
PEMILIHAN BUTIR SOAL PADA RANCANGAN TES ADAPTIF BERDASARKAN *EFFICIENCY BALANCED INFORMATION*

Agus Santoso
Jurusan Statistika FMIPA Universitas Terbuka
e-mail:aguss@ut.ac.id

Abstrak

Salah satu metode pemilihan butir soal yang populer dalam rancangan tes adaptif adalah metode Informasi Maksimum. Melalui metode ini, butir soal yang memiliki informasi maksimum pada tingkat kemampuan tertentu akan dipilih dan diberikan kepada peserta tes. Namun kelemahan dari metode ini adalah kurang akurat dalam mengestimasi tingkat kemampuan peserta pada awal tes dan lebih memilih butir dengan tingkat daya beda yang tinggi sehingga kebermanfaatan bank soal kurang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa hasil estimasi dari penerapan metode *Efficiency Balanced Information* (EBI) pada rancangan tes adaptif. Penelitian ini dilakukan melalui studi simulasi dalam setting penyelenggaraan ujian akhir semester Universitas Terbuka. Bank soal untuk keperluan simulasi dibangkitkan berdasarkan model *Item Response Theory* 3 parameter. Sebanyak 900 butir soal dalam bank soal bangkitan dengan spesifikasi parameter butir yang ideal. Dua kriteria pemilihan butir soal yang disimulasikan yaitu Informasi Maksimum dan EBI Maksimum juga dirancang agar memenuhi keseimbangan isi. Hal ini agar menjamin bahwa algoritma yang dihasilkan sesuai dengan pembelajaran modular yang diterapkan UT, artinya keterwakilan butir soal setiap modul secara proporsional dan sesuai kisi-kisi terpenuhi. Aturan pemberhentian tes menggunakan kesalahan baku estimasi (*standard error of estimation*=*SEE*) sebesar 0,3.

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa algoritma rancangan tes adaptif dengan kriteria EBI menghasilkan performa hasil estimasi kemampuan peserta yang lebih akurat dibandingkan kriteria Informasi Maksimum. Hal ini ditunjukkan oleh nilai bias dan simpangan baku pengukuran yang lebih kecil dibandingkan kriteria Informasi Maksimum. Kelebihan lain dari penerapan kriteria EBI Maksimum adalah kebermanfaatan bank soal lebih optimal karena butir-butir soal dengan tingkat daya beda rendah juga dimunculkan khususnya pada awal tes. Sedangkan kriteria Informasi Maksimum walaupun lebih efisien dari sisi panjang tes tetapi kurang optimal dalam memanfaatkan bank soal.

Kata Kunci: tes adaptif, informasi maksimum, EBI

Makalah dipresentasikan dalam Seminar Nasional Matematika dan Statistika dengan tema "Penguatan Peran Matematika dan Statistika Dalam Percepatan Pembangunan Nasional" pada tanggal 27 Februari 2014 di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Tanjungpura.

PENDAHULUAN

Penerapan berbagai metode pemilihan butir soal dalam rancangan tes adaptif merupakan hal yang menarik untuk dikaji dan diteliti. Penelitian mengenai efektivitas dan efisiensi berbagai metode pemilihan butir soal dalam rancangan tes adaptif telah dilakukan sejak sistem tes adaptif ini diperkenalkan sekitar tahun 1980 an. Metode pemilihan butir yang paling populer dan sering digunakan adalah metode Informasi Maksimum. Berdasarkan metode ini butir soal yang memberikan informasi maksimum atau yang mengurangi kesalahan pengukuran pada tingkat kemampuan tertentu akan terpilih dan diberikan kepada peserta tes. Pada penyelenggaraan tes pilihan ganda yang butir soalnya dibangun melalui model *item response theory* (IRT) 3 parameter, pemilihan butir soal berdasarkan metode Informasi Maksimum akan memilih butir soal ke- i yang memaksimalkan fungsi berikut.

$$I_i(\hat{\theta}_j) = \frac{2,89a_i^2(1-c_i)}{\left[(c_i + \exp(1,702.a_i(\hat{\theta}_j - b_i))) \left[1 + \exp(-1,702.a_i(\hat{\theta}_j - b_i)) \right] \right]^2} \quad (1)$$

sedangkan a_i , b_i , dan c_i masing-masing adalah daya beda, tingkat kesukaran, dan faktor tebakan butir ke- i .

