Grebot B dan C Corden. 2004. Environmental Services Association Dioxin and PAH Cost curve. Entec UK Limited. England.
- Grochowalski A. 2002. Result of dioxin emission measurements from thermal processes in Poland 1996-2002. http://www.dioksyny.pl/files/Results_from_measurements_Poland_2002_Odense.pdf [23/11/2006]
- Gullet BK, KR Bruce, LD Beach. 1990. The effect of metal catalysts on the formation of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and polychlorinated dibenzofurans precursors. *Chemosphere*. 20 (10-12):1945-1952. Pergamon Press. Great Britain.
- Gustafsson J, A Salo, T Gustafsson. 2001. PRIME Decision: An alternative tool for value tree analysis. <http://www.sal.hut.fi/Publication/pdf-files/pgus01.pdf> [6/6/2007].
- Ha-Duong M dan N Treich. 1999. Uncertainty and intergenerational equity in the global warming problem: A recursive preference approach. CIRED-CNRS. Paris.
- Hagen PE dan MP Walls. 2005. The Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. *Natural Resources & Environment*. Vol. 19.(4):49-52. American Bar Association. <http://www.bdlaw.com/assets/attachments/67.pdf> [25/11/2007].
- Hamonangan E, A Kondo, A Kaga, Y Inoue, S Soda, K Yamaguchi. 2003. Simulation and monitoring of sulfur dioxide and nitrogen oxide in the Jakarta Metropolitan area. <http://moon.env.eng.osaka-u.ac.jp/2003/jakarta.pdf>, [6/09/ 2005]
- Hart A, M Holmes, G Smith, M Rose, R Macarthur, S White. 2003. Accounting for uncertainty in risk analysis of dioxins in seafood. Central Science Laboratory. UK. http://www.jifsan.umd.edu/presentations/csljifsan2003/andy_hart_2003.pdf . [17/07/2005].

- Hayter R. 2000. External economies of scale.
<http://insidewinme.blogspot.com/2008/01/external-economics-of-scale.html>
[16/3/2008]
- Hoyt G. 2003. *Ordinary Least Square*.
<http://gattan.uky.edu/faculty/hoyt/g391/handout3.26.doc> . [31/1/2005].
- Hung MF dan D Shaw. 2005. Economic growth and environmental Kuznet curve in Taiwan: a simultaneity model analysis.
<http://www.sinica.edu.tw/econ/dshaw/download/ekc.pdf> . [21/5/2005].
- Imamura K. 2003. Penanganan zat kimia di Jepang: zat pencemar udara dan analisisnya.
http://www.menlh.go.id/apec_vc/osaka/eastjava/seminar2003/4.pdf [5/12/2004].
- IPCC. 2000. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventory, Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventory Programme, Technical Support Unit, Japan. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english> . [21/04/2006]
- Japanese Advanced Environment Equipment. 2006. Dioxin reduction system in effluent.
http://www.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE_6/html/Doc_560.html .
[10/03/2006].
- Jerman M. 2003. Dioxin and furan inventory in Republic of Croatia (Summary). EKONERG-Energi and Environmental Protection Institute, Ltd., Zagreb.
http://www.cro-cpc.hr/projekti/pops/PCDD_PCDF%20Sazetak_eng.pdf
[12/9/2004].
- Jin J, H Peng, T Xiaoyan. 2004. An inventory of potential PCDD and PCDF emission sources in mainland of China. *Organohalogen Comp* (66):852-858.
- Kicham P. 2002. Air Quality Management. Nonthaburi.
http://www.unescap.org/esd/environment/kitakyushu/urban_air/Nothaburi.pdf.
[06/03/2007].
- Kimia FMIPA-UI. 2004. Studi penyusunan baku mutu dioksin furan. Laporan akhir. Kerjasama Proyek Pengendalian Sumber Institusi Kementerian Lingkungan Hidup RI dan Kimia FMIPA-UI. Jakarta.
- Kishimoto A, T Oka, K Yoshida, J Nakanishi. 2001. Socio economic analysis of dioxin reduction measures in Japan.
[http://risk.kan.ynu.ac.jp/rmg/ws2001/Kishimoto_slide.pdfabst\(E\).pdf](http://risk.kan.ynu.ac.jp/rmg/ws2001/Kishimoto_slide.pdfabst(E).pdf) .
[17/7/2005]

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 13 tahun 1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber tak Bergerak

Kobayashi N, K Nakata, T Eriguchi, F Horiguchi, J Nakanishi, S Masunaga. 2004. Application of a mathematical model to predict dioxin concentration in the Tokyo Bay Estuary. *Organohalogen Comp* (66):2366-2372.

Kobylecki RP, K Ohira, I Ito, N Fujiwara, M Horio. 2001. Dioxin and fly ash free incineration by ash pelletization and reburning. *Environ Sci Technol* (35):4313-4319.

Larson BA dan S Rosen. 2000. Household benefits of indoor air pollution control in developing countries. http://pdf.dec.org/pdf_docs/Pnaen655.pdf . Washington, DC. [06/02/2007]

Liu DHF dan BG Liptak. 2000. Air Pollution. Lewis Publisher. USA.

Lvovsky K, G Hughes, D Maddison, B Ostro, D Pearce. 2000. Environmental costs of fossil fuels, a rapid assessment method with application to six cities. The World Bank Environment Department.

Matsushita M. 2003. Enabling facilities to facilitate early action on implementation of the Stochkolm Convention on organics pollutants (POPs) in Indonesia, *Makalah pada Workshop Sosialisasi Hasil Inventarisasi Bahan Kimia POPs di Indonesia*. KLH. Jakarta.

Marimin. 2004. *Teknik dan Aplikasi Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk*. PT Gramedia. Jakarta

Markandya A. 1998. The valuation of health impacts in developing countries. <http://www.ipea.gov.br/pub/ppp18/Parte4.doc> . [06/02/2007]

Millock K dan C Nauges. 2006. Ex Post Evaluation of an Earmarked Tax on Air Pollution. *Land Economics* . 82 (1): 68-84

Muhammadi E, B Aminullah, B Soesilo. 2001. Analisis Sistem Dinamis – Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen. UMJ Press – Pusat Studi Kebijakan dan Dinamika Sistem UMJ. Jakarta.

[NIEHS]. National Institute of Environmental Health Sciences. 2001. Dioxin research at the National Institute of Environmental Sciences (NIEHS). <http://www.niehs.nih.gov/oc/factsheets/dioxin.htm> [4/10/2004].

Olie K, R Addink, M Schoonenboom. 1998. Metal as Catalysts during the Formation and Decomposition of Chlorinated Dioxin and Furans in Incineration Processes. *J Air Waste Man Assoc* (48):101-105

- Ostro B. 1994. Estimating the Health Effects of Air Pollutans: A Method With an Application to Jakarta.
http://wdsbeta.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/TW3P/IB/1994/05/01/000009265_3970716141007/Rendered/PDF/multi0page.pdf. [18/01/06].
- Otles S dan H Yildiz. 2003. Dioxin in food and human health. *Electron. J. Environ. Agric. Food Chem.* 2(5):593-608.
http://ejeafche.uvigo.cs/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=222 [10/3/2008]
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah B3
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 74 tahun 2001 tentang Pengelolaan B3
- Pulles T dan H Kok. 2005. Dioxin Emission in Central Europe: Uncertainties and Projections. TNO Built Environment and Geosciences, TNO Report R&I-A R. The Netherlands. http://www.espremier.uni-stuttgart.de/workshop/papers/Pulles_et_al_Uncertainties%20in%20Dioxine%20Emission%20Inventories.pdf. [26/10/2005].
- [PE-UI]. Pengkajian Energi Universitas Indonesia. 2004. Indonesia Energy Outlook and Statistics 2004. Depok. PE-UI.
- Rabl A dan JV Spadaro. 1998. Health risk of air pollution from incenerators: a perspective. *Waste Man Res Waste* (16):365-388.
- Rabl A dan JV Spadaro. 2002. Health impact of waste inceneration. *Environmental and Science Technology* (18):171-193.
- Rabl A, JV Spadaro, B Van Der Zwaan. 2005. Uncertainty of air pollution cost estimates: to what does it matter. *Environ Sci Technol* 39(2):399-408.
- Rappe C. 1996. Sources and environmental concentrations of dioxins and related compounds. *Pure Appl Chem* 68(9):1781-1789. Great Britain.
- Rao HV, DR Brown. 1990. Connecticut's dioxin ambient air quality standard. *Risk Analysis* Vol. 10(4):597-606. <http://tobaccodocuments.org/pm/2025546090-6099.html> [2/2/2006].
- Resource Futures International for the World Bank and CIDA. 2001. Persistent Organic Pollutants and the Stockholm Convention: A Resource Guide.

http://siteresources.worldbank.org/INTPOPS/214574_1115813449181/20486510/PersistentOrganicPollutantsAResourceGuide2001.pdf [3/1/2008].

- Reyes AT. 2005. Final national implementation plan for Stockholm Convention on POPs. http://www.pops.int/documents/implementation/nips/submission/NIP_Philippines.pdf . [21/11/2007].
- Rodan BD dan DH Cleverly. 2002. Polychlorinated dioxins and furans: sources, emission, and levels. http://www.chem.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/bangkok/DIOXRODA.html [26/8/2004].
- Rufo dan Rufo Jr. 2004. Clean incinerator of solid waste: a cost- benefit analysis for Manila. Economy and Environment Program of Southeast Asia. Singapore.
- Sanim B. 2004. Valuasi Ekonomi (Economic Valuation) dalam pemanfaatan Sumberdaya Alam (SDA) bagi pendekatan Pembangunan Berkelanjutan. IPB. Bogor.
- Schweitzer P. 2001. Expected utility theory and some extensions. University of London School of Economics, Mathematics, and Statistics. London. <http://www.econ2.uni-bonn.de/schweitzer/pdf/Diss.LSE.pdf> . [1/8/2005].
- Schnelle KB dan P Dey. 1999. Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide. McGraw-Hill. New York.
- Shah JJ, T Nagpal, CJ Brandon. 1997. Urban Air Quality Management Strategy in Asia Guidebook The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington-USA.
- Situs Pemerintah Propinsi Banten. 2005. Kawasan Industri di Wilayah Banten. http://www.banten.go.id/ekbang_k_industri.php [23/12/2005]
- Situs Krakatau Steel. 2005. www.krakatausteel.com. [23/12/2005]
- Smit R. 2004. Dioxin emission from motor vehichels in Australia – Technical Report No. 2. Australian Government Departement of the Environment and Heritage. <http://www.deh.gov.au/industry/chemicals/dioxins/report-2/dioxinemissionfromroadtraffic.html> [12/12/2004].
- Soedomo M. 2001. Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara. Penerbit ITB. Bandung
- Spash CL dan S Mc. Nally. 2001. Managing Pollution, Economic Valuation and Enviromental Toxicology. Edwar Elgar. USA.
- Soemarwoto O. 2004. Atur Diri Sendiri, Paradigma Baru Pengelolaan Lingkungan Hidup. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.

- Soesilo TEB. 2005. Pengendalian limbah dioksin dengan pemanfaatan bahan pemutih ramah lingkungan . Disertasi Program Doktor dalam Ilmu Lingkungan. PS Kajian Ilmu Lingkungan Pasca Sarjana Universitas Indonesia. Jakarta.
- Statistics Indonesia. 2007. Inflasi di 45 kota, per Tahun 2001-2005.
http://www.datastatistik-indonesia.com/component/option.com_tabel/kat,10/idthabel,1214. [03/04/2007].
- Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. 2001. Swedia.
http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf [21/2/2004].
- Sumaiku Y. 2004. Apa akibatnya dari pembakaran sampah di pekarangan rumah tangga dan pembakaran/kebakaran hutan terhadap kesehatan.
<http://www1.bpk.penabur.or.id/kps-jkt/sehat/sampah.htm> [2/9/2004].
- Suminar SA. 2003. Estimasi emisi dioksin dan furan. *Hasil penelitian disampaikan pada Enabling Activities to Facilitate Early Action on the Implementation of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs) in Indonesia. Workshop Hasil Inventarisasi POPs*. UNIDO. KLH. Jakarta.
- Suparmoko. 1997. Ekonomi Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Suatu Pendekatan Teoritis). PT BPFY-Yogyakarta. Yogyakarta.
- Suparmoko M dan MR Suparmoko. 2000. *Ekonomika Lingkungan: edisi pertama*. BPFY. Yogyakarta.
- Susandi A. 2004. The impact of International greenhouse gas emission reduction on Indonesia. Dissertation zur Erlangungdes Doctorgrades der Naturwissenschaften im Fachbereich Geowissenschaften der Universitat Hamburg. Hamburg.
- Syahril S, BP Resosudarmo, HS Tomo. 2002. *Study on Air Quality in Jakarta, Indonesia: Future Trends, Health Impacts, Economic Value and Policy Options*. ADB.
- The Chlorine Chemistry Council. 2002. A comparison of dioxin risk characterizations.
http://www.dioxinfacts.org/dioxin_health/dr.pdf [29/11/2004].
- The People's Republic of China. 2007. National implementation plan for the Stockholm Convention on persistent organic pollutants.
http://www.pops.int/documents/implementation/nips/submission/China_NIP_En.pdf [21/11/2007].
- Toxic Air Contaminant Identification. 1997. Chlorinated dioxins and dibenzofurans.
<http://www.nmenv.state.nm.us/aqb/projects/openburn/CAchemfacts/dioxin.pdf> [7/3/2008]

Trends in Japan. 1997. Yearning to breathe free: Japan to regulate dioxin emission. <http://web-japan.org/trends98/honbun/ntj971013.html> . [14/3/2006].

Triantaphyllou E dan A Sánchez. 1997. A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision making methods. *Decision Sciences*. 28 (1), 151-194.

Undang Undang Nomor 5 tahun 1985 tentang Perindustrian

UNEP Chemical. 1999. Dioxin and Furan Inventories National and Regional Emissions of PCDD/PCDF. Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals. Geneva-Switzerland.

UNEP. 2003. Standardized toolkit for identification and quantification of dioxin and furan releases. Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals. Geneva-Switzerland. http://www.pops.int/documents/guidance/Toolkit_2003.pdf . [2/9/2004].

UNEP Chemical. 2003. Formation of PCDD and PCDF – an overview. Geneva, Switzerland. http://www.pops.int/documents/meetings/bat_bep/1st_session/EGB1_INF12doclist.pdf . [27/12/2006].

[USEPA]. United States Environmental Protection Agency. 2000. Estimating exposures and risks. <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin/part1/volume4/chapter2.pdf> [26/10/2005].

Warlina L. 2008. Estimasi emisi dioksin/furan dan faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi emisi ke udara yang berasal dari industri logam. *J. Matematika Sains dan Teknologi*. 8 (1).

