

ANALISIS OPTIMASI MANAJEMEN PROYEK, KAJIAN SIX SIGMA, AXIOMATIC DESIGN, DAN TWO-LEVEL FACTORIAL DESIGN METHOD

PROJECT MANAGEMENT OPTIMIZATION ANALYSIS, SIX SIGMA STUDY, AXIOMATIC DESIGN, AND TWO-LEVEL FACTORIAL DESIGN METHOD

Sri Enny Triwidiastuti

Program Studi Statistika, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Terbuka

srienny@ecampus.ut.ac.id

ABSTRAK

Tulisan ini menyajikan manfaat dan kendala metode Axiomatic Design (AD) sebagai bagian dari konsep Six Sigma dalam domain Statistika Pengawasan Kualitas yang diterapkan untuk optimasi manajemen proyek. Optimasi dalam manajemen proyek dapat diartikan sebagai peningkatan kualitas, produktivitas dan mengurangi kesalahan. Salah satu upaya optimasi kegiatan tersebut dengan melakukan analisis proses bisnis yaitu segmentasi unit-unit kegiatan menjadi lebih kecil, fleksibel dan terdesentralisasi, dimana ini merupakan bagian dari tren sains dan teknologi untuk kehidupan berkelanjutan. Untuk mencapai optimasi yang diinginkan sering kali harus dilakukan segmentasi dan reduksi variabel penting. Prosedur reduksi dan segmentasi menggunakan metode AD, berbasis pada pembobotan variabel yang memenuhi persyaratan dari segi kualitas, desain strategis, organisasi, dan teknologi. Analisis optimasi manajemen proyek dilakukan dengan menggunakan tahapan Six Sigma yang diterapkan pada salah satu desain pekerjaan pembangunan gedung kantor. Berbasis

pada temuan Mader (2005) dan beberapa kajian perbandingan optimasi proses manufaktur dengan Six Sigma dari penulis: Hu dan Pieprzak (2005), Naeem et al. (2016), dan Tanusha, Jyothilakshmi & George (2021), serta Pakdil (2021) tentang penerapan DMAIC dalam menentukan prioritas proyek dan seleksi metodenya yang mayoritas mempergunakan AHP (analytic hierarchy process) dan MCDM (multi-criteria decision-making methods). Hasil studi ini adalah AD dan Six Sigma dapat diterapkan secara simultan dan saling melengkapi untuk keperluan tersebut.

Kata Kunci: analisis proses bisnis, metode Axiomatic Design, metode Six Sigma, manajemen proyek

ABSTRACT

This paper presents the benefits and constraints of the Axiomatic Design (AD) method as part of the Six Sigma concept in the domain of Quality Control Statistics applied to project management optimization. Optimization in project management can be interpreted as increasing quality, productivity and reducing errors. One of the efforts to optimize these activities is by conducting business process analysis, namely segmenting activity units into smaller, more flexible and decentralized units, where this is part of the trend of science and technology for sustainable living. To achieve the desired optimization, segmentation and reduction of important variables often have to be carried out. The reduction and segmentation procedures use the AD method, based on variable weighting that meets the requirements in terms of quality, strategic design, organization and technology. Project management optimization analysis is carried out using Six Sigma stages which are applied to one of the office building construction work designs. Based on the findings of Mader (2005) and several comparative studies of manufacturing process optimization with Six Sigma from: Hu and Pieprzak (2005), Naeem et al, (2016), dan Tanusha, Jyothilakshmi & George (2021), and Pakdil (2021) regarding the

application of DMAIC in determining project priorities and selection methods, the majority use AHP (analytic hierarchy process). and MCDM (multi-criteria decision- making methods). The result of this study is that AD and Six Sigma can be applied simultaneously and complement each other for this purpose.

Keywords: *business process analysis, Axiomatic Design method, Six Sigma method, project management*

PENDAHULUAN

Design For Six Sigma (DFSS) sudah diterapkan secara luas untuk berbagai keperluan operasional organisasi, karena terbukti meningkatkan efisiensi khususnya dalam pengembangan produk baru yang mendukung program kehidupan berkelanjutan (*sustainable living*) dalam bagian tren sains dan teknologi. Tinjauan DFSS dari sudut pandang pengukuran kinerja relatif terhadap kebutuhan fungsional organisasi disampaikan oleh Mader (2005), dan kebutuhan fungsional tersebut dipenuhi oleh metode Axiomatic Design.

Metode Axiomatic Design (AD) awalnya diperkenalkan oleh Suh (2001). AD adalah pendekatan terstruktur dengan beberapa tahapan untuk peningkatan kinerja sistem kompleks pada konsep, tahap awal, dan tahap rincian desain dari model rekayasa sistem yang berguna untuk mengurangi risiko dan variabilitas, mengurangi biaya dan mempercepat produk sampai ke pelanggan. Metode terstruktur dan analitis ini menghubungkan persyaratan fungsional untuk sistem produk dan proses parameter desain. Apabila terdapat perubahan dalam parameter desain, metode kuantitatif AD dapat dipergunakan untuk menilai sensitivitas persyaratan fungsional dalam proses tertentu. Proses reduksi variabel dengan menggunakan AD dilakukan oleh Triwidiastuti (2010) untuk menentukan faktor *critical to quality* yang dipergunakan untuk analisis proses bisnis.