Penerapan metode Informasi Maksimum akan menghasilkan penyelenggaraan tes yang efektif karena menghasilkan informasi tes paling maksimum untuk setiap individu peserta tes. Namun demikian, penerapan metode ini sering kurang akurat dalam mengestimasi tingkat kemampuan peserta pada awal tes serta kurang optimal dalam memanfaatkan bank soal. Untuk mengatasi kelemahan metode Informasi Maksimum, Beberapa metode pemilihan butir soal telah dikembangkan diantaranya adalah metode *Efficiency Balanced Information* = EBI (Han, 2012). Berdasarkan metode EBI Maksimum, butir soal yang memiliki nilai EBI terbesar akan dipilih dan diberikan kepada peserta tes.

$$EBI_i(\hat{\theta}_j) = \left(1 + \frac{1}{I_i(\theta_i^*)} \right) \int_{\theta_j - 2\varepsilon_j}^{\theta_j + 2\varepsilon_j} I_i(\theta) d\theta \quad (2)$$

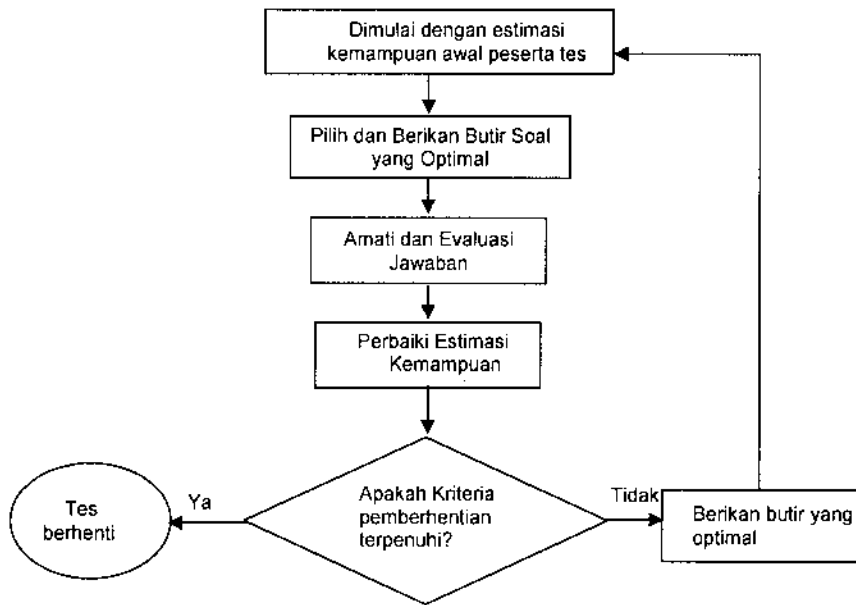
$$\text{Sedangkan } \theta_i^* = b_i + \frac{1}{Da_i} \ln \left(\frac{1 + \sqrt{1 + 8c_i}}{2} \right)$$

$I_i(\theta_i^*)$ = fungsi informasi butir pada saat tingkat kemampuan (θ) yang disesuaikan dengan tingkat kesukaran butir.

Dalam prosedur EBI, estimasi tingkat kemampuan peserta akan disesuaikan dengan tingkat kesukaran butir dan di set pada $\pm 2\varepsilon$ atau 2 *standard error of estimation* (SEE) dari estimasi kemampuan setelah butir ke- j diberikan kepada peserta tes.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui performa hasil estimasi tingkat kemampuan peserta tes pada algoritma rancangan tes adaptif dengan kriteria Informasi Maksimum dan EBI Maksimum.

Menurut Wainer (1990) pengembangan algoritma tes adaptif memerlukan perhatian pada empat komponen, yaitu: bank soal, prosedur pemilihan butir soal, pendugaan kemampuan, dan aturan pemberhentian. Berikut adalah alur pengujian algoritma tes adaptif.