Warlina L. 2008. Kebijakan manajemen lingkungan untuk emisi dioksin/furan yang bersumber dari industri logam. *J. Organisasi dan Manajemen*. 4 (1).

Widyatmoko H. 1999. Masalah pencemaran dioksin. <http://www.partaihijau.or.id/five-artikel1.html> [2/9/2004].

Weimer DL dan AR Vining. 1999. Policy Analisis concept and practice. Prentice Hall. New Jersey.

Wikipedia. 2005. Kuznet curve. http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_Kuznets_Curve . [5/8/2005].

Wikipedia. 2006. Monte Carlo method. http://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method . [21/4/2006].

- Wikipedia. 2007. Daftar Negara menurut PDB (PPP) per kapita. http://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_negara_menurut_PPDB_%28PPP%29_per_kapita. [12/3/2008].
- World Bank Group. 1998. Pollution Prevention and Abatement Handbook. Environmental Fund. [http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/ppah_finanEnviroFunds/\\$FILE/HandbookEnvironmentalFunds.pdf](http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/AttachmentsByTitle/ppah_finanEnviroFunds/$FILE/HandbookEnvironmentalFunds.pdf). [12/12/2007].
- Yudomustopo H. 2003. Kajian tentang peraturan perundang-undangan, infrastruktur dan kelembagaan yang berkaitan dengan cemaran organik persisten (POP). *Hasil penelitian disampaikan pada Enabling Activities to Facilitate Early Action on the Implementation of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POP's) in Indonesia*. Workshop Hasil Inventarisasi POPs. UNIDO. KLH. Jakarta
- Yun. 1 Oktober 2003. Upaya atasi polusi dioksin dari insinerator. *Kompas*. <http://www.kompas.com/kompas-cetak/0310/01/fotek/596659.htm>. [2/9/2004].

UNIVERSITAS TERBUKA

LAMPIRAN

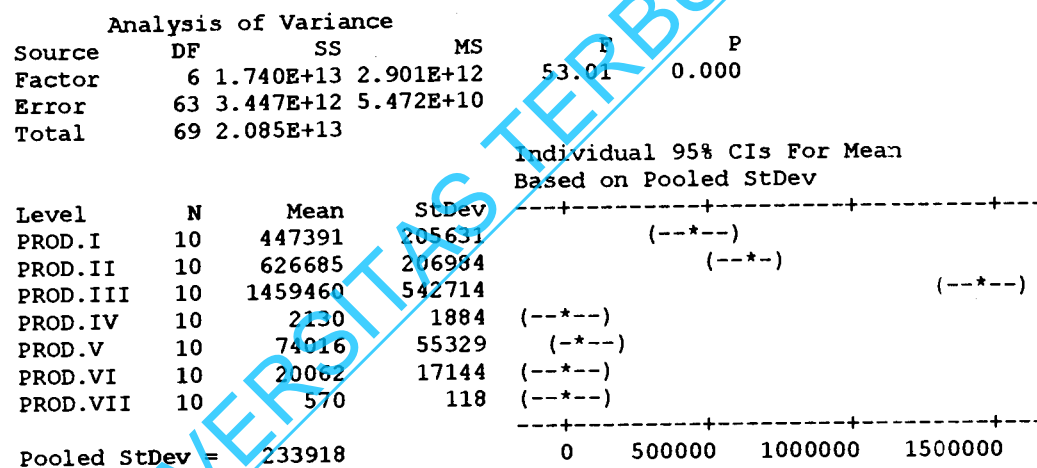
UNIVERSITAS TERBUKA

Lampiran 1 Tabel Kestabilan cuaca berdasarkan Pasquil

Kec. angin (m/dt)	Day time sun (flux density) in W/m ²			Night time (cloud amount) in oktas		
	Kuat	Moderate	Lemah	8	4 - 7	0 - 3
< 2	A	A - B	B	D	G	G
2 - 3	A - B	B	C	D	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D	D

Sumber: Colls (2002)

Lampiran 2 ANOVA dari Industri I – Industri VII



Lampiran 3 Data nilai produksi

HARGA PRODUKSI INDUSTRI

TAHUN	INDUSTRI						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1995	Produksi(ton)	368,595	464,663	1,170,150	5,837	24676.06681	4,517
	Nilai Prod.(rb.Rph)	279,909,883	567,310,680	899,182,820	20,685,401	3,838,097,991	16,177,864
	Harga per ton	759	1,221	768	3543.686404	155539.2932	3581.908456
1996	Produksi(ton)	1,010,754	1,198,867	2,934,188	1437	31235.52761	5,790
	Nilai Prod.(rb.Rph)	637,898,625	1,169,320,000	1,138,440,000	6746780	971,670,378	20,740,851
	Harga per ton	631.1116503	975.3542303	405.0319884	4695.045233	31107.85865	3581.908456
1997	Produksi(ton)	473,903	597,417	1,504,463	912	42210.17244	7,424
	Nilai Prod.(rb.Rph)	359,880,338	729,391,750	1,156,000,000	3,231,842	1,313,068,078	26,590,835
	Harga per ton	759.3966234	1220.90893	768.4336537	3543.686404	31107.85865	3581.908456
1998	Produksi(ton)	305,462	553,894	1,332,633	432	52,111	9,165
	Nilai Prod.(rb.Rph)	504,442,402	1,182,466,058	2,464,590,668	5,895,760	1,621,071,701	32,828,191
	Harga per ton	1651.408038	2134.823735	1849.414406	13647.5939	31107.85865	3581.908456
1999	Produksi(ton)	317,643	586,633	1,485,472	112	63159.124	10,166
	Nilai Prod.(rb.Rph)	467,747,518	1,308,909,360	2,253,935,741	1,124,598	1,721,081,714	1,678,324
	Harga per ton	1472.55702	2231.223542	1517.320002	10025.83578	27249.9301	165.0977608
2000	Produksi(ton)	430,422	618,320	1,460,623	221	87,177	11,795
	Nilai Prod.(rb.Rph)	708,843,006	1,477,179,002	2,431,133,179	2,216,316	416,192,617	58,977,132
	Harga per ton	1646.85589	2389.020252	1664.449471	10025.85723	4774.103712	4999.998474

Lampiran 3 (Lanjutan)

HARGA PRODUKSI INDUSTRI

TAHUN	INDUSTRI						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
2001	Produksi(ton)	422988.5	567639.5	1326128	1934.2545	70758.241/139161.6	20867.07717
	Nilai Prod.(rb.Rph)	696601102.7	14024925.1	2207273047	15267130	2,006,091,781	104335354
	Harga per ton	1646.85589	2389.02052	1664.449471	7893.030622	14415.55559	4999.998474
2002	Produksi(ton)	415,555	555,759	1,191,633	3,647,509	555,759	35980.92137
	Nilai Prod.(rb.Rph)	806,302,052	1,551,518,008	2,424,814,749	42,902,003	1,551,518,008	263,533,430
	Harga per ton	1940.30165	2791.71009	2037.349514	11.76200059	2791.71009	7324.254631
2003	Produksi(ton)	321,979	495,608	1,000,152	3123,409	17,287	47457.848
	Nilai Prod.(rb.Rph)	698,031,632	1,597,989,892	2,134,114,175	43,902,113	158,724,330	347,593,363
	Harga per ton	2167.941487	3224.302053	2133.789839	14055.93227	9181.716319	7324.254631
2004	Produksi(ton)	406607	608649	1189153	3647,509	92000	47457.848
	Nilai Prod.(rb.Rph)	1315980218	2644596396	3756427935	42902003	612043850	830433225
	Harga per ton	3236.491792	4345.027094	3158.910531	11762.00059	6652.650543	17498.33294
	Harga rata2 per ton	1,585	2281.475428	1588.681451	7923.477612	33279.21999	5737.730251
						6652.650543	4115.175

Sumber: BPS, hasil survey Ekonomi Industri tahun 1995-2004 (diolah)

Lampiran 4 Data Produksi dan Emisi dari tiap industri

Industri I

Faktor emisi : 10, 3, 0.1, 0.01 ugTEQ/ton

TAHUN	PRODUKSI (ton)	Estimasi emisi tertinggi (gTEQ) f.e = 10 ugTEQ/t	Estimasi emisi terendah (gTEQ) f.e = 0.01ugTEQ/t	Estimasi emisi berdasarkan penelitian (gTEQ) f.e = 10 ugTEQ/t f.e = 3 ugTEQ/t	Keterangan
1995	368595	3.68595	0.00368595	2.3958675	Diasumsikan
1996	1010754	10.10754	0.01010754	6.569901	produksi
1997	473903	4.73903	0.00473903	3.0803695	50% dihasilkan
1998	305462	3.05462	0.00305462	1.985503	dari scraf kotor
1999	317643	3.17643	0.00317643	2.0646795	dan 50% scraf
2000	430422	4.30422	0.00430422	2.797743	bersih
2001	422988.5	4.229885	0.004229885	2.74942525	(pembuatan
2002	415555	4.15555	0.00415555	2.7011075	besi baja)
2003	321979	3.21979	0.00321979	2.0928635	
2004	406607	4.06607	0.00406607	2.6429455	

Industri II

Faktor emisi : 10, 4.3, 1 ugTEQ/ton

TAHUN	PRODUKSI (ton)	Estimasi emisi tertinggi (gTEQ) f.e = 10 ugTEQ/t	Estimasi emisi terendah (gTEQ) f.e = 1ugTEQ/t	Estimasi emisi berdasarkan penelitian (gTEQ) f.e = 1ugTEQ/t	Keterangan
1995	464663	4.64663	0.464663	0.464663	Peleburan besi baja lembaran dingin dengan penyaringan
1996	1198867	11.98867	1.198867	1.198867	
1997	597417	5.97417	0.597417	0.597417	
1998	553894	5.53894	0.553894	0.553894	
1999	586633	5.86633	0.586633	0.586633	
2000	618320	6.1832	0.61832	0.61832	
2001	587039.5	5.870395	0.5870395	0.5870395	
2002	555759	5.55759	0.555759	0.555759	
2003	495608	4.95608	0.495608	0.495608	
2004	608649	6.08649	0.608649	0.608649	

Industri III

Faktor emisi : 10, 3, 0.1, 0.01 ugTEQ/ton

TAHUN	PRODUKSI (ton)	Estimasi emisi tertinggi (gTEQ) f.e = 10 ugTEQ/t	Estimasi emisi terendah (gTEQ) f.e = 0.01 ugTEQ/t	Estimasi emisi berdasarkan penelitian (gTEQ) f.e = 10 ugTEQ/t f.e = 3 ugTEQ/t	Keterangan
1995	1170150	11.7015	0.0117015	7.605975	Diasumsikan produksi 50% dihasilkan dari scraf kotor dan 50% scraf bersih
1996	2934188	29.34188	0.02934188	19.072222	
1997	1504463	15.04463	0.01504463	9.7790095	
1998	1332633	13.32633	0.01332633	8.6621145	
1999	1485472	14.85472	0.01485472	9.655568	
2000	1460623	14.60623	0.01460623	9.4940495	
2001	1326128	13.26128	0.01326128	8.619832	
2002	1191633	11.91633	0.01191633	7.7456145	
2003	1000152	10.00152	0.01000152	6.500988	
2004	1189153	11.89153	0.01189153	7.7294945	

Industri IV

Faktor emisi : 150, 35, 10, 0.5 ugTEQ/ton

TAHUN	PRODUKSI (ton)	Estimasi emisi tertinggi (gTEQ) f.e=150 ugTEQ/t	Estimasi emisi terendah (gTEQ) f.e=0.5 ugTEQ/t	Estimasi emisi berdasarkan penelitian (gTEQ) f.e=150 ugTEQ/t f.e=35 ugTEQ/t	Keterangan
1995	5837	0.87555	0.0029185	0.5399225	Diasumsikan proses produksi aluminium 50% menggunakan scraf Al dengan min. treatment dan 50% scraf dng treatment baik (terkontrol)
1996	1437	0.21555	0.0007185	0.1329225	
1997	912	0.1368	0.000456	0.08436	
1998	432	0.0648	0.000216	0.03996	
1999	112	0.0168	0.000056	0.01036	
2000	221	0.03315	0.0001105	0.0204425	
2001	1934.2545	0.290138175	0.000967127	0.178918541	
2002	3647.509	0.54712635	0.001823755	0.337394583	
2003	3123.409	0.46851135	0.001561705	0.288915333	
2004	3647.509	0.54712635	0.001823755	0.337394583	

Industri V

Faktor emisi : 10, 4.3, 1, 0.03 ugTEQ/ton

TAHUN	PRODUKSI (ton)	Estimasi emisi tertinggi gTEQ f.e=10 ugTEQ/t	Estimasi emisi terendah gTEQ f.e=0.03 ugTEQ/t	Estimasi emisi berdasarkan penelitian gTEQ f.e=0.03 ugTEQ/t	Keterangan
1995	24676.066	0.24676066	0.000740282	0.000740282	Peleburan besi dengan proses menggunakan induction furna- ce
1996	31235.528	0.31235528	0.000937066	0.000937066	
1997	42210.172	0.42210172	0.001266305	0.001266305	
1998	52111.324	0.52111324	0.00156334	0.00156334	
1999	63159.124	0.63159124	0.001894774	0.001894774	
2000	87177.13	0.8717713	0.002615314	0.002615314	
2001	139161.647	1.39161647	0.004174849	0.004174849	
2002	191146.164	1.91146164	0.005734385	0.005734385	
2003	17287	0.17287	0.00051861	0.00051861	
2004	92000	0.92	0.00276	0.00276	

Industri VI

Faktor emisi: 10, 4.3, 1, 0.03 ugTEQ/ton

TAHUN	PRODUKSI (ton)	Estimasi emisi tertinggi (gTEQ) f.e = 10 ugTEQ/t	Estimasi emisi terendah (gTEQ) f.e = 0.03 ugTEQ/t	Estimasi emisi berdasarkan penelitian (gTEQ) f.e = 0.03 ugTEQ/t	Keterangan
1995					Peleburan besi dengan proses menggunakan induction furna- ce
1996	31657	0.31657	0.00094971	0.00094971	
1997	32309	0.32309	0.00096927	0.00096927	
1998	48119	0.48119	0.00144357	0.00144357	
1999	27803	0.27803	0.00083409	0.00083409	
2000	32772	0.32772	0.00098316	0.00098316	
2001	48487	0.48487	0.00145461	0.00145461	
2002	46678	0.46678	0.00140034	0.00140034	
2003	35319	0.35319	0.00105957	0.00105957	
2004	50038	0.50038	0.00150114	0.00150114	
2005	88455	0.88455	0.00265365	0.00265365	