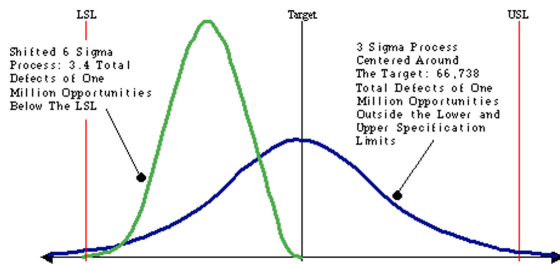
Six Sigma adalah salah satu program pengendalian kualitas yang terukur secara statistik, yang menghasilkan produk dengan spesifikasi tertentu dengan menjaga variabilitas selama proses produksi berlangsung. Variabilitas yang diperkenankan sebesar 3,4 *Defects Per Million Opportunities* (DPMO), baik untuk UCL maupun LCL. Seiring penemuan beberapa penelitian tentang *Six Sigma* dan karena kebutuhan organisasi yang semakin kompleks, diperkenalkan istilah DMAIC (*define, measure, analyse, improve*), DMADV (*define, measure, analyse, design and verify*), CDQC (*Conceptualize, Design, Optimize, Control*), dan DMADOV (*define,*

measure, analyze, design, optimize, verify). Apabila dibandingkan dengan metode peningkatan kualitas yang lain, DFSS merupakan metode yang menyeluruh, bertahap dan lebih rinci. DFSS dapat diterapkan dan merupakan bagian dari program manajemen kualitas dan program pengembangan produk yang meliputi: perencanaan kualitas, pengendalian kualitas, peningkatan kualitas dan jaminan kualitas. Sampai saat ini DFSS sudah diterapkan pada manajemen kualitas di bidang industri jasa/layanan (*service*): *service delivery*, medis dan Rumah Sakit, perbankan, *customer value creation*, IT, pendidikan tinggi; dan optimasi pada: proses manufaktur (Hu & Pieprzak, 2005), (Naeem et al. 2016), produksi formasi chip (Tanusha, Jyothilakshmi & George, 2021). Temuan Pakdil (2021) menyatakan penerapan DMAIC dalam menentukan prioritas proyek dan seleksi metodenya mempergunakan AHP (*analytic hierarchy process*) sesudah itu menggunakan MCDM (*multi-criteria decision-making methods*).

Berbasis beberapa temuan tersebut, terdapat beberapa metode reduksi variabel sebagai upaya pengendalian kualitas secara kuantitatif agar berhasil dengan efektif dan efisien. Mader (2005) menggunakan metode *Axiomatic Design* (AD) untuk proses reduksi dan segmentasi variabel untuk selanjutnya melakukan optimasi proses dan pemetaan bisnis dengan tahapan DFSS berbasis DMADV. Proses reduksi dan segmentasi metode ini berbasis pada pembobotan variabel yang memenuhi persyaratan dari segi desain strategis, organisasi, dan teknologi. Tulisan ini bertujuan untuk mengembangkan temuan Mader (2005), Hu et al. (2005), Simon (2009), Naeem (2016) dan Tanusha, Jyothilakshmi & George (2021) yang membedakan DMAIC dan DMADV dalam DFSS dan menggabungkan DFSS dengan AD. Tulisan ini akan menerapkan pendekatan tersebut pada salah satu desain pekerjaan pembangunan gedung kantor, dengan mempertimbangkan kemajuan DFSS saat ini.

PEMBAHASAN

Six Sigma adalah strategi optimasi yang digunakan untuk meningkatkan keuntungan bisnis, menghindari pemborosan, sisa/kerusakan dan kerugian, mengurangi biaya dan meningkatkan efektivitas semua aktivitas untuk memenuhi atau melampaui kebutuhan dan harapan pelanggan (Altuğ, 2023). Secara sederhana *six sigma* (6σ) dapat diterjemahkan sebagai suatu proses yang mempunyai kemungkinan cacat (*defect opportunity*) sebanyak 3,4 item dalam satu juta produk (barang maupun jasa).



Sumber: Juran Quality Handbook (2001)

Gambar 1. Target Proses dalam *Six Sigma*

Kerangka berpikir *Six Sigma* DMAIC yang sudah diterapkan untuk pengendalian kualitas pendidikan tinggi (Triwidiastuti, 2009), terdiri dari beberapa tahap seperti pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kerangka Berpikir *Six Sigma* DMAIC

Metodologi	Rincian Tahapan Metodologi
D (<i>define</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pilih karakteristik CTQ (<i>Critical to Quality</i>). 2. Tentukan standar kinerja. 3. Validasi sistem pengukuran. 4. Tentukan kapabilitas produk. 5. Tentukan sasaran kinerja.