Gambar 1. Bagian Alur Pengujian Algoritma Tes Adaptif

1. Memulai Tes Adaptif

Ketika tes adaptif dimulai, belum ada butir soal yang diberikan pada peserta tes, belum ada respons atau jawaban yang diberikan oleh peserta tes sehingga tes adaptif dimulai dengan mengestimasi tingkat kemampuan awal peserta tes (Green, et al. 1984; Vispoel, 1999; Mills, 1999). Jika tidak ada informasi tingkat kemampuan peserta, maka tingkat kemampuan awal peserta tes umumnya di estimasi pada rentang tingkat kemampuan sedang. Selanjutnya komputer memilih dan menyajikan atau memberikan butir soal yang optimal dengan estimasi tingkat kemampuan awal peserta tes tersebut.

2. Proses Melanjutkan

Setelah memperoleh jawaban peserta tes terhadap butir soal yang diberikan, selanjutnya komputer menskor jawaban dengan benar atau salah, kemudian memutuskan apakah tes dilanjutkan atautakah tidak. Dua langkah untuk proses melanjutkan tes adaptif, langkah pertama adalah memperbaiki atau mengestimasi tingkat kemampuan peserta tes; langkah kedua adalah bagaimana memilih butir soal berikutnya.

Metode Estimasi Tingkat Kemampuan: *Maximum Likelihood Estimation (MLE)*

Misalkan seorang peserta tes dengan tingkat kemampuan θ menjawab tes yang berisi n butir soal pilihan ganda dengan parameter butir soal diketahui. Peluang bersama dari peserta tes dapat dituliskan sebagai $P(U_1, U_2, \dots, U_n | \theta)$. Selanjutnya jika asumsi independensi lokal diterapkan maka fungsi kemungkinannya dituliskan sebagai berikut

$$L(\theta) = P(U_1 = u_1, U_2 = u_2, \dots, U_n = u_n | \theta) = \prod_{i=1}^n P_i(\theta)^{u_i} (1 - P_i(\theta))^{1-u_i} \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, n, -\infty < \theta < \infty$

$P_i(\theta)$ adalah peluang menjawab benar dari peserta tes yang berkemampuan θ pada butir soal ke- i .

Tujuan MLE adalah menemukan nilai θ yang memaksimumkan fungsi kemungkinan, yang pada prakteknya, sering dilakukan menggunakan prosedur Newton-Raphson (Hambleton dan Swaminathan, 1985; Embretson dan Raise, 2000). Satu masalah dengan penerapan metode MLE pada tes adaptif adalah ketidakmampuan fungsi kemungkinan untuk menemukan solusi

maksimum ketika peserta tes menjawab semua butir soal dengan benar atau salah. Jalan keluar untuk mengatasi ketidakmampuan ini digunakan metode *step-size* (Dodd, 1990).

Pemilihan Butir Soal Berikutnya

Setelah kemampuan peserta diestimasi kembali, kemudian komputer mesti memilih butir soal berikutnya. Dua metode yang digunakan untuk memilih butir soal berikutnya, yaitu metode pemilihan menggunakan Informasi butir soal Maksimum (Lord, 1980) dan metode *Efficiency and Balanced Information* (Han, 2012). Kedua metode pemilihan butir soal selanjutnya dapat dikombinasikan dengan keseimbangan konten (*content balance*).

Penelitian ini dilakukan melalui studi simulasi. Bank soal untuk keperluan simulasi dibangun melalui bank soal data bangkitan dengan model IRT 3 parameter dengan karakteristik butir-butir soal yang ideal, yaitu tingkat daya beda pada rentang 0,7 sampai 2,0, tingkat kesukaran berdistribusi normal baku, dan faktor tebakan pada rentang 0,0 sampai 0,25. Sebanyak 900 butir soal dijadikan sebagai bank soal untuk keperluan simulasi. Kemampuan peserta tes yang disimulasikan pada 31 titik tingkat kemampuan (*theta*) dari rentang tingkat kemampuan -3,0 sampai +3,0. Setiap titik tingkat kemampuan diulang sebanyak 100 kali.

Rancangan algoritma tes adaptif yang disimulasikan adalah sebagai berikut.

1. Estimasi awal kemampuan peserta dari - 0,5 sampai +0,5
2. Pemilihan butir soal menggunakan metode Informasi Maksimum dan EBI Maksimum
3. Metode estimasi peserta setelah peserta menjawab butir soal menggunakan metode *Maximum Likelihood*
4. Aturan pemberhentian tes menggunakan batas SEE = 0,30.