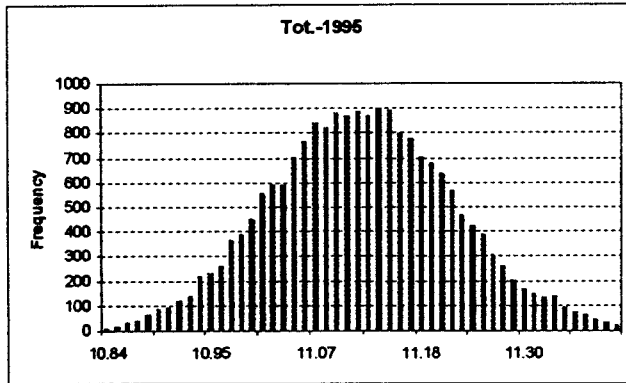
Industri VII

Faktor emisi : 0.3 ugTEQ/ton

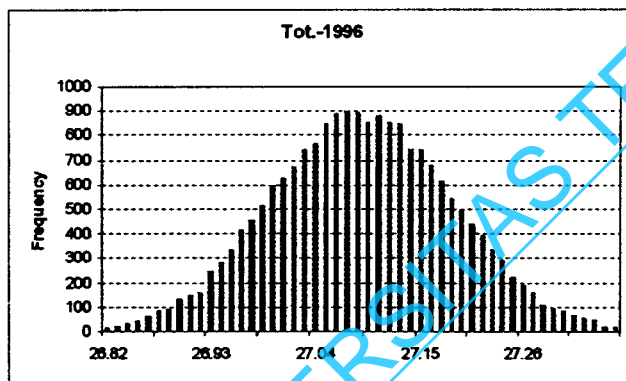
TAHUN	PRODUKSI (ton)	Estimasi emisi tertinggi (gTEQ) f.e = - ugTEQ/t	Estimasi emisi terendah (gTEQ) f.e = - ugTEQ/t	Estimasi emisi berdasarkan penelitian (gTEQ) f.e = 0.3 ugTEQ/t	Keterangan
1995	563.36			0.000169008	Proses pelebu- an zinc (galvanisasi de ngan zinc)
1996	619.56			0.000185868	
1997	552.69			0.000165807	
1998	516.52			0.000154956	
1999	740.03			0.000222009	
2000	400.1			0.00012003	
2001	466.13			0.000139839	
2002	756.24			0.000226872	
2003	622.94			0.000186882	
2004	457.98			0.000137394	
2005	958.85			0.000287655	

UNIVERSITAS TERBUKA

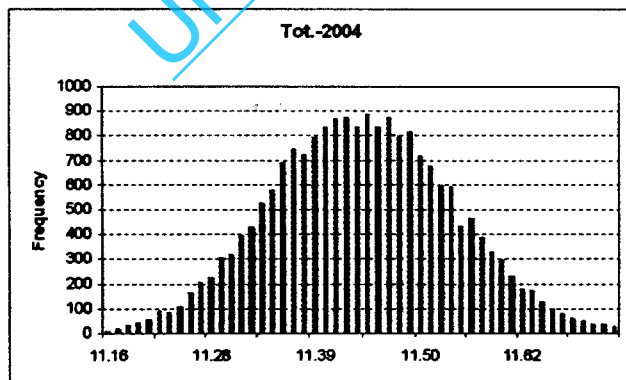
Lampiran 5 Contoh hasil simulasi Monte Carlo emisi dioksin/furan
- Certainty 100%



Statistics:	Forecast values
Trials	20,000
Mode	---
Standard Deviation	0.10
Variance	0.01
Skewness	0.1006
Kurtosis	3.08
Coeff. of Variability	0.0092
Minimum	10.69
Maximum	11.62
Range Width	0.93
Mean Std. Error	0.00



Statistics:	Forecast values
Trials	20,000
Mode	---
Standard Deviation	0.10
Variance	0.01
Skewness	0.0558
Kurtosis	3.03
Coeff. of Variability	0.0036
Minimum	26.72
Maximum	27.49
Range Width	0.77
Mean Std. Error	0.00

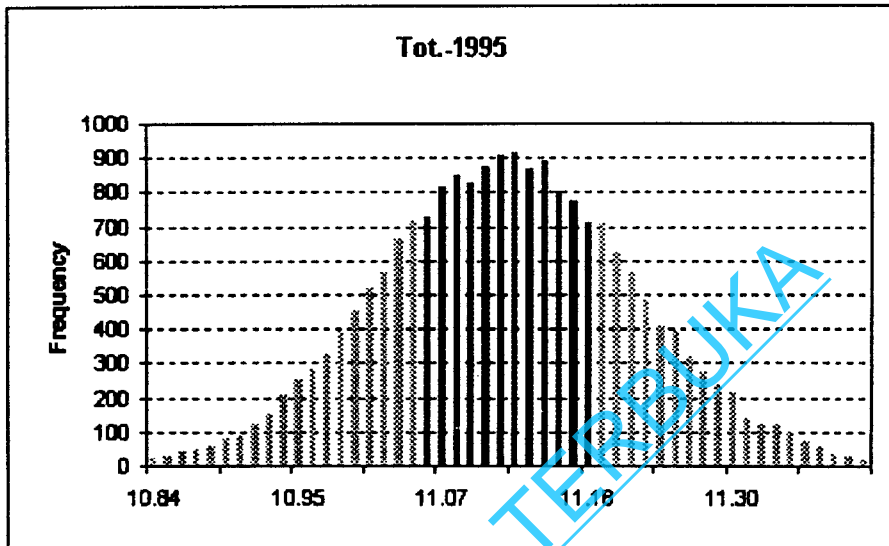


Statistics:	Forecast values
Trials	20,000
Mode	---
Standard Deviation	0.10
Variance	0.01
Skewness	0.0768
Kurtosis	3.01
Coeff. of Variability	0.0089
Minimum	11.03
Maximum	11.86
Range Width	0.82
Mean Std. Error	0.00

- Certainty 50%

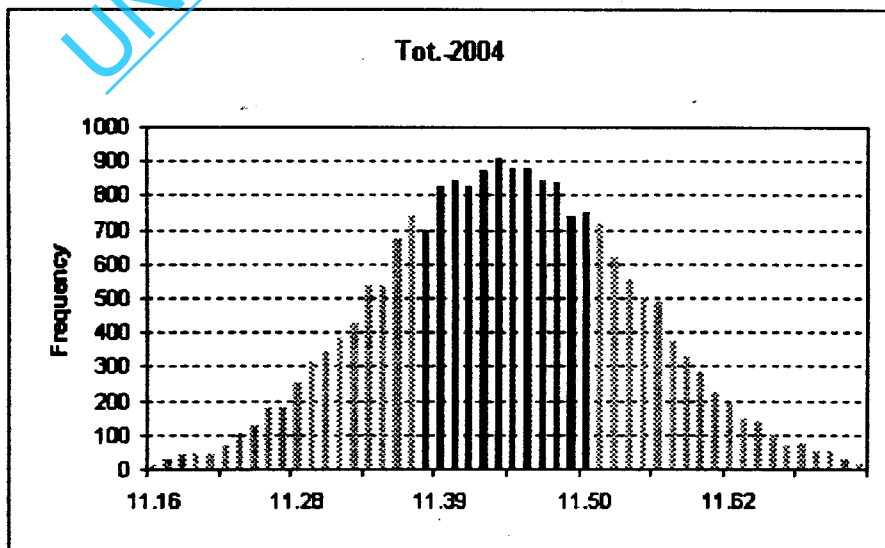
Summary:

Certainty level is 50.000%
Certainty range is from 11.05 to 11.19
Entire range is from 10.71 to 11.57
Base case is 11.01
After 20,000 trials, the std. error of the mean is 0.00



Summary:

Certainty level is 50.000%
Certainty range is from 11.37 to 11.51
Entire range is from 11.04 to 11.90
Base case is 11.32
After 20,000 trials, the std. error of the mean is 0.00



Lampiran 6 Data-data untuk persamaan Dispersi dan perhitungan konsentrasi

Tabel 1 Data Metereologi BMG Serang tahun 1995–2004

TAHUN	KEC. ANGIN RATA- RATA m/dtk	ARAH ANGIN RATA- RATA der	SUHU RATA- RATA °C	BULAN BASA H %	BULAN KERING %	CURAH HUJAN TAHUNAN mm	KELEMBA- BAN %
1995	5.7	268.3	26.4	56.2	43.8	2126	48.8
1996	5.6	195.8	26.4	53.4	46.6	2460	48.3
1997	7.5	113.6	25.7	32.1	67.9	1118	45.3
1998	7.8	224.3	27.0	54.2	45.8	1798	49.8
1999	8.0	202.3	26.4	48.5	51.5	1421	46.8
2000	8.1	242.3	26.5	47.1	52.9	1531	46.3
2001	7.8	261.7	26.4	50.1	49.9	1638	52.1
2002	7.2	273.8	26.9	37.8	62.2	1561	63.3
2003	7.5	179.6	27.0	39.7	60.3	1177	63.3
2004	6.5	242.5	27.2	44.9	55.1	1117	64.7

Sumber: BMG Serang

Tabel 2 Kestabilan cuaca daerah Serang dan Banten tahun 1995-2004

TAHUN	KEC.ANGIN RATA-RATA m/dtk	SUHU RATA-RATA oC	BULAN BASA H %	BULAN KERING %	KESTA BILAN Pasquill	KETERANG AN
1995	5.7	26.38	56.2	43.8	D	Kestabilan
1996	5.6	26.35	53.4	46.6	D	berdasarkan
1997	7.5	25.69	32.1	67.9	D	Pasquill de-
1998	7.8	27.02	54.2	45.8	C	ngan asum-
1999	8.0	26.39	48.5	51.5	D	si bulan
2000	8.1	26.49	47.1	52.9	D	basah
2001	7.8	26.42	50.1	49.9	C	menunjukkan
2002	7.2	26.88	37.8	62.2	D	cloud
2003	7.5	27.03	39.7	60.3	D	amount dan
2004	6.5	27.2	44.9	55.1	C	bulan ke-
					D	ring menun-
					C	jukan day
					C	time sun

Sumber: BMG Serang dan diolah

Perhitungan konsentrasi ambient dengan metode Dispersi

Persamaan Dispersi yang digunakan :

$$\chi = \frac{QKV D}{2\pi u_z \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-0.5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (1)$$

- χ = konsentrasi pada jarak x m dan y m
 Q = emisi polutan (massa per unit waktu)
 K = koefisien konversi
 V = jarak vertikal
 D = peluruhan (*decay term*)
 u_z = kecepatan angin pada tinggi z
 σ_y, σ_z = standar deviasi pada jarak lateral dan vertikal distribusi konsentrasi (m)
 exp = eksponensial
 y = jarak *crosswind* (*crosswind distance*)

$$y = (X^R - X(s)) \cos (WD) - (Y^R - Y(s)) \sin (WD) \quad (2)$$

- X^R = koordinat x reseptor
 $X(s)$ = koordinat x sumber
 Y^R = koordinat y reseptor
 $Y(s)$ = koordinat y sumber
 WD = arah angin (*wind direction*)

Asumsi : - Koordinat x dan y sumber diasumsikan (0,0)

- Pada keadaan long term (tahunan), arah angin dihitung untuk ke 16 *windrose*, yaitu $0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ, 90^\circ, 112,5^\circ, 135^\circ, 157,5^\circ, 180^\circ, 202,5^\circ, 225^\circ, 247,5^\circ, 270^\circ, 292,5^\circ, 315^\circ$ dan $337,5^\circ$

$$V = \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r - H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{z_r + H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \sum_{i=1}^n \left\{ \exp\left[-0,5\left(\frac{H_1}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_2}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_3}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{H_4}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (3)$$

H = tinggi emisi yang menyebar

H_1 = $z_r - (2iz_i - h)$

H_2 = $z_r + (2iz_i - h)$

H_3 = $z_r - (2iz_i - h)$

H_4 = $z_r + (2iz_i - h)$

z_r = tinggi reseptor dari permukaan tanah

z_i = tinggi percampuran (*mixing height*)

Asumsi : - mixing height untuk kestabilan D adalah 1000 m (ISCLT 1999)

$$\mu(z) = \mu_o (z/z_o)^p \quad \mu(z) = \mu_h \quad (4)$$

$\mu(z)$ = μ_h = kecepatan angin pada tinggi z

μ_o = kecepatan angin yang diukur anemometer pada tinggi z_o

p = nilai eksponen Pasquill yang tergantung pada kestabilan Pasquill

$$H = h + dh \quad (5)$$

$$\text{Untuk } Fb < 55, dh = 21 Fb^{0.75}/\mu_h \quad (6)$$

$$Fb \geq 55, dh = 39 Fb^{0.6}/\mu_h \quad (7)$$

$$Fb = w_o R_o^2 \frac{g}{T_{p0}} (T_{p0} - T_{a0}) \quad (8)$$

h = tinggi cerobong

dh = tinggi asap yang keluar dari cerobong

Fb = *the buoyancy flux*

w_o = kecepatan gas keluar

R_o = jari-jari cerobong g = gravitasi

T_{p0} = temperature gas keluar cerobong

T_{a0} = temperature ambient pada ketinggian cerobong

Tabel 3 Persamaan-persamaan yang digunakan pada kestabilan C dan D

Kestabilan Pasquill		
	C	D
σ_y	$0.22 x (1+0.0004 x)^{-0.5}$	$0.16 x (1+0.0004 x)^{-0.5}$
σ_z	$0.20 x$	$0.14 x (1+0.0003 x)^{-0.5}$
p	0.10	0.15

Tabel 4 Contoh perhitungan kecepatan angin pada ketinggian cerobong (z)

THN	Kestabilan	Industri	$u(z) = u_0(z/z_0)^p$				
			u_0 kec. angin	z_0 tinggi kec. angin	p	z tinggi crbng	uz
1995	D	I	5.7	10	0.15	32	6.786523424
		II	5.7	10	0.15	25	6.539820932
		III	5.7	10	0.15	32	6.786523424
		IV	5.7	10	0.15	10.43	5.736110407
		V	5.7	10	0.15	3.757	4.921540178
		VI	5.7	10	0.15	16	6.116357375
		VII	5.7	10	0.15	12	5.858036085
2001	D	I	7.8	10	0.15	32	9.286821528
		II	7.8	10	0.15	25	8.949228643
		III	7.8	10	0.15	32	9.286821528
		IV	7.8	10	0.15	10.43	7.849414242
		V	7.8	10	0.15	3.757	6.734739191
		VI	7.8	10	0.15	16	8.369752198
		VII	7.8	10	0.15	12	8.016259906
2004	D	I	6.5	10	0.15	32	7.73901794
		II	6.5	10	0.15	25	7.457690536
		III	6.5	10	0.15	32	7.73901794
		IV	6.5	10	0.15	10.43	6.541178535
		V	6.5	10	0.15	3.757	5.612282659
		VI	6.5	10	0.15	16	6.974793498
		VII	6.5	10	0.15	12	6.680216588

Asumsi: dari tahun 1995-2004 industri menggunakan jenis cerobong yang sama.