Metodologi	Rincian Tahapan Metodologi
M (<i>measure</i>)	6. Identifikasi sumber penyebab variasi (<i>fish bone diagram, Quality Function Deployment, dll</i>).
A (<i>analyze</i>)	7. Mencari dan mengukur penyebab potensial (Pareto diagram, SPC dll.). 8. Cari dan temukan hubungan antar variabel.
I (<i>improve</i>)	9. Tentukan toleransi operasi untuk kegiatan yang akan datang. 10. Validasi pengukuran sistem (Xs). 11. Tentukan kapabilitas proses yang akan datang.
C (<i>control</i>)	12. Terapkan pengendalian proses terus menerus

Six Sigma berkaitan erat dengan analisis kapabilitas proses yaitu spesifikasi produk dan toleransinya dibandingkan dengan variasi produk yang terjadi selama masa produksi. Dengan demikian pendekatan *Six Sigma* untuk program peningkatan kualitas dititikberatkan pada toleransi variasi produk selama produksi berlangsung, ditentukan seminim mungkin (6σ). Pendekatan ini merupakan bagian dari kegiatan peningkatan proses berbasis pada pengukuran statistik, analisis kapabilitas proses, QFD (*quality function deployment*), *Taguchi loss function* dan *robust design*. Simon (2009) menguraikan persamaan dan perbedaan antara DMAIC dan DMADV (*define, measure, analyze, design dan verify*), persamaan keduanya adalah

1. metodologi Six Sigma, mengacu pada standar hasil produk kurang dari 3,4 persejuta produk cacat (DPMO = *defect part per million opportunities*);
2. berdasarkan data dan fakta, tidak mempertimbangkan intuisi;
3. cara penerapan dengan *Green Belts, Black Belts and Master Black Belts*;
4. dapat membantu pemecahan masalah bisnis dan keuangan;
5. diterapkan dengan dukungan pelanggan dan manajer.

Sedangkan perbedaannya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan DMAIC dan DMADV oleh Simon (2009)

DMAIC (Simon, 2009)	DMAIC (Tanusha, 2021)	DMADV
<i>Define:</i> menetapkan sasaran kerja secara terukur dan sesuaikan dengan harapan pelanggan (internal maupun eksternal)	<i>Define:</i> menetapkan lingkup sasaran kerja berupa peningkatan proses yang akan diselaraskan dengan strategi bisnis dan kebutuhan pelanggan	<i>Define:</i> menentukan sasaran kerja secara terukur dan harapan pelanggan (internal dan eksternal)
<i>Measure:</i> mengukur proses untuk menentukan kinerja yang sedang dilakukan saat ini	<i>Measure:</i> mengumpulkan data untuk mengukur kegagalan proses	<i>Measure:</i> mendeskripsi kebutuhan pelanggan dan menentukan spesifikasi secara terukur
<i>Analyze:</i> menganalisa dan mencari akar Penyebab dari ketidaksesuaian produk	<i>Analyze:</i> memverifikasi dan menganalisis data, mengidentifikasi penyebab dan akibat dari ketidaksesuaian produk dengan analisis <i>fishbone</i>	<i>Analyze:</i> menganalisis pilihan proses untuk memenuhi kebutuhan pelanggan

DMAIC (Simon, 2009)	DMAIC (Tanusha, 2021)	DMADV
<i>Improve:</i> meningkatkan proses dengan menghilangkan ketidaksesuaian produk	<i>Improve:</i> mengidentifikasi penyebab kegagalan, mengungkapkan wawasan untuk meningkatkan proses. Manajemen menguji-coba, mengukur dan menentukan stabilitas proses sebelum diterapkan	<i>Design:</i> merancang proses secara rinci untuk memenuhi kebutuhan pelanggan
<i>Control:</i> pengendalian kinerja proses untuk masa depan	<i>Control:</i> proses yang ditingkatkan dalam pengawasan manajemen, sehingga penyimpangan dari target dapat diketahui tepat waktu, menjaga agar cacat produk tidak terjadi & memantau proses untuk perbaikan berkelanjutan.	<i>Verify:</i> memverifikasi kinerja dari setiap detail rancangan dan memastikan spesifikasinya untuk memenuhi kebutuhan pelanggan

DMADV dipergunakan pada kondisi:

- a. proses atau produk baru yang belum ada di organisasi atau kegiatan yang memerlukan peningkatan kinerja (misalnya optimasi); dan
- b. proses atau kegiatan produksi yang sedang berlangsung saat ini dan sudah di optimasi (dengan DMAIC atau tidak), tetapi belum juga mencapai kinerja tingkat 6σ atau memenuhi kebutuhan pelanggan.

Studi Hu dan Pieprzak (2005) menemukan bahwa DMADV merupakan model yang mirip dengan DMAIC tetapi dengan fokus yang berbeda. DMAIC untuk menentukan kinerja saat ini dan menganalisis akar penyebab kerusakan/cacat dan biaya. Sedangkan DMADV untuk mendeskripsikan kebutuhan pelanggan, menganalisis, merancang pilihan proses untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.