Nilai SEE sebesar ini setara dengan tingkat reliabilitas sebesar 91 persen pada penyelenggaraan tes konvensional menggunakan *paper and pencil test* (Weiner, 1990).

Rancangan algoritma tes adaptif di set sesuai dengan penyelenggaraan Sistem Ujian Online Universitas Terbuka (SUO-UT). Di samping menerapkan metode EBI untuk memilih butir soal yang akan diberikan kepada peserta, tetapi juga mengikuti setting pembelajaran moduler yang diterapkan UT, dengan kata lain butir-butir soal yang dipilih dan diberikan harus urut modul sehingga keterwakilan butir soal setiap modul secara proporsional dan sesuai kisi-kisi terpenuhi.

Simulasi dilakukan menggunakan program SAS versi 9. Program ini dipilih karena kelebihanannya dalam mengolah data berstruktur matriks menggunakan prosedur IML (*Interactive Matrix Language*). Selanjutnya evaluasi penerapan metode pemilihan butir soal dalam rancangan tes adaptif dilakukan terhadap banyaknya butir soal yang diperlukan atau panjang tes, performa hasil estimasi melalui tiga kriteria, yaitu: korelasi, bias, dan kesalahan baku pengukuran (*standard error of measurement* = SEM). Korelasi adalah hubungan tingkat kemampuan sesungguhnya (*true theta*, θ) dengan rata-rata estimasi tingkat kemampuan (*theta* estimasi, $\hat{\theta}$). Semakin besar korelasi semakin dekat rata-rata estimasi tingkat kemampuan terhadap tingkat kemampuan sesungguhnya. Bias adalah selisih antara estimasi tingkat kemampuan dengan kemampuan sesungguhnya, sedangkan kesalahan baku pengukuran (*Standard Error of Measurement* = SEM) mengindikasikan kesalahan acak pada pengestimasian tingkat kemampuan tertentu. Kesalahan ini juga menggambarkan presisi dari pengestimasian kemampuan. Evaluasi juga dilakukan untuk mengetahui proporsi penggunaan butir soal berdasarkan dua metode pemilihan butir soal yang disimulasikan.

PEMBAHASAN

Sebanyak 900 butir soal dalam Bank Soal untuk keperluan simulasi dibangkitkan menggunakan software WinGen versi 2. Ringkasan statistika parameter bank soal bangkitan disajikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Ringkasan Statistik Parameter Butir Soal pada Bank Soal Bankitan

Parameter	Mean	Std-deviasi	Min.	Maks.
Daya beda (a)	1,325	0,366	0,70	2,00
Tingkat kesukaran (b)	0,032	0,980	-3,27	3,62
Faktor Tebakan atau <i>Guessing</i> (c)	0,127	0,722	0,00	0,25

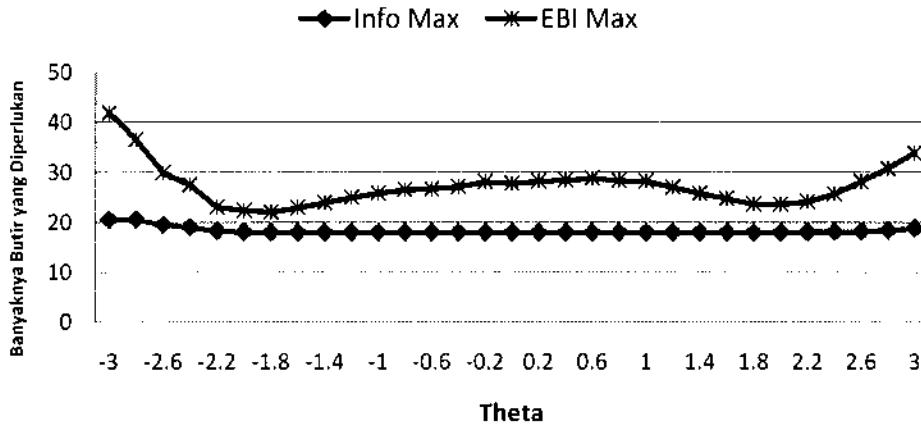
Berdasarkan tabel 1 terlihat bahwa dari 900 butir soal dalam bank soal data bangkitan yang dibangun sudah sesuai dengan kriteria parameter butir soal yang ideal, yaitu daya beda butir merentang dari 0,7 sampai 2,0; tingkat kesukaran butir soal menyebar normal baku, dan faktor tebakan merentang dari 0,0 sampai 0,25 yang sesuai dengan banyaknya option/pilihan pada perangkat tes SUO-UT yaitu sebanyak 4, sehingga peluang menebak benar adalah 0,25.