Tabel 5 Contoh perhitungan tinggi asap yang keluar dari cerobong (H)

Tahun/ Industri	wo (kec.gas) m/dt	ro (radius) m	Tpo (temp.gas keluar) oC	Tpo (Tpo - Tpa) oC	Tao (temp. ambien) oC	Tao oK	Fb	Kes- tabil an	uz	Tinggi crbng (z) m	dh Fb > 55 dh = 39 Fb ^0.6/uz Fb < 55 dh = 21 Fb ^0.75/uz m	H = z + dh m
INDST. I												
1995	82	1.25	94	367	34	307	205.2793	D	6.786523	32	140.2246416	172.2246416
1996							205.2793	D	6.667462	32	142.7286531	174.7286531
1997							205.2793	D	8.929636	32	106.5707276	138.5707276
1998							205.2793	D	9.286822	32	102.4718535	134.4718535
1999							205.2793	D	9.524945	32	99.91005716	131.9100572
2000							205.2793	D	9.644007	32	98.67659966	130.6765997
2001							205.2793	D	9.286822	32	102.4718535	134.4718535
2002							205.2793	D	9.286822	32	102.4718535	134.4718535
2003							205.2793	D	8.929636	32	106.5707276	138.5707276
2004							205.2793	D	7.739018	32	122.9662242	154.9662242
INDST. II												
1995	108	1.25	147	420	29	302	464.625	D	6.539821	25	237.552877	262.552877
1996							464.625	D	6.425017	25	241.7948927	266.7948927
1997							464.625	D	8.605028	25	180.5401865	205.5401865
1998							464.625	D	8.949229	25	173.5963332	198.5963332
1999							464.625	D	9.178696	25	169.2564249	194.2564249
2000							464.625	D	9.29343	25	167.1668394	192.1668394
2001							464.625	D	8.949229	25	173.5963332	198.5963332
2002							464.625	D	8.949229	25	173.5963332	198.5963332
2003							464.625	D	8.605028	25	180.5401865	205.5401865
2004							464.625	D	7.457691	25	208.3155998	233.3155998

Tabel 5 (Lanjutan)

Tahun/ Industri	wo (kec.gas) m/dt	ro (radius) m	Fb = wo.ro.ro. g/Tpo. (Tpo - Tpa)	Tpo (temp.gas keluar) oC	Tao (temp. ambien) oC	Tao oK	Fb	Kes- tabil- an	uz	Tinggi cerobng (z) m	dh Fb > 55 dh = 39 Fb ^0.6/uz Fb < 55 dh = 21 Fb ^0.75/uz m	H = z + dh
INDST. III												
1995	73.4	1.25	50	323	29	302	73.07334	D	6.786523	32	75.45232296	107.452323
1996							73.07334	D	6.667462	32	76.79968587	108.7996859
1997							73.07334	D	8.929636	32	57.34376545	89.34376545
1998							73.07334	D	9.286822	32	55.13823601	87.13823601
1999							73.07334	D	9.524945	32	53.75978011	85.75978011
2000							73.07334	D	9.644007	32	53.09607912	85.09607912
2001							73.07334	D	9.286822	32	55.13823601	87.13823601
2002							73.07334	D	9.286822	32	55.13823601	87.13823601
2003							73.07334	D	8.929636	32	57.34376545	89.34376545
2004							73.07334	D	7.739018	32	66.16588322	98.16588322
INDST. IV												
1995	9.8	0.6	50	323	29	302	2.247871	D	5.73611	10.43	6.720945306	17.15094531
1996							2.247871	D	5.635477	10.43	6.840962187	17.27096219
1997							2.247871	D	7.547514	10.43	5.107918433	15.53791843
1998							2.247871	D	7.849414	10.43	4.911460032	15.34146003

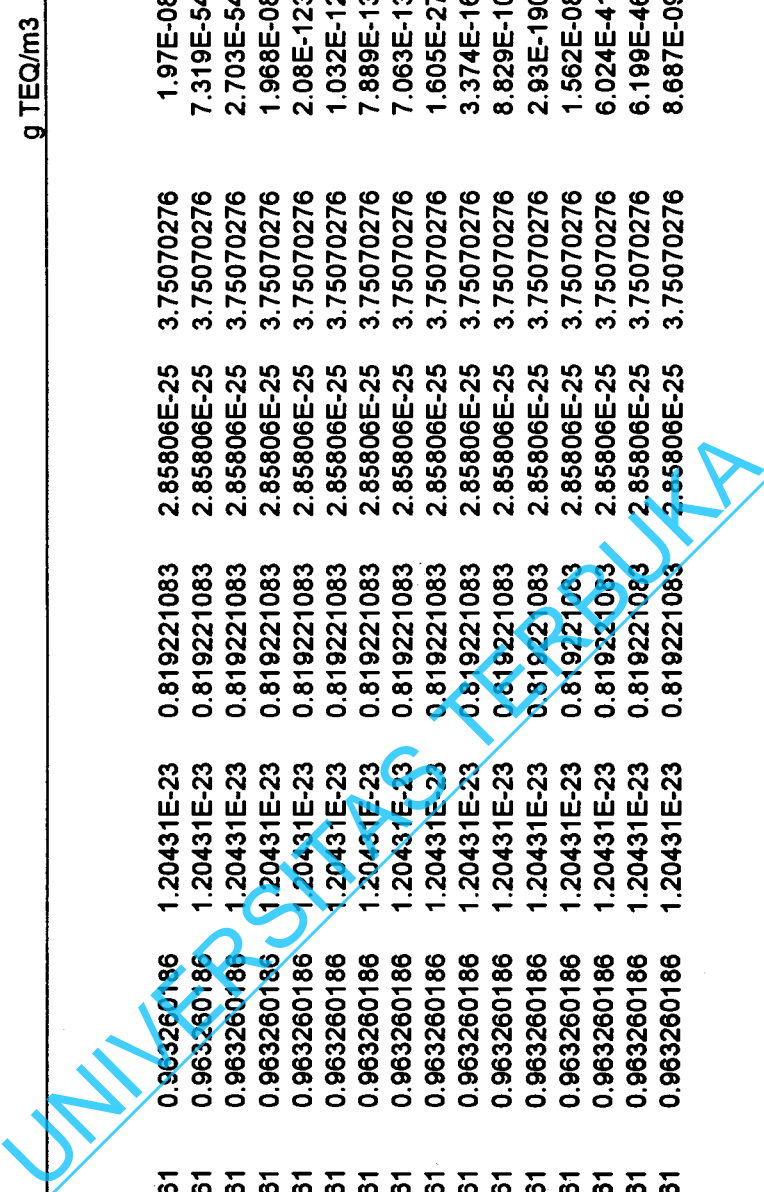
Asumsi:

- Industri menggunakan jenis cerobong yang sama dari tahun 1995-2004
- Kecepatan gas keluar, temperatur gas keluar dan temperature ambient dianggap rata-rata konstan

Tabel 6 Contoh perhitungan konsentrasi untuk jarak 36 km (Cilegon dan Serang)

TAHUN/ INDST.	EMISI Q	JARAK			STANDAR DEVIASI			KEC. ANG.	TINGGI H	C = QD/ $(2\sqrt{uz\sigma_y\sigma_z})^*$ $\exp[-0.5(Y/\sigma_y)]^2$ g TEQ/m ³
		X	Y	Z	σ_x	σ_y	σ_z			
	g	m	m	m	m	m	m/dtk	m	m	g TEQ/m ³
INDST 2										
1985	0.464663	36000	0	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	5.25365E-09	
	0.464663	36000	21230.33	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	1.95145E-54	
	0.464663	36000	21331.18	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	7.20684E-55	
	0.464663	36000	71.90653	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	5.24735E-09	
	0.464663	36000	-33774.4	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	5.558E-124	
	0.464663	36000	6517.188	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	2.75048E-13	
	0.464663	36000	-6605.28	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	2.10325E-13	
	0.464663	36000	6641.239	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	1.88314E-13	
	0.464663	36000	13761.91	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	4.27826E-28	
	0.464663	36000	8777.991	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	8.99604E-17	
	0.464663	36000	3657.93	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	2.354E-10	
	0.464663	36000	-42473.3	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	7.8011E-191	
	0.464663	36000	1000.857	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	4.16385E-09	
	0.464663	36000	17960.76	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	1.60614E-41	
	0.464663	36000	19289.18	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	1.65267E-46	
	0.464663	36000	1878.628	5	1467.784	1467.200725	6.5398209	262.5529	2.316E-09	

Mixing Height L	$V1 = \exp[-0.5(z-H/\sigma_z)^2]$	$V2 = \exp[-0.5(z+H/\sigma_z)^2]$	$V3 = \exp[-0.5(z-H-2nL/\sigma_z)^2]$	$V4 = \exp[-0.5(z+H-2nL/\sigma_z)^2]$	$V5 = \exp[-0.5(z-H+2nL/\sigma_z)^2]$	$V6 = \exp[-0.5(z+H+2nL/\sigma_z)^2]$	$V = V1+V2+V3+V4+V5+V6$	C * V
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	1.97E-08
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	7.319E-54
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	2.703E-54
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	1.968E-08
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	2.08E-123
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	1.032E-12
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	7.889E-13
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	7.063E-13
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	1.605E-27
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	3.374E-16
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	8.829E-10
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	2.93E-190
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	1.562E-08
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	6.024E-41
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	6.199E-46
1000	0.9847109	0.98351061	0.963260186	1.20431E-23	0.819221083	2.85806E-25	3.75070276	8.687E-09



Konst. = C*V*K	Konst. rata-rata
pg TEQ/m3	pg TEQ/m3
19704.8704	4035.971267
7.3193E-42	
2.7031E-42	
19681.2387	
2.085E-111	
1.03162386	
0.78886553	
0.70630859	
1.6046E-15	
0.00033741	
882.915	
2.926E-178	
15617.3666	
6.0241E-29	
6.1987E-34	
8686.62243	

UNIVERSITAS TERBUKA

Keterangan : - D = decay term - $\exp(-\psi^*x/uz)$; $\psi = 0.693/T^{1/2} - 0.693/21*24*60*60 - 0.000000573-0$ D-1 dik⁻¹
 - K = konversi dari g TEQ/m3 ke pg TEQ/m3 = 10⁶

Lampiran 7 Hasil pendugaan parameter model konsentrasi dengan emisi,
kecepatan angin dan suhu

R-SQUARE = 0.9951 R-SQUARE ADJUSTED = 0.9927
 VARIANCE OF THE ESTIMATE-SIGMA**2 = 0.18742E+08
 STANDARD ERROR OF THE ESTIMATE-SIGMA = 4329.2
 SUM OF SQUARED ERRORS-SSE= 0.11245E+09
 MEAN OF DEPENDENT VARIABLE = 90767.

VARIABLE NAME	ESTIMATED COEFFICIENT	STANDARD ERROR	T-RATIO 6 DF	PARTIAL P-VALUE	CORR. COEFFICIENT	STANDARDIZED COEFFICIENT	ELASTICITY AT MEANS
EMISI	8819.9	510.3	17.28	0.000	0.990	0.8633	1.2848
KEC_ANG	-13570.	1828.	-7.422	0.000	-0.950	-0.2464	-1.0719
SUHŪ	6854.4	4426.	1.549	0.172	0.534	0.0595	2.0080
CONSTANT	-0.11078E+06	0.1298E+06	-0.8533	0.426	-0.329	0.0000	-1.2205

DURBIN-WATSON = 1.8897 VON NEUMANN RATIO = 2.0997 RHO = -0.08054

Lampiran 8 *Curve Fit* SPSS untuk konsentrasi dengan emisi

MODEL: MOD_3.

—

Independent: EMISI

Dependent	Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
KONST_36	LIN	.941	8	126.86	.000	-38179	9830.69		
KONST_36	LOG	.885	8	61.73	.000	-330998	166578		
KONST_36	QUA	.969	7	109.10	.000	108344	-8477.3	484.929	
9 KONST_36	CUB	.970	7	113.50	.000	71474.7		-114.66	12.4637
KONST_36	EXP	.905	8	76.01	.000	32827.9	.0716		

Notes:

9 Tolerance limits reached; some dependent variables were not entered.

Lampiran 9 Nilai VOSL pada tahun 2004

Tahun	Inflasi (%)	VOSL (Rp.)
2000	7,03	1.381.680.000
2001	12,75	1.557.844.200
2002	9,68	1.708.643.519
2003	5,21	1.797.663.845
2004	6,40	1.912.714.332

Sumber: Statistics Indonesia (2007); Susandi (2004)

Lampiran 10 Laba (Rugi) industri I-III tahun 1999-2004

	Nilai (dalam juta rupiah)					
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Penjualan bersih	4.658.112	5.293.374	5.728.699	6.388.333	6.570.936	9.396.816
Harga pokok penjualan	4.231.860	4.386.354	5.549.402	5.569.803	5.874.069	8.046.425
Laba (rugi) kotor	426.252	907.020	179.297	818.530	696.867	1.350.391
Laba (rugi) sebelum pajak	328.595	555.621	340.778	352.704	178.881	647.605
(% dari penjualan bersih)	(7,1%)	(10,4%)	(-5,9%)	(5,5%)	(2,7%)	(6,9%)
Rata-rata % laba (rugi) sblm pajak dari penjualan bersih	6,520%					
Jumlah pajak (% dari laba sbm pajak)	51.474 (15,7%)	161.451 (29,1%)	83.555 (24,5%)	117.204 (33,2%)	67.754 (37,9%)	229.680 (35,5%)
Rata-rata % jml pajak dari laba	29,317 %					
Laba (Rugi) bersih (% laba/rugi dari penjualan bersih)	276.855 (5,94%)	396.886 (7,5%)	(256.158) (-4,47%)	233.151 (3,65%)	110.039 (1,67%)	414.501 (4,41%)
Rata-rata % laba (rugi) dari penjualan bersih	3,1167					

Sumber: Situs Krakatau Steel (www.krakatausteel.com) (2006), diolah

Lampiran 11 Regresi SPSS hubungan PDRB dengan keuntungan bersih

MODEL: MOD_1.