1. **Metode Axiomatic Design**

Konsep awal *axiomatic design* yang dikembangkan oleh Suh (2001) adalah mengurangi timbulnya risiko, mengurangi biaya dan mempercepat produk sampai ke pasar/pelanggan dengan cara

- a. mendeskripsikan rancangan proses berupa rangkaian kegiatan kontinu dan terukur berdasarkan kebutuhan;
- b. menyampaikan hasilnya kepada semua pemangku kepentingan pada saat sebelum dokumentasi gambar teknis (*Computer Aided Design*);
- c. menganalisis dan mengoptimasi susunan rancangan (*design architecture*);
- d. mengerti keinginan pelanggan dengan baik kemudian dirinci sampai ke spesifikasi rancangan;
- e. mendokumentasikan dan menyampaikan hasilnya dalam logika rancangan (bagaimana dan mengapa) dengan jelas;
- f. identifikasi masalah rancangan dan menyelesaikan siklus: rancang–bangun–tes–rancang ulang dengan biaya minimal;
- g. mengamati hubungan antara rancangan struktur, penjadwalan optimal, identifikasi risiko dan minimasi risiko.

Proses *axiomatic* dapat menghasilkan deskripsi yang jelas dan rinci, yaitu

- a. tentang fungsi suatu obyek (biasanya berupa keinginan pelanggan);
- b. tentang apa saja yang akan memenuhi fungsi tersebut; dan
- c. bagaimana fungsi tersebut dapat dipenuhi.

Pendekatan *axiomatic design*

Pendekatan ini telah banyak dipergunakan karena rancangan (baik rancangan awal maupun rancang ulang) produk, proses maupun organisasi dimulai dari mendeskripsikan masalah atau kebutuhan pelanggan. Salah satu kendala adalah definisi masalah yang berlainan oleh kelompok atau individu yang berbeda. Kesulitan akan timbul menjelang akhir rancangan karena perbedaan persepsi dan untuk menghindari hal tersebut, masalah atau kebutuhan pelanggan dideskripsikan secara jelas dan rinci, sampai tahap operasional. Salah satu solusinya, perancang mempergunakan konsep AD, membantu perancang yang mendeskripsikan tahapan kegiatan rancangan sesuai dengan kebutuhan pelanggan, sehingga rancangan lebih efisien dan berhasil daripada sebelumnya (Triwidiastuti, 2010). Konsep utama dalam AD terdiri dari Domain, *Hierarchies*, *Zigzagging* dan *Design axioms*.

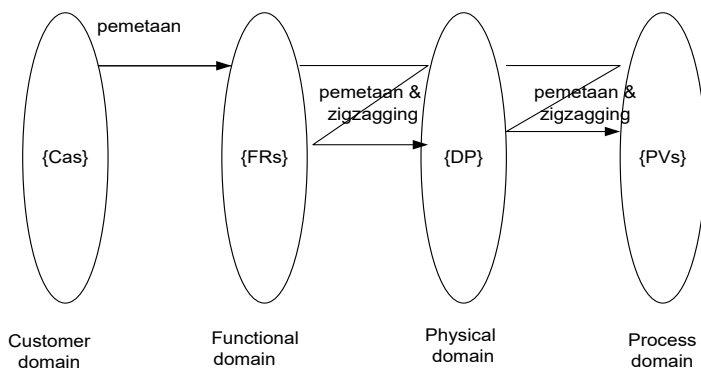
a. Domain

Domain adalah kebutuhan spesifik pada satu domain yang dipetakan pada tahap perancangan (*design*) berupa parameter-parameter karakteristik.

Tabel 3. Domain AD

Tahap Rancangan	Domain Rancangan	Elemen Rancangan
Rancangan konsep	Pelanggan	<ul style="list-style-type: none">- Kebutuhan pelanggan (CNS), adalah manfaat/keuntungan yang ingin diperoleh pelanggan.- Kebutuhan pelanggan ini diidentifikasi dan dideskripsikan ke dalam bentuk fungsional dan operasional.

Tahap Rancangan	Domain Rancangan	Elemen Rancangan
Rancangan produk	Fungsional	<ul style="list-style-type: none"> - Solusi yang telah dideskripsi secara fungsional (FRs). - Kendala yang terjadi (Cs).
Rancangan proses	Fisik	<ul style="list-style-type: none"> - Memenuhi kebutuhan fungsional. - Alternatif solusi berupa parameter rancangan (DPs). - Rencana yang dimuat dalam rancangan.
	Proses	<ul style="list-style-type: none"> - Variabel atau atribut proses.



Gambar 2. Domain AD

Domain kiri merupakan "target pencapaian" sedangkan domain kanan adalah "bagaimana cara mencapai". Setiap domain mempunyai arti sebagai berikut.

Pelanggan : Keuntungan/manfaat yang ingin diperoleh pelanggan

Fungsional : Kebutuhan fungsional dari hasil rancangan

Fisik : Parameter rancangan

Proses : Variabel atau atribut proses

Tabel 4. Notasi AD

Kebutuhan fungsional (FRs)	minimal satu set kebutuhan independen yang dapat melengkapi karakteristik kebutuhanfungsional
Hambatan (Cs)	adalah batas penyelesaian/hasil rancangan yangdapat diterima
Parameter rancangan (DPs)	unsur hasil rancangan pada domain fisik yangdipilih untuk FRs tertentu
Variabel proses(PVs)	adalah elemen pada domain proses yang menunjukkan karakteristik proses yang mencerminkan parameter rancangan

Tabel 5. Contoh Penerapan AD pada Proses Mobilisasi

Jenis Kegiatan	Domain			
	Pelanggan	Fungsional	Fisik	Proses
Pengawetan makanan	makanan supaya awet	mendinginkan makanan	kulkas (mesin pendingin)	bagaimana membuat kulkas (secara rinci)
	what →	how what →	how what →	how

Pemetaan hubungan masing-masing domain tersebut dapat berupa matriks (antara FRs dan DPs, antara DPs dan PVs).