Panjang Tes

Panjang tes atau banyaknya butir soal yang diperlukan untuk rancangan tes adaptif dengan metode Informasi Maksimum dan EBI Maksimum pada setiap tingkat kemampuan peserta tes yang disimulasikan disajikan pada tabel 2 dan gambar 2.

Tabel 2. Panjang Tes Rancangan Tes Adaptif Kriteria Info Maks dan EBI Maks.

Theta	Info Max	EBI Max
-3	21	42
-2.8	21	36
-2.6	20	30
-2.4	19	27
-2.2	18	23
-2	18	22
-1.8	18	22
-1.6	18	23
-1.4	18	24
-1.2	18	25
-1	18	26
-0.8	18	27
-0.6	18	27
-0.4	18	27
-0.2	18	28
0	18	28
0.2	18	28
0.4	18	28
0.6	18	29
0.8	18	28
1	18	28
1.2	18	27
1.4	18	26
1.6	18	25
1.8	18	24
2	18	24
2.2	18	24
2.4	18	26
2.6	18	28
2.8	18	31
3	19	34

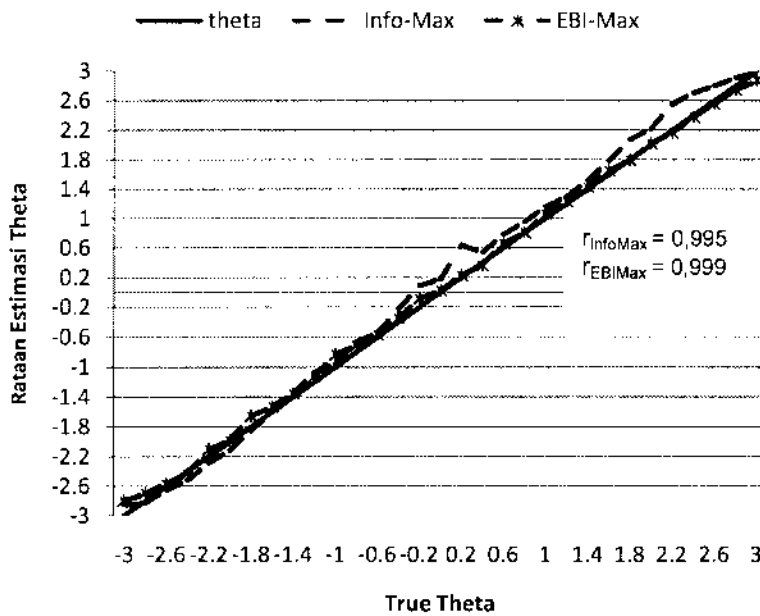


Gambar 2. Panjang Tes Rancangan Tes Adaptif Metode Info Maks dan EBI Maks.

Berdasarkan tabel 2 dan gambar 2 terlihat bahwa penerapan metode Informasi Maksimum memerlukan butir soal secara rata-rata sebanyak 18 butir soal, sedangkan untuk kriteria EBI Maksimum memerlukan butir soal rata-rata sebanyak 25 butir soal sampai peserta tes diberhentikan tesnya. Dengan demikian dari sisi panjang tes metode Informasi Maksimum lebih efisien dibandingkan metode EBI Maksimum.