-

Independent: PDRB

Dependent Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1	b2	b3
KEUNT.PR LIN	.005	4	.02	.896	355.199	-.0129		
KEUNT.PR LOG	.008	4	.03	.868	1097.84	-94.425		
KEUNT.PR INV	.011	4	.05	.842	167.963	642596		
KEUNT.PR QUA	.269	3	.55	.625	7179.65	-2.4033	.0002	
9 KEUNT.PR CUB	.289	3	.61	.599	5085.68	-1.2581		1.2E-08
KEUNT.PR EXP	.038	4	.16	.712	626.630	-.0002		

Notes:

9 Tolerance limits reached; some dependent variables were not entered.

UNIVERSITAS TERBUKA

Lampiran 12 Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 0%
(baseline)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian (orang)	Keuntung- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Jumlah penduduk (orang)
1995	11.007	0.56613201	0.451577	5	1	178063.047	5863.28418	172199.766	0	1541970
1996	11.64308	0.57680762	0.4524678	5	1	186206.391	6188.90527	180017.484	158960.422	1597481
1997	12.30582	0.59003913	0.4535274	5	1	194349.703	6564.85059	187790.922	484097.938	1654990
1998	12.99524	0.60626233	0.4547641	6	1	202493.063	7003.97314	195511.328	1141548.75	1714570
1999	13.71132	0.62596631	0.4561806	6	1	210636.375	7522.23486	203168.219	2463577.25	1776294
2000	14.45407	0.64969718	0.4577734	6	1	218779.688	8139.30908	210749.375	5114702.5	1840241
2001	15.22348	0.6780628	0.459532	7	1	226923.063	8879.31641	218240.422	10423951	1906490
2002	16.01957	0.71117368	0.4614389	7	1	235066.359	9771.64648	225624.422	21049364	1975123
2003	16.84232	0.75146377	0.46347	8	1	243209.672	10851.9375	232881.844	42307008	2046228
2004	17.69174	0.79806387	0.4655961	9	1	251353	12163.1563	239989.859	84828992	2119892
2005	18.56783	0.85243785	0.4677843	10	2	259496.344	13756.876	246922.063	169879520	2196208
2006	19.47059	0.91557252	0.4700002	11	2	267639.656	15694.7168	253647.875	339986976	2275271
2007	20.40002	0.98854524	0.47221	12	2	275782.969	18049.9844	260132.156	680208128	2357181
2008	21.35611	1.07253039	0.4743822	14	2	283926.313	20909.5137	266334.531	1360656384	2442040
2009	22.33887	1.16880465	0.476489	16	3	292069.625	24375.8145	272208.594	2721558528	2529953
2010	23.3483	1.27875245	0.4785079	18	3	300212.938	28569.3769	277701.375	5443368448	2621031
2011	24.3844	1.40387261	0.4804213	20	3	308356.313	33631.4336	282752.375	1.0887E+10	2715388
2012	25.44716	1.545784	0.4822172	23	4	316499.625	39726.957	287292.563	2.1774E+10	2813142
2013	26.5366	1.70623207	0.4838882	26	4	324642.938	47047.9688	291243.688	4.3549E+10	2914415
2014	27.6527	1.88709569	0.4854315	30	5	332786.313	55817.4102	294516.844	8.7098E+10	3019334
2015	28.79547	2.09039164	0.4868476	35	6	340929.563	66293.4141	297011.219	1.742E+11	3128030
2016	29.96491	2.31828547	0.48814	40	6	349072.938	78773.9531	298613.219	3.4839E+11	3240639
2017	31.16101	2.57309484	0.4893141	46	7	357216.25	93602.1719	299194.156	6.9678E+11	3357302
2018	32.38379	2.85729718	0.4903767	53	8	365359.625	111172.289	298609.375	1.3936E+12	3478165
2019	33.63323	3.17354012	0.4913355	61	10	373502.969	131936.203	296695.906	2.7871E+12	3603379

Lampiran 12 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus kematian (orang)	Keuntungan produksi (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Jumlah penduduk (orang)
2020	34.90934	3.52464485	0.4921984	70	11	381646.313	158410.594	293270.719	5.5743E+12	3733101
2021	36.21212	3.9136138	0.4929737	81	13	389789.625	185185.25	288128.563	1.1149E+13	3867493
2022	37.54156	4.34364223	0.4936693	93	15	397933	218931.703	281039.438	2.2297E+13	4006722
2023	38.89768	4.81812334	0.4942926	106	17	406076.25	258413.438	271745.875	4.4594E+13	4150964
2024	40.28046	5.34065676	0.4948511	122	20	414219.688	304496.625	259960.625	8.9188E+13	4300399
2025	41.68991	5.91505814	0.495351	140	22	422363.031	358162.5	245362.391	1.7838E+14	4455214

UNIVERSITAS TERBUKA

Lampiran 13 Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 30,3%

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m3)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian (orang)	Keuntung- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
1995	7.671879	0.53675884	0.4489451	4	1	177565.438	6056.6792	171508.766	0	497.60593
1996	8.115225	0.53851849	0.4491108	5	1	185680.031	6304.44238	179375.594	158322.547	526.36169
1997	8.577158	0.54095495	0.4493384	5	1	193793.375	6571.7998	187223.875	482229.625	556.32324
1998	9.057679	0.54420221	0.4496387	5	1	201905.578	6862.55957	195051.047	1137288.75	587.4903
1999	9.556787	0.54841155	0.4500226	5	1	210016.516	7181.48193	202853.781	2454632.25	619.8631
2000	10.07448	0.55375326	0.4505016	5	1	218126.25	7534.4873	210628.359	5096522	653.44135
2001	10.61077	0.56041771	0.4510864	6	1	226234.844	7928.89209	218370.438	10387478	688.22528
2002	11.16564	0.56861728	0.4517873	6	1	234342.141	8373.66699	226074.625	20976536	724.21478
2003	11.7391	0.57858765	0.4526131	6	1	242448.266	8879.76758	233734.989	42161768	761.40991
2004	12.33115	0.59058952	0.4535705	7	1	250553.188	9460.47852	241344.328	84539296	799.81067
2005	12.94178	0.60491055	0.4546636	7	1	258656.922	10131.8379	248894.484	169301376	839.41693
2006	13.571	0.62186658	0.4558932	8	1	266758.438	10913.1006	256375.844	338832512	880.22906
2007	14.21881	0.6418041	0.4572566	8	1	274860.719	11827.2813	263777.313	677901696	922.2467
2008	14.88521	0.66510141	0.4587469	9	1	282960.844	12901.7617	271086.313	1356046848	965.46985
2009	15.57019	0.6921711	0.4603533	9	1	291059.719	14138.9854	278288.031	2712344064	1009.8987
2010	16.27377	0.72346193	0.4620614	10	2	299157.406	15667.2441	285365.813	5424945152	1055.5331
2011	16.98593	0.75946033	0.4638533	11	2	307253.938	17441.5508	292300.469	1.085E+10	1102.3732
2012	17.73667	0.80069327	0.4657087	12	2	315349.219	19544.6641	299069.969	2.1701E+10	1150.4188
2013	18.49601	0.84772998	0.4676059	13	2	323443.281	22038.1504	305649.406	4.3401E+10	1199.6699
2014	19.27393	0.90118396	0.4695224	14	2	331536.188	24993.707	312010.438	8.6803E+10	1250.1267
2015	20.07044	0.96171522	0.4714364	16	3	339627.761	28494.5156	318120.719	1.7361E+11	1301.7893
2016	20.88554	1.03003359	0.4733272	18	3	347718.281	32636.8672	323943.938	3.4721E+11	1354.6575
2017	21.71923	1.10689974	0.4751763	20	3	355807.531	37531.8398	329438.719	6.9443E+11	1408.731
2018	22.5715	1.19312775	0.4769677	22	4	363895.625	43307.3203	334558.563	1.3889E+12	1464.0104
2019	23.44236	1.28958893	0.4786883	25	4	371982.469	50110.1836	339250.906	2.7777E+12	1520.4954
2020	24.33181	1.39721274	0.4803281	28	4	380068.125	58108.6055	343456.75	5.5554E+12	1578.186

Lampiran 13 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus kematian (orang)	Keuntungan produksi (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
2020	24.33181	1.39721274	0.4803281	28	4	380088.125	58108.6055	343456.75	5.5554E+12	1578.186
2021	25.23985	1.51699007	0.4818799	31	5	388152.531	67494.9219	347109.719	1.1111E+13	1637.0823
2022	26.16647	1.6499753	0.4833393	35	6	396235.813	78488.5156	350135.469	2.2222E+13	1697.1842
2023	27.11168	1.7972908	0.4847039	40	6	404317.75	91339	352450.375	4.4443E+13	1758.4912
2024	28.07548	1.96012712	0.485974	45	7	412398.688	106330.047	353961.531	8.8887E+13	1821.0043
2025	29.05787	2.13974738	0.4871508	51	8	420478.313	123783.461	354584.344	1.7777E+14	1884.7228

UNIVERSITAS TERBUKA

Lampiran 14 Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 40,7%

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian (orang)	Keuntung- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
1985	6.527151	0.53448242	0.4487292	4	1	176439.781	7158.75684	169281.031	0	1623.2603
1986	6.904345	0.53490484	0.4487694	5	1	184489.328	7456.37256	177032.953	156266.078	1717.0659
1987	7.297353	0.53567672	0.4488427	5	1	192534.906	7773.41162	184765.594	475954.188	1814.8044
1988	7.706174	0.5368759	0.4489562	5	1	200576.594	8112.08152	192477.438	1122468.5	1916.476
1989	8.130811	0.53859037	0.4491175	5	1	208614.297	8475.06836	200166.516	2422616	2022.0803
2000	8.571261	0.54091972	0.4493351	5	1	216648.063	8865.85449	207630.625	5030009	2131.6174
2001	9.027526	0.54397583	0.4496178	6	1	224677.969	9288.66309	215467.234	10251870	2245.0874
2002	9.499605	0.54788387	0.4499748	6	1	232703.875	9748.71875	223073.125	20702640	2362.4902
2003	9.987497	0.55278295	0.4504152	6	1	240725.844	10252.4121	230644.781	41611200	2483.8264
2004	10.4912	0.5588277	0.4509481	6	1	248743.906	10807.5322	238178	83435312	2609.095
2005	11.01073	0.56618905	0.4515819	7	1	256758.047	11423.4893	245667.906	167090496	2738.2961
2006	11.54606	0.57505506	0.4523237	7	1	264768.219	12111.6191	253108.797	334407776	2871.4304
2007	12.09721	0.58563238	0.4531798	7	1	272774.469	12885.5059	260494.141	669049216	3008.498
2008	12.66417	0.59814727	0.4541538	8	1	280776.813	13761.3525	267816.438	1338338816	3149.498
2009	13.24695	0.61284679	0.4552476	8	1	288775.188	14768.3657	275066.906	2676924928	3294.4312
2010	13.84554	0.63	0.4564598	9	1	296769.625	15898.3516	282235.594	5354103808	3443.2971
2011	14.45995	0.64989918	0.4577865	9	2	304760.219	17211.0273	289311.219	1.0708E+10	3596.0959
2012	15.09017	0.6728611	0.4592205	10	2	312746.813	18724.8652	296280.5	2.1417E+10	3752.8276
2013	15.7362	0.69922853	0.4607518	11	2	320729.438	20477.623	303128.656	4.2835E+10	3913.4922
2014	16.39805	0.72937143	0.4623676	12	2	328708.219	22512.1621	309838.813	8.567E+10	4078.0891
2015	17.07571	0.76368803	0.4640527	13	2	336682.938	24878.2871	316391.531	1.7134E+11	4246.6191
2016	17.76919	0.80260682	0.4657902	14	2	344653.844	27633.7051	322765.25	3.4268E+11	4419.0825
2017	18.47848	0.8465879	0.4675623	15	2	352620.761	30845.0977	328935.125	6.8536E+11	4595.4785
2018	19.20358	0.89612389	0.4693507	17	3	360583.813	34589.2852	334873.375	1.3707E+12	4775.8076
2019	19.9445	0.95174223	0.4711378	18	3	368542.906	38954.6406	340548.469	2.7414E+12	4960.0698

Lampiran 14 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kanker (orang)	Potensi kasus ke-matian (orang)	Keuntungan produksi (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
2020	20.70124	1.01400614	0.4729064	20	3	376498.063	44042.3906	345925	5.4829E+12	5148.2642
2021	21.47379	1.08351672	0.4746414	22	4	384449.219	49968.4531	350963.125	1.0966E+13	5340.3921
2022	22.26215	1.16091335	0.4763295	25	4	392396.563	56865.1133	355618.281	2.1931E+13	5536.4526
2023	23.06632	1.24687755	0.4779592	28	4	400339.813	64883.0781	359840.156	4.3863E+13	5736.4463
2024	23.88631	1.34213281	0.4795217	31	5	408279.313	74193.7031	363572.906	8.7726E+13	5940.3721
2025	24.72212	1.44744647	0.4810102	34	5	416214.813	84991.5078	366753.594	1.7545E+14	6148.2314

Lampiran 15 Hasil simulasi dengan pengurangan emisi 46,1%

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus ke-matian (orang)	Keuntungan- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
1995	5.932773	0.53437501	0.448719	4	1	170492.203	13105.23242	157386.969	0	7570.8481
1996	6.275619	0.53435874	0.4487174	5	1	178198.031	13741.80371	164456.234	145286.484	8008.3555
1997	6.632838	0.53457111	0.4487376	5	1	185885.5	14406.41797	171479.078	442385.188	8464.2061
1998	7.004432	0.53506792	0.4487849	5	1	193554.656	15100.25195	178454.406	1043065.5	8938.3994
1999	7.3904	0.53591281	0.4488651	5	1	201205.438	15824.69434	185380.75	2250885	9430.9346
2000	7.790742	0.53717786	0.4489846	5	1	208837.875	16581.38672	192256.484	4672858	9941.8135
2001	8.205458	0.53894436	0.4491507	5	1	216452.031	17372.25195	199079.781	9523191	10471.036
2002	8.634548	0.5413034	0.4493708	6	1	224047.766	18199.55273	205848.219	19230156	11018.6
2003	9.078012	0.54435658	0.4496528	6	1	231625.172	19065.93555	212559.234	38650336	11584.507
2004	9.53585	0.54821694	0.450005	6	1	239184.25	19974.48438	219209.766	77496888	12168.758
2005	10.00806	0.55300963	0.4504354	6	1	246725	20928.77734	225796.219	155196128	12771.349
2006	10.49465	0.5588727	0.450952	7	1	254247.375	21932.98438	232314.391	310600704	13392.286
2007	10.99561	0.56595796	0.4515622	7	1	261751.406	22991.90039	238759.5	621415872	14031.564
2008	11.51094	0.57443196	0.4522724	7	1	269237.125	24111.08594	245126.031	1243052160	14689.186
2009	12.04065	0.58447653	0.4530877	8	1	276704.469	25296.82188	251407.547	2486330624	15365.15
2010	12.58473	0.59629011	0.4540119	8	1	284153.469	26556.7444	257596.719	4972893184	16059.457
2011	13.14319	0.61008859	0.4550463	9	1	291584.219	27898.95117	263685.281	9946023936	16772.107
2012	13.71602	0.62610584	0.4561903	9	1	298996.531	29333.15234	269663.375	1.9892E+10	17503.1
2013	14.30323	0.64459538	0.4574408	10	2	306390.5	30870.29883	275520.188	3.9785E+10	18252.436
2014	14.90481	0.66583103	0.4587919	11	2	313766.188	32522.87109	281243.313	7.957E+10	19020.115
2015	15.52076	0.69010764	0.4602353	11	2	321123.438	34305.03125	286818.406	1.5914E+11	19806.135
2016	16.15108	0.71774286	0.4617603	12	2	328462.438	36232.86328	292229.563	3.1828E+11	20610.498
2017	16.79579	0.74907774	0.4633541	13	2	335783.031	38324.5625	297458.469	6.3656E+11	21433.205
2018	17.45486	0.78447783	0.4650022	15	2	343085.375	40600.69531	302484.688	1.2731E+12	22274.254
2019	18.12831	0.82433474	0.4666892	16	3	350369.313	43084.46875	307284.844	2.5462E+12	23133.646
2020	18.81613	0.86906648	0.468399	17	3	357634.938	45802.02344	311832.906	5.0925E+12	24011.387