	DP1	DP2	DP3	DP4
FR1	X	O	X	O
FR2	X	X	X	O
FR3	X	O	X	O
FRn	X	X	O	X

Dimana notasi X menyatakan berkorelasi dan O tidak berkorelasi, setiap sel menunjukkan hubungan matematis antara FR dan DP.

b. Hierarchies (Hierarki)

Konsep ke 2 dari *axiomatic design* adalah hierarki yang direpresentasikan dengan rancang bangun (*design architecture*). Dimulai dari level yang paling tinggi perancang memilih rancangan yang paling cocok kemudian dekomposisi dari FRs yang tertinggi ke FRs yang terendah. FRs yang paling tinggi dipasangkan dengan DPs yang paling tinggi. Dekomposisi ini menghasilkan lapisan level yang sesuai antara FRs dan DPs, dilakukan pada masing-masing level satu demi satu. Dekomposisi yang sama dilakukan pula untuk pasangan DPs dan PVs, dan untuk masing-masing level pula.

c. Zigzagging

Konsep ini menggambarkan proses dekomposisi rancangan ke dalam hierarki dan memasangkan masing-masing level antar domain. Perancang mengikuti pola domain "what = apa" dan "how = bagaimana" untuk setiap level hierarki.

d. Design Axiom

Aksioma 1: Independence Axioma

Merupakan bagian-bagian rancangan yang dapat dipisah (*separable*) sehingga perubahan yang terjadi pada salah satu hasil pemisahan tidak/sesedikit mungkin mempengaruhi bagian yang lain. Dengan kata lain menjaga independensi antara FRs dan DPs pada rancangan yang diterima DPs. Setiap DP diatur oleh satu FRs tanpa melibatkan FRs yang lain.

Aksioma 2: Information Axiom

Informasi sesedikit mungkin yang diterapkan pada alternatif rancangan yang sesuai dengan Aksioma 1. Rancangan terbaik adalah informasi dan rancangan produk yang minimum akan menghasilkan kemungkinan sukses *maximum*, terdiri dari 3 jenis yaitu *uncoupled*, *coupled*, dan *decoupled*.

Rancangan yang tidak sesuai dengan aksioma independen disebut *coupled*. Rancangan ini terjadi pada dua kondisi yaitu apabila terdapat lebih sedikit DPs dari pada FRs ($DPs < FRs$), sehingga beberapa FRs mempengaruhi 1 DPs. Sebaliknya 1 DPs mempengaruhi beberapa FRs. Contoh rancangan ini adalah keran air, karena setiap DP mengatur/mempengaruhi 2 FRs (mengatur suhu dan aliran air). Dapat dijelaskan sebagai berikut $FR_1 = DP_1$ dan $DP_{2'}; FR_2 = DP_1$ dan $DP_{2'}$. Sebaliknya juga $DP_1 = FR_1$ dan $FR_{2'}; DP_2 = FR_1$ dan $FR_{2'}$, sehingga

$$[A] = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 \\ 0 & A_{22} & A_{23} \\ 0 & 0 & A_{33} \end{pmatrix}$$

Uncoupled atau *decoupled* adalah rancangan yang sesuai dengan aksioma independen. Rancangan yang sesuai dengan aksioma independen dinamakan *uncoupled* atau *decoupled*. Rancangan disebut *uncoupled* apabila masing-masing DPs independen, hanya berpengaruh pada 1 (satu) FRs, tidak mempengaruhi FRs yang lain. Misalnya FR1 mempengaruhi DP1, FR2 mempengaruhi DP2, FR3 mempengaruhi DP3. Karakteristik *uncoupled* adalah semua elemen non diagonal sama dengan nol. $\{FR\} = A\{DP\}$ dengan $m = n = 3$ dimana $FR_1 = A_{11}DP_1$, $FR_2 = A_{22}DP_2$, dan $FR_3 = A_{33}DP_3$. Dinyatakan dalam bentuk matriks,

$$|A| = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix}$$

Sedangkan untuk rancangan *decoupled* terjadi pada 2 kondisi. Kondisi pertama apabila 1 DPs mempengaruhi 2 atau lebih FRs atau jumlah FRs $>$ DPs. Masalah ini dapat dipecahkan dengan menambah DPs yang memenuhi syarat. Kondisi kedua DPs cukup tetapi 1 atau lebih FRs tergantung pada satu atau lebih DPs. Bila dinyatakan dalam bentuk matriks $m \times n$

$$[A] = \begin{pmatrix} A_{32} & 0 & 0 \\ A_{22} & A_{23} & 0 \\ A_{12} & 0 & A_{11} \end{pmatrix}$$