Performa Estimasi Tingkat Kemampuan

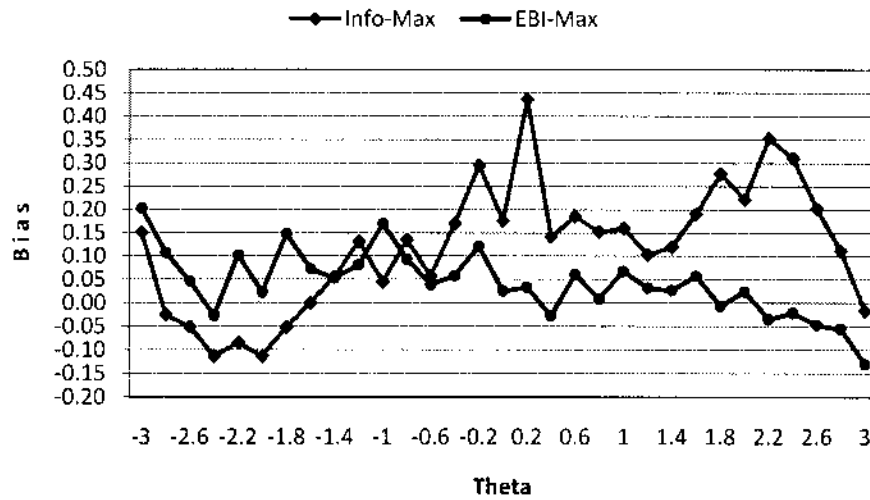
Performa hasil estimasi tingkat kemampuan dapat dilihat melalui nilai korelasi, bias dan kesalahan baku pengukuran. Hubungan antara *true theta* dengan rata-rata estimasi theta dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



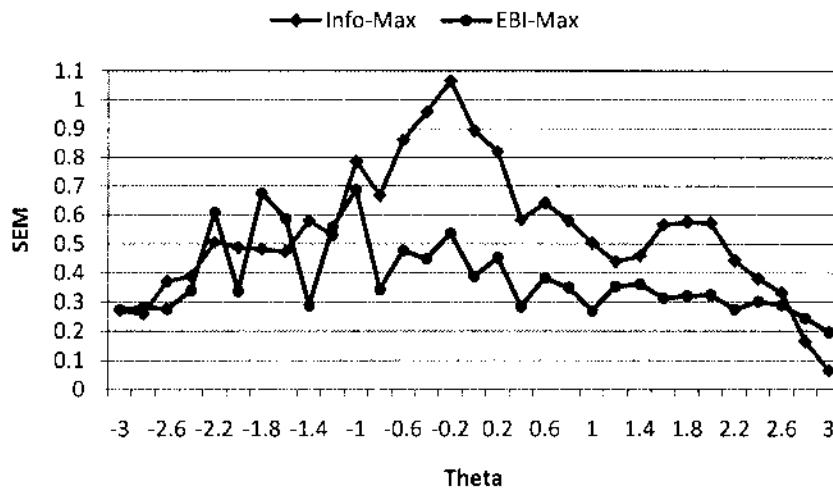
Gambar 3. Korelasi *True Theta* dan Rataan Estimasi Theta

Berdasarkan gambar 3 terlihat bahwa hubungan antara *true theta* dengan rata-rata estimasi theta dari penerapan metode EBI Maksimum lebih dekat dibandingkan metode Informasi Maksimum. Hal ini juga ditunjukkan dari nilai korelasi untuk metode EBI Maksimum sebesar 0,999 yang lebih besar dibandingkan metode Informasi Maksimum sebesar 0,995.

Bias dan kesalahan baku pengukuran dari penerapan metode Informasi Maksimum dan EBI Maksimum dapat dilihat pada gambar 4 dan 5 berikut.



Gambar 4. Bias Info Maks dan EBI Maks.

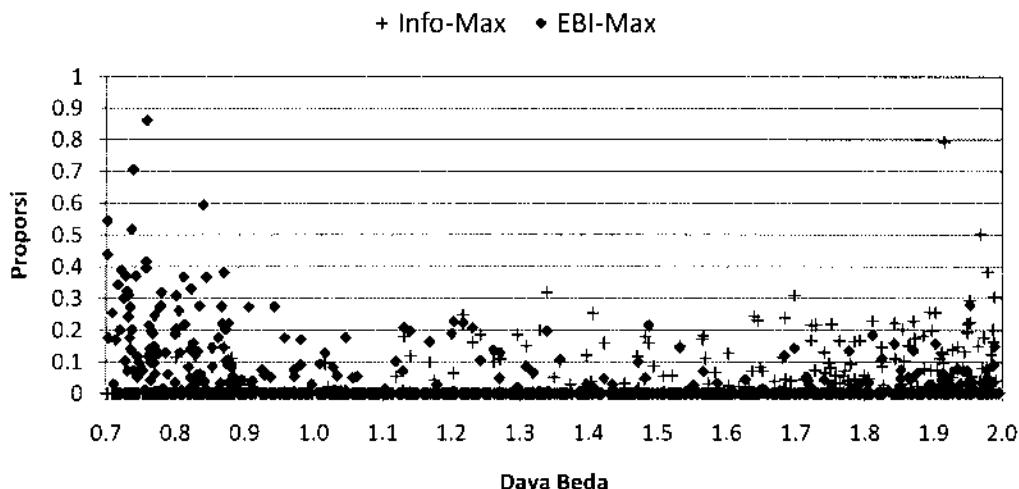


Gambar 5. SEM Info Maks dan EBI Maks.