Lampiran 15 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian (orang)	Keuntung- an produk- si (juta rph)	Social		PV		Abatement cost (juta rph)
							cost (juta rph)	bersih (juta rph)	NetBen (juta rph)	cost	
2021	19.51833	0.91912007	0.4701158	19	3	364882.156	48782.77344	316099.375	1.0185E+13	24907.463	
2022	20.2349	0.9749707	0.4718239	21	3	372111.125	52059.71875	320051.406	2.037E+13	25821.885	
2023	20.96585	1.03712523	0.4735092	23	4	379321.594	55669.92969	323651.656	4.074E+13	26754.648	
2024	21.71117	1.10612178	0.4751588	25	4	386513.938	59654.875	326859.063	8.148E+13	27705.756	
2025	22.47086	1.18253171	0.4767615	28	4	393687.813	64060.96875	329626.844	1.6296E+14	28675.207	

Lampiran 16 Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 0%

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian	Potensi ke- matian	Keuntung- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)
1995	11.007	0.566132009	0.451576978	5	1	1	178063.047	5863.28418	172199.7656	0
1996	11.6430769	0.576807618	0.452467799	5	1	1	193033.844	6188.90527	186844.9375	158960.4219
1997	12.3309212	0.590584636	0.453570127	5	1	1	208004.656	6564.85059	201439.8125	490400.4375
1998	13.0705318	0.608193934	0.454907	6	1	1	222975.422	7003.97314	215971.4531	1166753.25
1999	13.8619099	0.630499423	0.456494063	6	1	1	237946.234	7522.23486	230424	2532873.25
2000	14.7050552	0.658514977	0.458336174	6	1	1	252917.047	8139.30908	244777.7344	5278455
2001	15.599967	0.693422318	0.460424572	7	1	1	267887.813	8879.31641	259008.5	10782868
2002	16.5466461	0.736590981	0.462735087	8	1	1	282858.594	9771.64648	273086.9375	21804832
2003	17.5450916	0.789598107	0.465228379	9	1	1	297829.406	10851.9375	286977.4688	43861756
2004	18.5953045	0.854250669	0.467652473	10	2	2	312800.219	12163.1563	300637.0625	87988424
2005	19.6972847	0.932608128	0.470546961	11	2	2	327771	13756.876	314014.125	176254368
2006	20.8510303	1.027006269	0.47324872	12	2	2	342741.75	15694.7168	327047.0313	352798592
2007	22.0565434	1.140083551	0.47589767	14	2	2	357712.563	18049.9844	339662.5625	705899072
2008	23.3138237	1.274805903	0.478441477	17	3	3	372683.315	20909.5137	351773.8125	1412111616
2009	24.6228714	1.434496164	0.480838925	19	3	3	387654.125	24375.8145	363278.3125	2824547840
2010	25.9836845	1.622861147	0.483061105	23	4	4	402624.938	28569.3789	374055.5625	5649431040
2011	27.396265	1.844022751	0.485091388	27	4	4	417595.75	33631.4336	383964.3125	11299207168
2012	28.8606129	2.10255003	0.486923665	31	5	5	432566.438	39726.957	392839.4688	22598768640
2013	30.3767281	2.403489113	0.488560319	37	6	6	447537.25	47047.9688	400489.2813	45197901824
2014	31.9446087	2.752398014	0.490010083	44	7	7	462508.031	55817.4102	406690.625	90396172288
2015	33.5642586	3.155384064	0.491285652	53	8	8	477478.813	66293.4141	411185.4063	1.80793E+11
2016	35.2356758	3.619134426	0.492402077	62	10	10	492449.625	78773.9531	413675.6875	3.61586E+11
2017	36.9588585	4.150957108	0.49337545	74	12	12	507420.438	93602.1719	413818.25	7.23172E+11
2018	38.7338066	4.758818626	0.494221538	88	14	14	522391.156	111172.289	411218.875	1.44634E+12
2019	40.580524	5.451383591	0.49495557	105	17	17	537362	131936.203	405425.8125	2.89269E+12
2020	42.4390068	6.238055229	0.4955917	124	20	20	552332.75	156410.594	395922.1563	5.78538E+12

Lampiran 16 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambient (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus kematian (orang)	Keuntungan produksi (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)
2021	44.3692551	7.129015923	0.496142566	147	23	567303.625	185185.25	382118.375	1.15708E+13
2022	46.3512726	8.135273933	0.496619701	173	28	582274.25	218931.703	363342.5625	2.31415E+13
2023	48.3850555	9.268701553	0.49703306	205	33	597245.063	258413.438	338831.625	4.6283E+13
2024	50.4706039	10.54208565	0.497391433	241	39	612215.938	304496.625	307719.3125	9.25661E+13
2025	52.6079216	11.96917725	0.497702479	284	45	627186.75	358162.5	269024.25	1.85132E+14

Lampiran 17 Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 30,3%

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian (orang)	Keuntung- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
1995	7.67187881	0.53675884	0.448945135	4	1	177565.438	6056.6792	171508.7656	0	497.605927
1996	8.11522484	0.538518488	0.449110776	5	1	192507.484	6304.44238	186203.0469	158322.5469	526.361694
1997	8.59465218	0.54106003	0.449348181	5	1	207447.203	6571.7998	200875.4063	488532.1875	557.457886
1998	9.11016083	0.544603527	0.44967553	5	1	222384.531	6862.55957	215521.9688	1162495.75	590.894287
1999	9.66175079	0.549411833	0.450112969	5	1	237319.563	7181.48193	230138.0781	2523943.5	626.671082
2000	10.249424	0.555796564	0.450682342	5	1	252252.266	7534.4873	244717.7813	5260331	664.787964
2001	10.8731766	0.564124286	0.451405734	6	1	267182.563	7928.89209	259253.6719	10746565	705.245422
2002	11.5330124	0.574822843	0.452304631	6	1	282110.563	8373.66699	273736.9063	21732452	748.042908
2003	12.2289295	0.588388383	0.453397781	6	1	297036.219	8879.76758	288156.4375	43717596	793.180725
2004	12.960927	0.605392873	0.454699546	7	1	311959.563	9460.47852	302499.0938	87701192	840.658997
2005	13.7290077	0.626491666	0.4562172	7	1	326880.531	10131.8379	316748.6875	175681632	890.477356
2006	14.5331688	0.652431607	0.457849549	8	1	341799.125	10913.1006	330886.0313	351655680	942.635986
2007	15.3734112	0.684059978	0.45988521	9	1	356715.438	11827.2813	344888.1563	703616768	997.13501
2008	16.2497349	0.722332716	0.462002307	9	2	371629.344	12901.7617	358727.5938	1407552000	1053.97449
2009	17.1621418	0.768324852	0.464268833	10	2	386540.969	14168.9854	372371.9688	2815435264	1113.15393
2010	18.1106281	0.823239088	0.466644973	11	2	401450.25	15667.2441	385783	5631214592	1174.67383
2011	19.0951958	0.888416767	0.469085544	13	2	416357.219	17411.5508	398915.6563	11262785536	1238.53406
2012	20.1158466	0.965348482	0.47154367	14	2	431261.688	19544.6541	411717.0313	22525939712	1304.7345
2013	21.1725807	1.055684447	0.473974109	16	3	446163.969	22038.1504	424125.8125	45052260352	1373.2749
2014	22.2653923	1.161245823	0.476336181	19	3	461063.875	24993.707	436070.1563	90104913920	1444.15601
2015	23.3942871	1.28403759	0.4785963	21	3	475961.438	28494.5156	447466.9375	1.8021E+11	1517.37756
2016	24.5592651	1.426260114	0.480728358	25	4	490856.688	32636.8672	458219.8125	3.60421E+11	1592.93921
2017	25.7603245	1.590320587	0.482714802	28	5	505749.594	37531.8398	468217.75	7.20842E+11	1670.84094
2018	26.9974632	1.778847814	0.484545469	33	5	520640.063	43307.3203	477332.75	1.44168E+12	1751.08301
2019	28.2706852	1.994704962	0.486216962	38	6	535528.313	50110.1836	485418.125	2.88337E+12	1833.66553
2020	29.5799866	2.241001844	0.487731218	45	7	550414.188	58108.6055	492305.5938	5.76674E+12	1918.58838

Lampiran 17 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m3)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus kematian (orang)	Keuntungan produksi (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
2021	30.9253693	2.521111965	0.48909184	52	8	565297.75	67494.9219	497802.8125	1.15335E+13	2005.85132
2022	32.306839	2.838686705	0.490313679	61	10	580178.813	78488.5156	501690.3125	2.3067E+13	2095.4541
2023	33.7243843	3.197664499	0.491400808	71	11	595057.688	91339	503718.6875	4.61339E+13	2187.39795
2024	35.178009	3.602295399	0.492366582	82	13	609934.25	106330.047	503604.1875	9.22679E+13	2281.68188
2025	36.6677208	4.057152748	0.493222266	96	15	624808.438	123783.461	501024.9688	1.84536E+14	2378.30591

UNIKER SITAS TERBUKA

Lampiran 18 Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 40,6%

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian	Keuntung- an produk- si	Social		Manfaat		PV		Abatement cost (juta rph)
							cost (juta rph)	cost (juta rph)	bersih (juta rph)	NetBen (juta rph)			
1995	6.52715111	0.534482419	0.448729187	4	1	176439.781	7158.75684	169281.0313	0	1623.26025			
1996	6.90434456	0.534904838	0.44876942	5	1	191316.781	7456.37256	183860.4063	156266.0781	1717.06592			
1997	7.31223631	0.535713077	0.448846161	5	1	206186.156	7773.41162	198412.75	482256.6875	1818.50598			
1998	7.75082541	0.537032962	0.448970973	5	1	221047.844	8112.06152	212935.7813	1147671.5	1927.5802			
1999	8.22011185	0.53901577	0.449157447	5	1	235901.938	8475.06836	227426.875	2491907.5	2044.28918			
2000	8.72009754	0.541842222	0.44942078	5	1	250748.422	8865.85449	241882.5625	5193756.5	2168.63208			
2001	9.25078011	0.545725882	0.449778289	6	1	265587.188	9288.66309	256298.5313	10610798	2300.60962			
2002	9.81216049	0.550917566	0.45024848	6	1	280418.375	9748.71875	270689.6563	21458188	2440.22144			
2003	10.4042397	0.557709396	0.450850397	6	1	295241.938	10252.4121	284989.5313	43166236	2587.46704			
2004	11.0270157	0.566439211	0.451603115	6	1	310057.875	10807.5322	299250.3438	86595552	2742.34766			
2005	11.6804895	0.577495813	0.452524066	7	1	324868.125	11423.4893	313442.625	173467344	2904.86255			
2006	12.3646612	0.591323256	0.453627765	7	1	339666.75	12111.6191	327555.125	347224032	3075.01123			
2007	13.0795298	0.608426929	0.454924166	8	1	354459.761	12885.5059	341574.2813	694750464	3252.79492			
2008	13.8250971	0.629378438	0.456416965	8	1	369245.094	13761.3525	355483.75	1389816320	3438.21265			
2009	14.6013622	0.654821754	0.458102286	9	1	384022.875	14758.3857	369264.5	2779960832	3631.26489			
2010	15.4083252	0.685479105	0.459967911	10	2	398793.158	15809.3516	382893.6563	5560262656	3831.95093			
2011	16.245985	0.722156942	0.461993098	10	2	413555.469	17211.0273	396344.4375	11120878592	4040.27173			
2012	17.1143436	0.76575315	0.464149266	11	2	428310.219	18724.8552	409585.3438	22242123776	4256.22656			
2013	18.0133991	0.817262888	0.466401815	13	2	443057.438	20477.623	422579.8125	44484624384	4479.81641			
2014	18.9431534	0.877786577	0.468712091	14	2	457797	22512.1621	435284.8438	88969641984	4711.03955			
2015	19.9038064	0.948536515	0.471040428	16	3	472528.906	24878.2871	447650.625	1.7794E+11	4949.89795			
2016	20.8947563	1.030843973	0.473348111	18	3	487253.25	27633.7051	459619.5313	3.5588E+11	5196.39063			
2017	21.9166031	1.12616837	0.475600332	20	3	501969.906	30845.0977	471124.8125	7.1176E+11	5450.51758			
2018	22.9691467	1.236103535	0.477767318	23	4	516678.875	34589.2852	482089.5938	1.42352E+12	5712.27881			
2019	24.0523911	1.362387896	0.479825795	26	4	531380.313	38954.6406	492425.6875	2.84704E+12	5981.67432			
2020	25.1663303	1.506910324	0.481758803	30	5	546074.063	44042.3906	502031.6875	5.69408E+12	6258.70459			

Lampiran 18 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian (orang)	Keuntungan- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat		PV		Abatement cost (juta rph)
								bersih	NetBen			
2021	26.3109684	1.671721697	0.483555794	34	6	560760.25	49968.4531	510791.8125	1.13882E+13	6543.36816		
2022	27.4863052	1.859042168	0.48521173	40	6	575438.563	56865.1133	518573.4375	2.27763E+13	6835.6665		
2023	28.692337	2.071270466	0.486726254	46	7	590109.438	64883.0781	525226.375	4.55527E+13	7135.59961		
2024	29.9290676	2.310994148	0.488102645	53	8	604772.75	74193.7031	530579.0625	9.11053E+13	7443.1665		
2025	31.196497	2.580999613	0.489346802	61	10	619428.375	84991.5078	534436.875	1.82211E+14	7758.36768		

Lampiran 19 Hasil simulasi dengan peningkatan produksi 3,8% dan pengurangan emisi 46,1%