2. Temuan Mader (2005) *Axiomatic Design* dan DFSS

Mader (2005) memandang perlu untuk melakukan pendekatan yang lebih komprehensif dan memeriksa hierarki dengan menguraikan hubungan tanpa harus memperkirakan semua fungsi transfer. Terdapat 13 tahapan dalam persyaratan proses dekomposisi yang diusulkan, yaitu

1. Mendeskripsikan kebutuhan fungsional (FRs).
2. Mendiskusikan dan buat daftar konsep rancangan yang paling layak.
3. Menyesuaikan dan urutkan konsep rancangan terhadap FR.
4. Mendiskusikan semua *output* kebutuhan fungsional (Y-FRs) dalam sistem terukur supaya menghasilkan konsep terbaik.
5. Memeriksa pemetaan Y untuk FR, dan menentukan proses dekomposisi dan memastikan seberapa jauh tingkat *coupling* diterima.
6. Menetapkan sasaran dan batas spesifikasi untuk setiap Y.
7. Memastikan target dan batas spesifikasi untuk setiap pasangan FR-Y, supaya kinerja FR dapat diterima.
8. Mendiskusikan semua masukan sistem (X) untuk konsep yang sedang dipertimbangkan.
9. Memeriksa pemetaan X ke Y, dan menentukan apakah dekomposisi dan tingkat *coupling* diterima.
10. Memeriksa pemetaan X untuk FR, dan menentukan apakah dekomposisi dan tingkat *coupling* diterima. (Catatan Langkah ini mirip dengan pendekatan Suh.)
11. Menetapkan sasaran dan batas spesifikasi untuk setiap X.
12. Memastikan target dan batas spesifikasi untuk X untuk setiap pasangan YX, supaya X diterima.
13. Memastikan target dan batas spesifikasi untuk X setiap pasangan FR-X, dapat diterima FR.

Prosedur ini membantu memetakan proses dekomposisi dan *coupling* X,Y dan FRs ke dalam sistem rancangan yang diperlukan. Ke 13 tahap ini selanjutnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan garis besar metode DFSS, yaitu DMADV (*define, measure, analyze, design and verify*). Sehingga alat ukur kualitas *Six Sigma* dapat diterapkan untuk rancangan AD. Temuan Mader (2005), Simon (2010) dan penulis dapat diuraikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. State of the Art AD, DFSS, DMAIC Two-Level Factorial Design dengan Regresi dan DMAIC

Mader		Simon	Naeem	Penulis	
<i>Axiomatic Design</i>	DMADV	DMADV	DMAIC, <i>Two-Level Factorial Design</i> dan Regresi	DMAIC	Diterapkan dalam Optimasi Proyek
Deskripsikan kebutuhan fungsional (FRs).	Tidak menjelaskan kesetaraan setiap uraian tahapan dari AD ke dalam DFSS	<i>Define</i>	<i>Define</i>	<i>Define</i>	Bangunan gedung yang aman, nyaman, layak huni, sesuai kebutuhan pengguna
Diskusikan dan buat daftar konsep rancangan yang paling layak.		<i>Define</i>	<i>Define</i>	<i>Define</i>	Merancang spesifikasi teknis, termasuk ketersediaan sumber daya (SD): dana, waktu, mesin dan peralatan, material, manajemen.

Mader		Simon	Naeem	Penulis	
<i>Axiomatic Design</i>	DMADV	DMADV	DMAIC, <i>Two-Level Factorial Design</i> dan Regresi	DMAIC	Diterapkan dalam Optimasi Proyek
Sesuaikan dan urutkan konsep rancangan terhadap FR.		<i>Define</i>	<i>Define</i>	<i>Define</i>	Memetakan alur kerja rancangan, merinci setiap kegiatan rancangan dan menetapkan kebutuhan SD pada setiap kegiatan
Diskusikan semua output kebutuhan fungsional (Y-FRs) dalam sistem terukur supaya menghasilkan konsep terbaik		<i>Measure</i>	<i>Measure, alat ukur kuantitatif Six Sigma</i>	<i>Measure, alat ukur kuantitatif Six Sigma</i>	Kebutuhan SD setiap kegiatan diperiksa ulang secara detail terhadap kebutuhan awal dan spesifikasi teknis yang ditetapkan, berdasarkan kebutuhan pelanggan dan persyaratan keamanan dan kenyamanan bangunan

Mader		Simon	Naeem	Penulis	
<i>Axiomatic Design</i>	DMADV	DMADV	DMAIC, <i>Two-Level Factorial Design</i> dan Regresi	DMAIC	Diterapkan dalam Optimasi Proyek
Periksa pemetaan Y untuk FR, dan menentukan proses dekomposisi dan memastikan seberapa jauh tingkat <i>coupling</i> diterima		<i>Measure</i>	<i>Measure</i> , Two-Level Factorial Design dan Regresi	<i>Measure</i>	Memetakan kebutuhan SD dan memastikan setiap unit kegiatan berjalan sesuai rencana. Dilakukan dengan dekomposisi setiap unit kegiatan dan <i>coupling</i> kegiatan yang dapat dipasangkan. Biasanya untuk kegiatan yang berjalan simultan, berada dalam posisi titik kritis
Tetapkan sasaran dan batas spesifikasi untuk setiap Y.		<i>Measure</i>	<i>Measure</i> , dapat diukur dengan alat ukur SPC	<i>Measure</i> , dapat diukur dengan alat ukur SPC	Menetapkan sasaran yang disesuaikan dengan target kerja. Batas spesifikasi yang dipatuhi adalah spesifikasi teknis pada setiap unit kegiatan proyek