Berdasarkan gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa bias dan kesalahan baku pengukuran (*standard error of measurement* = SEM) rancangan tes adaptif menggunakan metode EBI Maksimum lebih rendah dibandingkan metode Informasi Maksimum. Ini berarti metode EBI Maksimum lebih akurat dibandingkan metode Informasi Maksimum. Berdasarkan kriteria korelasi, bias, dan SEM maka penerapan metode pemilihan butir soal dalam rancangan tes adaptif menggunakan EBI Maksimum lebih baik dibandingkan metode Informasi Maksimum.

Frekuensi atau proporsi butir soal yang digunakan disajikan pada gambar 6. Berdasarkan gambar 6 terlihat bahwa berdasarkan daya beda butir proporsi penggunaan butir soal berbeda untuk dua metode pemilihan butir soal. Butir-butir soal dengan tingkat daya beda butir tinggi

lebih sering terpilih untuk metode pemilihan butir menggunakan Informasi Maksimum, sedangkan untuk metode EBI menunjukkan hal yang sebaliknya, yakni butir-butir soal dengan daya beda rendah lebih sering terpilih dibandingkan butir-butir soal dengan daya beda tinggi. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pada pemilihan butir dengan metode Informasi Maksimum, butir-butir soal dengan daya beda tinggi lebih sering dimunculkan pada awal tes sedangkan butir-butir soal dengan daya beda rendah dimunculkan pada akhir-akhir tes.



Gambar 6. Proporsi Penggunaan Butir Soal

Selanjutnya metode EBI Maksimum menunjukkan hal yang sebaliknya yaitu butir-butir soal dengan daya beda rendah lebih sering dimunculkan pada awal tes sedangkan butir-butir soal dengan daya beda tinggi lebih sering dimunculkan di akhir tes. Dengan demikian metode EBI Maksimum lebih memanfaatkan bank soal dibandingkan metode Informasi Maksimum yang jarang memanfaatkan butir-butir soal dengan daya beda rendah. Pertanyaan apakah butir soal pertama dalam rancangan tes adaptif yang dipilih harus yang memiliki daya beda butir tinggi (Veerkamp dan Berger, 1997; Kit dan Chang, 2001), melalui metode EBI Maksimum dapat terjawab.

Metode Informasi Maksimum menghasilkan panjang tes lebih sedikit dibandingkan metode EBI Maksimum. Hal ini merupakan konsekuensi logis dari metode Informasi Maksimum yang memilih butir soal dengan nilai fungsi informasi yang tertinggi. Nilai Informasi butir soal tertinggi akan diperoleh dari butir soal dengan tingkat daya beda yang tinggi. Semakin sering butir-butir soal dengan daya beda butir yang tinggi terpilih dan diberikan pada awal tes semakin sedikit jumlah butir soal yang diperlukan untuk tes diberhentikan. Kemudian karena metode Informasi Maksimum sangat dipengaruhi oleh nilai daya beda, maka butir soal yang dipilih sangat dipengaruhi oleh daya beda butir tanpa menghiraukan apakah butir soal itu sesuai atau tidak dengan tingkat estimasi kemampuan setiap individu peserta tes khususnya di awal tes, akibatnya penerapan metode Informasi Maksimum kurang akurat dalam mengestimasi kemampuan peserta khususnya di awal tes. Frekuensi atau proporsi butir soal yang dipilih dipengaruhi tingkat daya beda butir dan tidak dipengaruhi oleh tingkat kesukaran butir dan faktor tebakan. Berdasarkan metode Informasi Maksimum, butir-butir soal dengan tingkat daya beda tinggi lebih sering dipilih pada awal tes dan butir soal dengan daya beda rendah jarang dipilih, sedangkan berdasarkan metode EBI Maksimum butir-butir soal dengan daya beda rendah sering dipilih di awal tes dan butir-butir soal dengan daya beda tinggi dipilih di akhir. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan metode EBI lebih mengoptimalkan kebermanfaatan bank soal dibandingkan metode Informasi Maksimum. Hal ini juga merupakan konsekuensi logis dari metode Informasi Maksimum yang sangat dipengaruhi oleh tingkat daya beda butir berakibat