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kanker (orang)	Potensi kasus ke- matian (orang)	Keuntung- an produk- si (juta rph)	Social cost (juta rph)	Manfaat bersih (juta rph)	PV NetBen (juta rph)	Abatement cost (juta rph)
1995	5.93277311	0.534375012	0.448718965	4	1	170492.203	13105.2324	157386.9688	0	7570.84814
1996	6.27561855	0.53435874	0.448717415	5	1	185025.484	13741.8037	171283.6875	145286.4844	8008.35547
1997	6.6463666	0.534584045	0.448738873	5	1	199523.188	14423.8242	185099.3594	448687.75	8481.46875
1998	7.04501677	0.535140455	0.448791802	5	1	213985.234	15152.877	198832.3594	1068243.75	8990.18945
1999	7.47156954	0.53613615	0.448886216	5	1	228411.719	15930.9395	212480.7813	2320033	9534.51563
2000	7.92602491	0.53770119	0.449033946	5	1	242802.594	16760.4883	226042.1094	4836210.5	10114.4492
2001	8.40838242	0.539989948	0.449248493	5	1	257157.828	17644.5938	239513.2344	9881084	10729.9883
2002	8.91864204	0.54318428	0.449544907	6	1	271477.469	18587.041	252890.4219	19983268	11381.1348
2003	9.45680428	0.547496676	0.449939638	6	1	285761.531	19592.4727	266169.0625	40199984	12067.8867
2004	10.0228691	0.5531739	0.450450063	6	1	300309.969	20666.5527	279343.4063	80645672	12790.2451
2005	10.6168365	0.560500026	0.451093554	7	1	314222.781	21816.1289	292406.6563	161549216	13548.21
2006	11.2387056	0.569800913	0.451886863	7	1	328399.969	23049.4844	305350.5	323368352	14341.7813
2007	11.8884773	0.581447542	0.452844828	7	1	342541.594	24376.5273	318165.0625	647018624	15170.958
2008	12.5661507	0.5958606	0.453978926	8	1	356647.563	25809.1172	330838.4375	1294330880	16035.7432
2009	13.2717276	0.613514662	0.45529598	8	1	370718	27361.3418	343356.6563	2588967168	16936.1348
2010	14.0052061	0.634942532	0.456796974	9	1	384752.813	29049.8672	355702.9375	5178251264	17872.1289
2011	14.7665873	0.660740137	0.458475858	10	2	398752.031	30894.3652	367857.6563	10356830208	18843.7324
2012	15.5558701	0.691571474	0.460319132	10	2	412715.5	32917.9453	379797.5625	20714000384	19850.9434
2013	16.3730584	0.728173554	0.462305933	11	2	428643.5	35147.6523	391495.8438	41428353024	20893.7578
2014	17.2181435	0.77136147	0.464409083	12	2	440535.844	37615.0469	402920.8125	82857066496	21972.1816
2015	18.0911369	0.822034538	0.466596246	14	2	454392.594	40356.8359	414035.75	1.65714E+11	23086.207
2016	18.9920292	0.881180823	0.468832344	15	2	468213.781	43415.5977	424798.1875	3.31429E+11	24235.8457
2017	19.9208241	0.949884057	0.471081406	17	3	481999.344	46840.5391	435158.8125	6.62859E+11	25421.0879
2018	20.8775215	1.029329062	0.473308951	19	3	495749.219	50688.4258	445060.7813	1.32572E+12	26641.9355
2019	21.8621235	1.120808125	0.475483805	21	3	509463.625	55024.5547	454439.0625	2.65144E+12	27898.3887
2020	22.8746243	1.225726843	0.477579355	24	4	523142.313	59923.8594	463218.4375	5.30288E+12	29190.4512

Lampiran 19 (Lanjutan)

Tahun	Total emisi (gTEQ)	Konst. di ambien (pgTEQ/m ³)	Laju degradasi	Potensi kasus kanker (orang)	Potensi kasus kematian (orang)	Keuntungan produksi (juta rph)	Social		Manfaat		PV		Abatement cost (juta rph)
							cost (juta rph)	cost (juta rph)	bersih (juta rph)	NetBen (juta rph)			
2021	23.9150295	1.345611572	0.479374561	28	4	536785.5	65472.0742	471313.4375	1.06058E+13	30518.1133			
2022	24.9833355	1.482115388	0.481453955	32	5	550392.875	71767.2109	478625.6563	2.12115E+13	31881.3906			
2023	26.079546	1.63702631	0.483207554	36	6	563964.813	78920.9297	485043.875	4.2423E+13	33280.2656			
2024	27.2036552	1.812271833	0.48483032	41	7	577501.188	87060.2656	490440.9375	8.4846E+13	34714.7539			
2025	28.3556709	2.009929657	0.48632139	48	8	591001.875	96329.4453	494672.4375	1.69692E+14	36184.8438			

Lampiran 20 Algoritma VENSIM

- (01) "abatement cost per gTEQ dioksin/furan" = 1492.02
Units: juta rph/g TEQ
Nilai yang harus dikeluarkan industri akibat adanya pencemaran per g emisi
- (02) $b_0 = 71474.7$
Units: Dmnl
Konstanta yang dihasilkan dari persamaan regresi antara emisi dan konsentrasi
- (03) $b_0 \text{ PDRB} = 7179.65$
Units: Dmnl
Konstanta yang dihasilkan dari persamaan regresi antara PDRB dan keuntungan bersih produksi
- (04) $b_1 = 0$
Units: Dmnl
Konstanta yang dihasilkan dari persamaan regresi antara emisi dan konsentrasi
- (05) $b_1 \text{ PDRB} = -2.4033$
Units: Dmnl
Konstanta yang dihasilkan dari persamaan regresi antara PDRB dan keuntungan bersih produksi
- (06) $b_2 = -114.66$
Units: Dmnl
Konstanta yang dihasilkan dari persamaan regresi antara emisi dan konsentrasi emisi
- (07) $b_2 \text{ PDRB} = 0.0002$
Units: Dmnl
Konstanta yang dihasilkan dari persamaan regresi antara PDRB dan keuntungan bersih produksi
- (08) $b_3 = 12.4637$
Units: Dmnl
Konstanta yang dihasilkan dari persamaan regresi antara emisi dan konsentrasi
- (09) Banyaknya pengurangan emisi =
"tot.emisi" - "tot.emisi 2"
Units: g TEQ
Banyaknya pengurangan emisi yang disebabkan adanya kebijakan

- (10) "berat badan rata2 (BW)"= 60
Units: kg
- (11) "d (prod. 2)"= 464663
Units: ton
- (12) "d(emisi tot)"=
(("f.e.1"*Produksi 1*0.5)+("f.e.1a"*Produksi 1*0.5)+("f.e.2"*Produksi 2)+
("f.e.3"*Produksi 3*0.5)+("f.e.3a"*Produksi 3*0.5)+("f.e.4"*Produksi 4*0.5
)+"f.e.4a"*Produksi 4*0.5)+("f.e.5"*Produksi 5)+("f.e.6"*Produksi 6)+("f.e.7"
*Produksi 7))
Units: g TEQ
- (13) "d(prod 5)"= 24676
Units: ton
- (14) "d(prod. 4)"= 5837
Units: ton
- (15) "d(prod. 6)"= 31657
Units: ton
- (16) "d(prod. 7)"= 563
Units: ton
- (17) "d(prod.1)"= 368595
Units: ton
- (18) "d(prod.3)"= 1.17015e+006
Units: ton
- (19) *discount rate* = 0.08
Units: Dmni
- (20) "f.e.1"= 1e-005
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri I
- (21) "f.e.1a"= 3e-006
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri I
- (22) "f.e.2"= 1e-006
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri II

- (23) "f.e.3"= 1e-005
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri III
- (24) "f.e.3a"= 3e-006
Units: g TEQ/ton
- (25) "f.e.4"= 0.00015
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri IV
- (26) "f.e.4a"= 3.5e-005
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri IV
- (27) "f.e.5"= 3e-008
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri V
- (28) "f.e.6"= 3e-008
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri VI
- (29) "f.e.7"= 3e-007
Units: g TEQ/ton
Faktor emisi industri VII
- (30) "faktor pengali -1"= 10
Units: m³/jam
Angka yang menunjukkan bahwa pada paparan total kecepataanya 10 kali kecepatan inhalasi
- (31) "faktor pengali -2"= 0.16
Units: Dmnl
Angka yang menunjukkan bahwa dari sejumlah orang yang terkena kanker, 16% nya akan mati
- (32) *FINAL TIME* = 2025
Units: Year
The final time for the simulation.
- (33) "fraksi absorpsi (ABS)"= 1
Units: Dmnl
- (34) "frekw. paparan (EF)"= 330
Units: hari/tahun

- (35) $growth\ 1 = 0.038$
Units: Dmnl/Year
- (36) $growth\ 2 = 0.045$
Units: Dmnl/Year
- (37) $growth\ 3 = 0.041$
Units: Dmnl/Year
- (38) $growth\ 4 = 0.038$
Units: Dmnl/Year
- (39) $growth\ 5 = 0.17$
Units: Dmnl/Year
- (40) $growth\ 6 = 0.003$
Units: Dmnl/Year
- (41) $growth\ 7 = 0.14$
Units: Dmnl/Year
- (42) $growth\ emisi = 0.06$
Units: Dmnl/Year
- (43) $growth\ penddk = 0.036$
Units: 1/Year
- (44) "harapan hidup rata-rata" = 62.4
Units: tahun
- (45) *INITIAL TIME* = 1995
Units: Year
The initial time for the simulation.
- (46) kasus kanker=
"koef. resiko individu"*populasi
Units: orang [1,?]
Jumlah kasus kanker akibat emisi dioksin/furan
- (47) "kecp. inhalasi (IR)"=
0.83*"faktor pengali -1"
Units: m³/jam
- (48) keuntungan bersih produksi=
keuntungan produksi setelah pajak-total abatement cost
Units: juta rph

Keuntungan bersih industri setelah dikenai pajak

- (49) keuntungan produksi setelah pajak=
total keuntungan produksi sblm pajak-(persentase beban pajak*total keuntungan produksi sblm pajak)
Units: juta rph
Keuntungan produksi setelah dikeluarkan pajak
- (50) "koef. resiko individu"=
resiko kanker/"harapan hidup rata-rata"
Units: Dmnl [0,?]
- (51) konsentrasi di ambien=
konsentrasi emisi di ambien*waktu paruh
Units: pg TEQ/m³
Konsentrasi dioksin/furan di ambien
- (52) konsentrasi emisi di ambien=
 $b_0+(b_1*\text{tot.emisi } 2)+(b_2*\text{tot.emisi } 2^2)+(b_3*\text{tot.emisi } 2^3)$
Units: pg TEQ/m³
Konsentrasi emisi di ambien dioksin/furan
- (53) konsentrasi standar ambien= 0.11
Units: pg TEQ/m³
Konsentrasi standar dioksin/furan di ambien
- (54) laju degradasi=
 $1/(1+\text{EXP}(\text{konsentrasi standar ambien/konsentrasi di ambien}))$
Units: Dmnl
Penurunan kualitas udara akibat emisi dioksin/furan
- (55) "lama paparan (ED)"= 62.4
Units: tahun
- (56) manfaat bersih=
keuntungan bersih produksi-sosial cost
Units: juta rph
Nilai manfaat bersih akibat adanya emisi dioksin/furan
- (57) mati akibat kanker=
"faktor pengali -2"*kasus kanker
Units: orang
Jumlah orang yang mati akibat kanker yang disebabkan emisi dioksin/furan
- (58) nilai kasus kanker=

- kasus kanker*VOI
Units: juta rph
Kerugian yang disebabkan kasus kanker akibat emisi dioksin/furan
- (59) nilai mortalitas=
mati akibat kanker*VOSL
Units: juta rph
Nilai kematian yang disebabkan emisi dioksin/furan
- (60) PDRB=
 $b_0 \text{ PDRB} + (b_1 \text{ PDRB} * \text{keuntungan bersih produksi}) + (b_2 \text{ PDRB} * \text{keuntungan bersih produksi}^2)$
Units: juta rph
Pendapatan daerah
- (61) pendapatan=
PDRB/populasi
Units: juta rph/orang
Pendapatan masyarakat per orang per tahun
- (62) "pengurangan emisi dioksin/furan" = 0
Units: Dmnl
Persentase/nilai pengurangan emisi untuk mereduksi pencemaran
- (63) persentase beban pajak = 0.293
Units: Dmnl
Beban pajak yang harus dikeluarkan industri terhadap total keuntungan produksi
- (64) persentase keuntungan sebelum beban pajak = 0.0652
Units: Dmnl
Persentase rata-rata keuntungan industri sebelum dikenai pajak
- (65) populasi = INTEG (populasi * growth penddk, 1.54197e+006)
Units: orang
- (66) *price* industri 1 = 1.585
Units: juta rph/ton
- (67) *price* industri 2 = 2.28148
Units: juta rph/ton
- (68) *price* industri 3 = 1.58868
Units: juta rph/ton
- (69) *price* industri 4 = 7.92348

Units: juta rph/ton

- (70) *price* industri 5= 6.65265
Units: juta rph/ton
- (71) *price* industri 6= 5.73773
Units: juta rph/ton
- (72) *price* industri 7= 4.11518
Units: juta rph/ton
- (73) Produksi 1= INTEG ("d(prod.1)"*growth 1, 368595)
Units: ton
Produksi industri I
- (74) Produksi 2= INTEG ("d (prod. 2)"*growth 2, 464663)
Units: ton
Produksi industri II
- (75) Produksi 3= INTEG ("d(prod.3)"*growth 3, 1.17015e+006)
Units: ton
Produksi industri III
- (76) Produksi 4= INTEG ("d(prod. 4)"*growth 4, 1437)
Units: ton
Produksi industri IV
- (77) Produksi 5= INTEG ("d(prod 5)"*growth 5, 24676)
Units: ton
Produksi industri V
- (78) Produksi 6= INTEG ("d(prod. 6)"*growth 6, 31657)
Units: ton
Produksi industri VI
- (79) Produksi 7= INTEG ("d(prod. 7)"*growth 7, 563.36)
Units: ton
Produksi industri VII
- (80) PV= manfaat bersih*(EXP(-discount rate))
Units: juta rph
- (81) *PV Net Ben* = INTEG (PV+PV Net Ben, 0)
Units: juta rph
PV NetBen adalah nilai manfaat bersih yang diperhitungkan untuk nilai masa kini