Mader		Simon	Naeem	Penulis	
<i>Axiomatic Design</i>	DMADV	DMADV	DMAIC, <i>Two-Level Factorial Design</i> dan Regresi	DMAIC	Diterapkan dalam Optimasi Proyek
Memastikan target dan batas spesifikasi untuk setiap pasangan FR-Y, supaya kinerja FR dapat diterima		<i>Analyze</i>	<i>Analyze</i>	<i>Analyze</i>	Batas spesifikasi telah ditetapkan dalam spesifikasi teknis dan capaian kinerja
Diskusikan semua masukan sistem (X) untuk konsep yang sedang dipertimbangkan.		<i>Analyze</i>	<i>Analyze</i>	<i>Analyze</i>	Mendiskusikan semua spesifikasi teknis setiap sub unit kegiatan sesuai acuan teknis dengan pemilik, manajer, dan tenaga operasional
Periksa pemetaan X ke Y, dan menentukan apakah dekomposisi dan tingkat <i>coupling</i> diterima		<i>Measure</i> dan <i>Analyze</i>	<i>Measure,</i> <i>Analyze</i>	<i>Measure,</i> <i>Analyze</i>	Memeriksa spesifikasi teknis sub unit kegiatan yang sudah dirinci bersama, dan mencocokkan dengan persyaratan teknis

Mader		Simon	Naeem	Penulis	
<i>Axiomatic Design</i>	DMADV	DMADV	DMAIC, <i>Two-Level Factorial Design</i> dan Regresi	DMAIC	Diterapkan dalam Optimasi Proyek
Periksa pemetaan X untuk FR, dan menentukan apakah dekomposisi dan tingkat <i>coupling</i> diterima (Catatan: Langkah ini mirip dengan pendekatan Suh.)			<i>Measure</i> dan <i>Analyze</i>	<i>Measure</i> dan <i>Analyze</i>	Memeriksa spesifikasi teknis pada setiap sub unit kegiatan yang sudah dirinci bersama, dan mencocokkan dengan persyaratan teknis dan kebutuhan pelanggan
Tetapkan sasaran dan batas spesifikasi untuk setiap X		<i>Design</i>	<i>Measure</i> , diukur <i>Two-Level Factorial Design</i> dan Regresi	<i>Measure</i> , diukur Bagan Kendali	Menetapkan sasaran dan batas spesifikasi untuk setiap SD pada setiap sub unit kegiatan
Pastikan target dan batas spesifikasi untuk X untuk setiap pasangan YX, supaya X Diterima		<i>Verify</i>	<i>Improve and Control, Two-Level Factorial Design</i>	<i>Improve and Control</i>	Memastikan target dan batas spesifikasi untuk setiap sub unit kegiatan untuk setiap pasangan supaya diterima

Mader		Simon	Naeem	Penulis	
<i>Axiomatic Design</i>	DMADV	DMADV	DMAIC, <i>Two-Level Factorial Design</i> dan Regresi	DMAIC	Diterapkan dalam Optimasi Proyek
Pastikan target dan batas spesifikasi untuk X setiap pasangan FR-X, dapat diterima FR.		<i>Verify</i>	<i>Improve and Control</i>	<i>Improve and Control</i>	Memastikan target dan batas spesifikasi untuk setiap sub unit kegiatan. Dilakukan dengan mengawasi pekerjaan setiap sub unit kegiatan dan mencocokkan hasilnya dengan spesifikasi teknis yang sudah ditetapkan. Caranya dengan pertemuan periodik antara pengawas, kontraktor, dan pemilik kerja

Sedangkan kekurangan dan kelebihan kedua metode ditinjau dari sudut pandang peningkatan kualitas dan pemetaan proses bisnis disajikan dalam Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Kekurangan dan kelebihan AD dan DFSS

	<i>Axiomatic Design</i>	DFSS (DMADV)
Kekurangan	<p>Tidak ada kegiatan <i>improve</i> dalam kegiatan proses maupun kegiatan menghasilkan produk. <i>Define</i> dan <i>measure</i> dilakukan pada tahap menentukan domain target FRs maupun DPS pada domain fisik. <i>Analyse</i> dilakukan pada saat <i>looping</i> antara FRs dan DPS. <i>Improve</i> dan <i>control</i> perlu perangkat lain, tidak ada dalam AD.</p>	<p>Apabila pemetaan bisnis proses sudah dilakukan, metode ini tidak mempertimbangkan keterkaitan antar proses, baik dalam tahap <i>define</i>, <i>measure</i>, <i>analyze</i> maupun <i>improve</i>. Misalnya tahap pengukuran kualitas satu produk, tidak meninjau keterkaitan pengukuran dengan unit lain dalam proyek yang sama.</p>
Kelebihan	<p>Proses dapat dirinci dengan jelas dan cermat, karena melibatkan semua individu. Hubungan setiap FRs dan DPS dikelompokkan (<i>coupled</i>, <i>uncoupled</i> dan <i>decoupled</i>), dapat dilihat dengan jelas keterkaitan dan tingkat ketergantungan masing-masing secara subjektif. Hubungan antar FRs dengan FRs, Frs dan DPS, maupun DPS dengan DPS dipantau secara <i>real time</i>.</p>	<p>Setiap detail proses dapat diukur dengan cermat, pengukuran dilakukan dengan Bagan Kendali berbasis SPC atau MSPC. Proses diluar kendali dapat dimonitor secara <i>real time</i>. Upaya perbaikan produk yang tidak sesuai (<i>rework</i> maupun <i>reject</i>) langsung dapat dikerjakan. Kegiatan <i>improve</i> dilaksanakan <i>real time</i>, dengan mengacu pada pemetaan proses bisnis yang sudah dipetakan dalam FRs dan DPS.</p>