kurang optimalnya kebermanfaatan bank soal, karena butir-butir soal dengan daya beda rendah jarang terpilih untuk diberikan kepada peserta tes. Hal sebaliknya terjadi pada penerapan metode EBI Maksimum. Berdasarkan metode ini butir soal dengan daya beda rendah akan terpilih di awal tes dengan tingkat kemampuan setiap individu peserta tes disesuaikan dengan tingkat kesukaran butir soal dan butir-butir soal dengan daya beda tinggi akan terpilih di akhir tes. Dengan demikian, dengan penerapan metode EBI Maksimum akan menghasilkan estimasi tingkat kemampuan yang akurat dan menjamin kebermanfaatan dari bank soal. Hasil penelitian simulasi ini juga sejalan dengan hasil penelitian Han (2012). Perbedaan penelitian ini dengan penelitian Han adalah pada algoritma rancangan tes adaptif, bank soal, dan software simulasi.

KESIMPULAN

Performa estimasi tingkat kemampuan berdasarkan metode EBI Maksimum lebih baik dibandingkan metode Informasi Maksimum. Hal ini ditunjukkan oleh nilai korelasi antara tingkat kemampuan sesungguhnya dengan estimasi tingkat kemampuan yang lebih tinggi untuk metode EBI Maksimum dibandingkan Informasi Maksimum. Hal senada juga ditunjukkan dari nilai bias dan kesalahan baku pengukuran dari metode EBI Maksimum yang lebih kecil dibandingkan Informasi Maksimum. Kebermanfaatan butir soal pada bank soal juga lebih optimal untuk metode EBI Maksimum dibandingkan Informasi Maksimum. Berdasarkan hasil simulasi maka jika UT akan mengembangkan tes adaptif kedalam SUO-UT sebaiknya menerapkan metode EBI untuk pemilihan butir soal, karena di samping menghasilkan performa hasil estimasi yang akurat juga dapat mengoptimalkan penggunaan bank soal.

DAFTAR PUSTAKA

- Dodd, B.G. 1990. The effect of item selection procedure and stepsize on computerized adaptive attitude measurement using the rating scale model. *Applied Psychological Measurement*, 4, 355 – 366.
- Embretson, S.E. & Rouse, S.P. 2000. *Item response theory for psychologists*. London: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Green, B.F., Bock, R.D., Humphreys, L.G., et al. 1984. Technical guidelines for assessing computerized adaptive tests. *Journal of Educational Measurement*, 4, 347 – 360.
- Hambleton, R.K. & Swaminathan, H. 1985. *Item response theory: Principles and applications*, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.
- Han, K.T. 2012. An efficiency balanced information criterion for item selection in computerized adaptive testing. *Journal of Educational Measurement*, 3, 225 – 246.
- Han, K.T., & Hambleton, R.K. 2007. *User's manual for WinGen: Windows software that generates IRT model parameters and item responses*. Amherst, MA: University of Massachusetts.
- Kit, T.H., & Chang, H.-H. 2001. Item selection in computerized adaptive testing : Should more discriminating item be used first? *Journal of Educational Measurement*, 3, 249 – 266.
- Lord, F.M. 1980. *Applications of item response theory to practical testing problems*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Mills, C.N. 1999. Development and introduction of a computerized adaptive graduate record examinations general test. Dalam F. Drasgow & J. B. Olson-Buchanan (Eds), *Innovations in Computerized Assessment* (pp. 117–136). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Veerkamp, W.J.J. & Berger, M.P.F. 1997. Some new item selection criterion for adaptive testing. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 2, 203 – 226.

-
- Vispoel, W.P. 1999. Creating computerized adaptive test of music aptitude : Problem, solutions, and future directions. Dalam F. Drasgow, & J. B. Olson-Buchanan (Eds.), *Innovations in Computerized Assessment* (pp. 151 –176). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Wainer, H., et al. 1990. *Computerized adaptive testing: A primer* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.