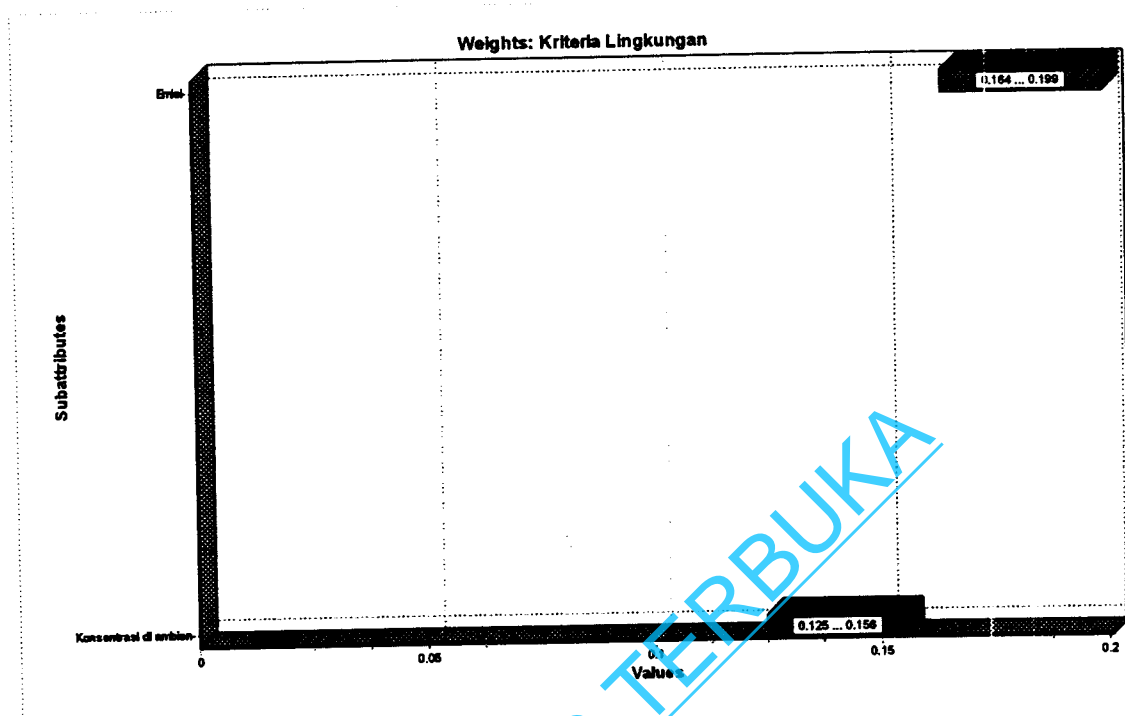
- (82) resiko kanker=
"Total exposure (paparan total)"*slope dose response*1e+009
Units: Dmnl
- (83) SAVEPER =
TIME STEP
Units: Year [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (84) *slope dose response* = 0.0001
Units: pg TEQ/kg hari
- (85) *sosial cost*=
nilai kasus kanker+nilai mortalitas+total abatement cost
Units: juta rph
Nilai sosial atau kerugian yang harus dikeluarkan akibat emisi dioksin/furan
- (86) *TIME STEP* = 1
Units: *Year* [0,?]
The time step for the simulation.
- (87) "tot.emisi"= INTEG ("d(emisi tot)"*growth emisi, 11.007)
Units: g TEQ
Total emisi yang diakibatkan dari industri I-VII
- (88) "tot.emisi 2"=
"tot.emisi"-("pengurangan emisi dioksin/furan"*"tot.emisi")
Units: g TEQ
Total emisi setelah adanya kebijakan reduksi emisi
- (89) total *abatement cost*=
"abatement cost per gTEQ dioksin/furan"*Banyaknya pengurangan emisi
Units: juta rph
Harga yang harus dibayar industri untuk lingkungan karena adanya pencemaran
- (90) "Total *exposure* (paparan total)"=
((konsentrasi di ambien/1e+009)*"kecp. inhalasi (IR)"*"*waktu paparan* (ET)"
"frekw. paparan (EF)""*lama paparan* (ED)"*"*fraksi absorpsi* (ABS)"/
("berat badan rata2 (BW)"*"*total waktu paparan* (AT)")
Units: pg TEQ/kg/hari
- (91) total keuntungan produksi sbllm pajak=
persentase keuntungan sbelum beban pajak*total nilai jual produksi
Units: juta rph

Nilai keuntungan bersih rata-rata per tahun (setelah dikurangi pajak, EAT)

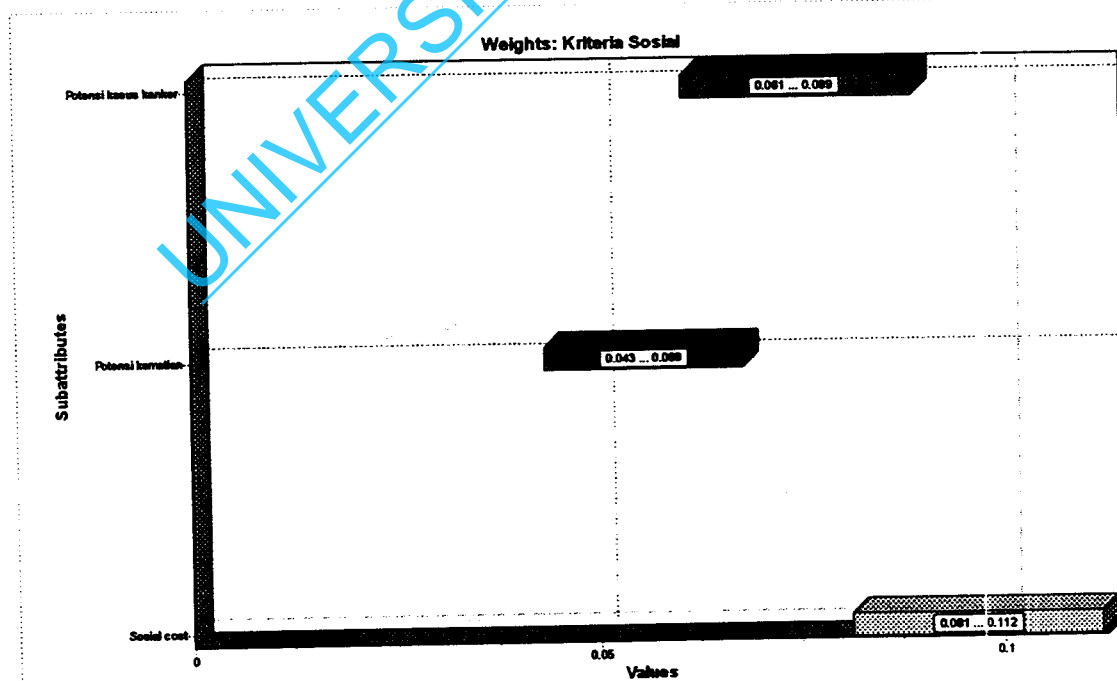
- (92) total nilai jual produksi=
(price industri 1*Produksi 1)+(price industri 2*Produksi 2)+(price industri 3
*Produksi 3)+(price industri 4*Produksi 4)+(price industri 5
*Produksi 5)+(price industri 6*Produksi 6)+(price industri 7*Produksi 7)
Units: juta rph
- (93) "total waktu paparan (AT)"= 62.4×330
Units: hari
- (94) VOI= 956.357
Units: juta rph/orang
Nilai terkena kanker akibat emisi dioksin/furan per orang
- (95) volume degradasi=
laju degradasi*"tot.emisi 2"
Units: g TEQ
Volume kerusakan akibat emisi dioksin/furan
- (96) VOSL= 1912.71
Units: juta rph/orang
Nilai hidup per orang
- (97) "waktu paparan (ET)"= 24
Units: jam/hari
- (98) waktu paruh= $(0.5)^{17}$
Units: Dmnl
Waktu yang dibutuhkan dioksin/furan menjadi separuhnya di udara

UNIVERSITAS TERBUKA

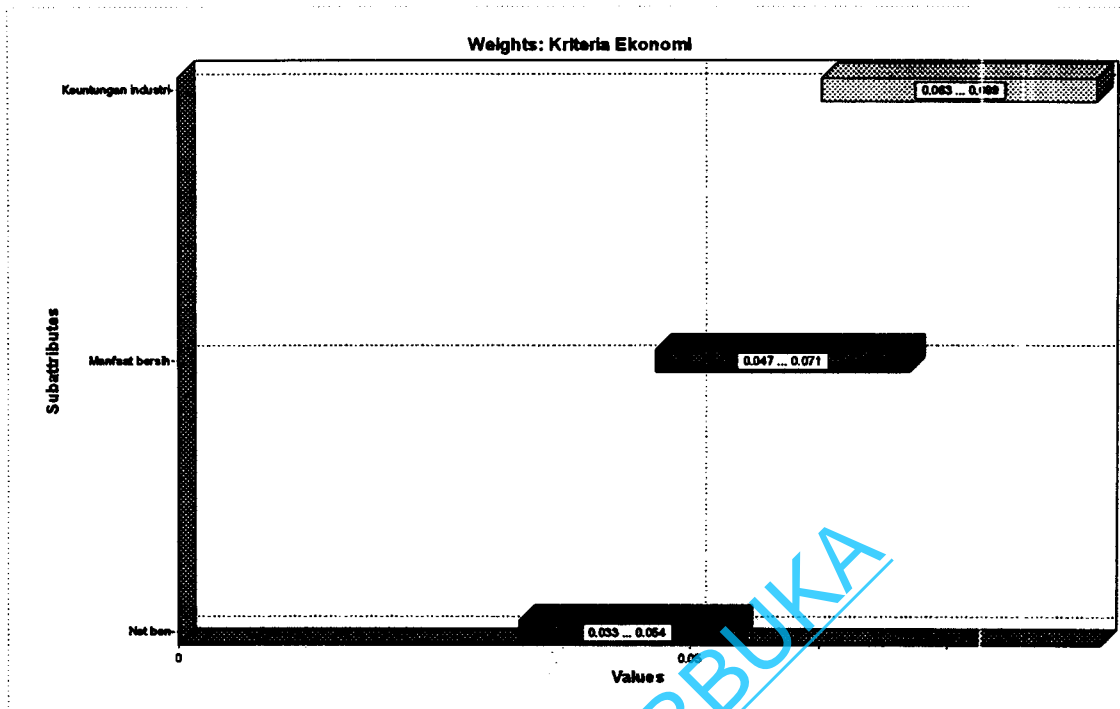
Lampiran 21 Hasil PRIME pembobotan kriteria



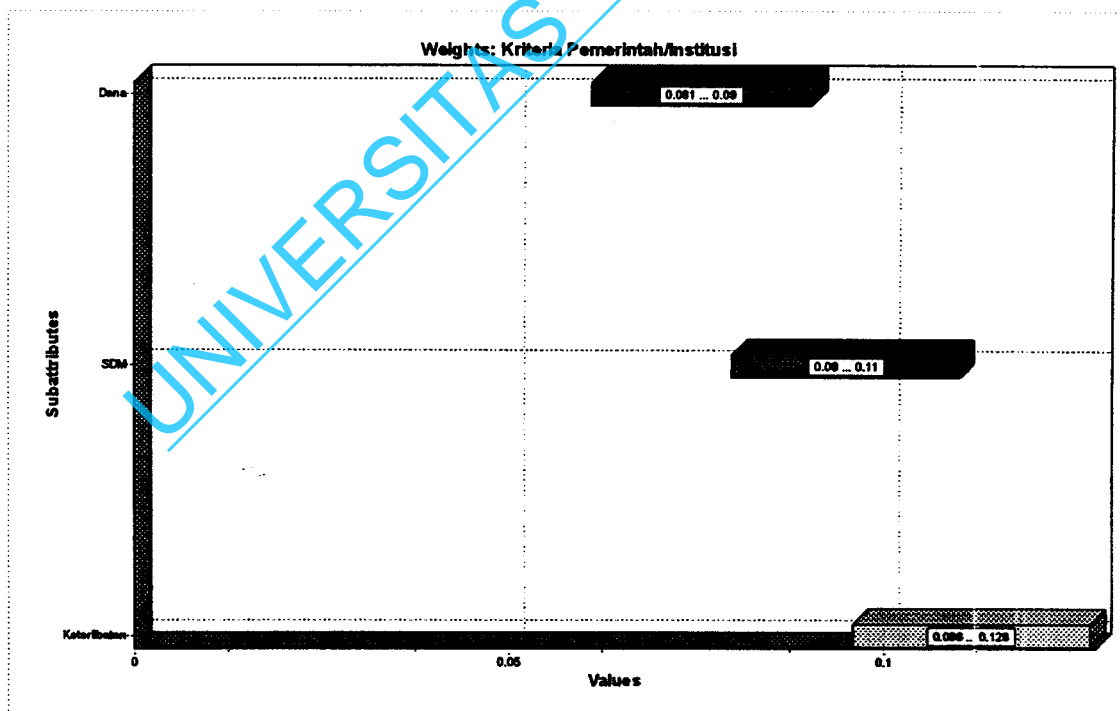
Gambar 1 Hasil PRIME pembobotan kriteria lingkungan



Gambar 2 Hasil PRIME pembobotan kriteria sosial



Gambar 3 Hasil PRIME pembobotan kriteria ekonomi



Gambar 4 Hasil PRIME pembobotan kriteria pemerintahan/institusi

Lampiran 22 Perhitungan emisi yang diperbolehkan

Perhitungan emisi yang aman berdasarkan perhitungan *Draft Dioxin Reassessment* (dalam Ackerman 2003) =

jumlah penduduk * TDI * rata bb per orang * hari dalam setahun

- jumlah penduduk Cilegon dan Serang tahun 2004 adalah 2.153.936 orang
- TDI = 10 pg TEQ/kg bb/hr (Kishimoto *et al.*, 2001), standar yang digunakan Jepang

Sehingga emisi yang aman adalah = $(50 \text{ kg} * 2.153.936 \text{ orang} * 10 \text{ pg TEQ/kg bb/hr} * 365 \text{ hari} = 0,3931 \text{ gTEQ/tahun.}$

UNIVERSITAS TERBUKA

Lampiran 23 Persentase *social cost* terhadap PDRB

Tahun	Sosial cost (juta rph)	PDRB (juta rph)	Persentase <i>social cost</i> terhadap PDRB
1995	13105.23242	5410954	0.242198186
1996	13741.80371	5929824	0.231740499
1997	14406.41797	6471124.5	0.222626191
1998	15100.25195	7034690	0.214654121
1999	15824.69434	7620347.5	0.207663684
2000	16581.38672	8227930.5	0.201525605
2001	17372.25195	8857276	0.19613538
2002	18199.55273	9508206	0.191408902
2003	19065.93555	10180559	0.187277885
2004	19974.48438	10874169	0.183687456
2005	20928.77734	11588870	0.180593771
2006	21932.98438	12324492	0.177962584
2007	22991.90039	13080872	0.175767337
2008	24111.08594	13857848	0.173988674
2009	25296.92188	14655249	0.172613388
2010	26556.74414	15472913	0.171633771
2011	27898.95117	16310687	0.171047064
2012	29333.15234	17168388	0.1708556
2013	30870.29883	18045858	0.171065841
2014	32522.87109	18942950	0.171688523
2015	34305.03125	19859476	0.172738854
2016	36232.86328	20795300	0.174235829
2017	38324.5625	21750242	0.176202925
2018	40600.69531	22744156	0.178667561
2019	43084.46875	23716868	0.181661713
2020	45802.02344	24728224	0.185221646
2021	48782.77344	25758056	0.189388413
2022	52059.71875	26806222	0.194207594
2023	55669.92969	27872530	0.19973045
2024	59654.875	28956876	0.206012814
2025	64060.96875	30059050	0.213117077