	<i>Axiomatic Design</i>	DFSS (DMADV)
Manfaat	Ditinjau dari sudut pandang pemetaan proses bisnis, kedua metode dapat diterapkan bersama untuk memonitor proses maupun produk, baik barang maupun jasa, karena mempertimbangkan alur kerja, target dan kepentingan masing-masing kegiatan. Sedangkan dari sudut pandang ilmu statistika pengawasan kualitas maupun manajemen kualitas yang lebih luas, AD dipandang sebuah inovasi dalam pengukuran proses karena dapat digabungkan dengan metode <i>Six Sigma</i> yang menitik beratkan proses dalam kendali statistik.	

KESIMPULAN

Tulisan ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut

1. Pendekatan AD berbasis matriks probabilitas, simulasi Monte Carlo, terdiri dari beberapa tahapan, menentukan beberapa FRs dalam domain target kerja, dan DPs dalam domain fisik. Baik FRs maupun DPs dapat saling bertautan maupun tidak. Pendekatan *Six Sigma* berbasis SPC terdiri dari *define, measure, analyse, improve dan control*, yang menitik beratkan bahwa produk dan proses berada dalam kendali statistik, dapat diukur dengan Bagan Kendali.
2. Pendekatan AD dan *Six Sigma* dapat diterapkan secara simultan, saling melengkapi untuk analisis optimasi proyek karena mengacu pada sasaran organisasi, terukur, dapat dipantau setiap saat, dan hasil capaian baik proses maupun produk dapat dibandingkan dengan target kerja. Sehingga optimasi dan kualitas proses bisnis dapat berlangsung bersama-sama.
3. Pendekatan Two-Level Factorial Design dan *Six Sigma* dapat diterapkan secara simultan, saling melengkapi untuk pekerjaan manufaktur dengan peningkatan tingkat *Six Sigma* dari 4,1 ke 3,9.

4. Pendekatan PDM (*Precedence Diagram Method* dan *Six Sigma*) dapat diterapkan secara simultan. Analisis PDM yang dikembangkan dari analisis Lintasan PERT, baik untuk tahap *Measure, Analyse, Improve*, sehingga analisis ini dapat dipergunakan untuk tahap tersebut.

Saran yang dapat disampaikan dari tulisan ini adalah perlu dilakukan uji coba penerapan di lapangan, karena rancangan tidak selalu sama dengan apa yang terjadi di dunia nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Altuğ, M., (2023). Application of six sigma through deep learning in the production of fasteners. *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. ahead-of-print no. ahead-of-print, DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2022-0191>.
- Hu, M., Pieprzak, J.M., & Glowa, J. (2005). Using axiomatic design to improve conceptual design robustness in design for Six Sigma (DFSS) methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage* 1(3) DOI:10.1504/IJSSCA.2005.008091.
- Mader, D. P. (2005). Axiomatic design and DFSS. *Quality Progress; ABI/INFORM Global*, 38(8) 77.
- Naeem K., Ullah M., Tariq A., Maqsood S., Akhtar R., Nawaz R., & Hussain I., (2016). Optimization of steel bar manufacturing process using Six Sigma. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 29(2). DOI: 10.3901/CJME.2015.1225.155.
- Pakdil, F. (2021). Six Sigma project prioritization and selection methods: A systematic literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 13(2), pp. 382-407. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-01-2021-0001>.
- Simon, K. (2009). DMAIC versus DMADV. www.isixsigma.com/library/content/c001211a.asp?action=print. Diakses pada Mei 2013.
- Suh, N.P., (2001). *Axiomatic design, advances and application*. New York, Oxford University Press.
- Tanusha, P., R. Jyothilakshmi, Raji George (2021). An experimental study based on Six Sigma approach to optimize chip formation in machining. *Materials Today: Proceedings*, 54(2), 378-385. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321063537>.

- Triwidiastuti, S. E., (2009). Peningkatan program kualitas dengan metode Six Sigma untuk jenjang pendidikan tinggi. *Bunga Rampai 2009 FMIPA- UT*, 2, September 2009, 114-124.
- Triwidiastuti, S.E., (2010). Metode Axiomatic Design sebagai alternatif reduksi variabel pada pemetaan dan analisis proses bisnis. *Makalah Seminar Nasional FMIPA*, 2010.

