

Perbandingan Akurasi dan Presisi Perhitungan *Resting Energy Expenditure* (REE) Menggunakan *Rule of Thumb*, Modifikasi Harris–Benedict, dan Penn State terhadap Kalorimetri Indirek pada Pasien ICU

Cindy Giovanni,^{1,2} Tinni Trihartini Maskoen,² Budiana Rismawan²

¹ Rumah Sakit Umum Daerah Sumedang, Indonesia

² Departemen Anestesiologi dan Terapi Intensif Fakultas Kedokteran Universitas Padjadjaran/RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung, Indonesia

Abstrak

Penentuan kebutuhan energi pada pasien kritis sangat penting untuk mencegah *underfeeding* maupun *overfeeding* yang dapat meningkatkan morbiditas dan mortalitas. Penelitian ini bertujuan membandingkan akurasi dan presisi tiga rumus prediktif-Harris-Benedict modifikasi ($HBE \times 1,25$), *Penn State* (PSU), dan *Rule of Thumb* (ROT)-dengan kalorimetri indirek (IC) sebagai *gold standard* pada pasien ICU dengan ventilasi mekanik. Desain penelitian ini adalah observasional analitik terhadap 30 pasien di RSUP Dr. Hasan Sadikin dan RSUD Sumedang yang memenuhi kriteria inklusi. REE dihitung menggunakan ketiga rumus prediktif dan dibanding dengan hasil IC. Akurasi tertinggi diperoleh dari PSU (63,33%), diikuti ROT (46,67%) dan $HBE \times 1,25$ (30,00%) ($p < 0,05$). Presisi tertinggi juga ditemukan pada PSU (ICC=0,713), diikuti $HBE \times 1,25$ (0,592) dan ROT (0,462). Analisis Bland–Altman menunjukkan bias terkecil pada PSU (-81,56 kkal), dibanding dengan $HBE \times 1,25$ (-60,41 kkal) dan ROT (123,72 kkal). Simpulan, rumus PSU memiliki akurasi dan presisi terbaik dalam memperkirakan REE pada pasien kritis. Namun, pemantauan individual tetap diperlukan karena potensi bias.

Kata kunci: Kalorimetri indirek; pasien kritis; pengeluaran energi saat istirahat; rumus prediktif; unit perawatan intensif

Comparison of the Accuracy and Precision of Resting Energy Expenditure (REE) Estimates Using the Rule of Thumb, Modified Harris–Benedict, and Penn State Equations Versus Indirect Calorimetry in ICU Patients

Abstract

Determining accurate energy requirements in critically ill patients is essential to avoid underfeeding or overfeeding, both of which are associated with increased morbidity and mortality. This study aimed to compare the accuracy and precision of three predictive equations—modified Harris-Benedict ($HBE \times 1.25$), Penn State (PSU), and Rule of Thumb (ROT)—against indirect calorimetry (IC), the gold standard, in ICU patients receiving mechanical ventilation. This observational analytic study involved 30 patients from Dr. Hasan Sadikin General Hospital and Sumedang Regional Hospital who met the inclusion criteria. REE was calculated using each equation and compared with the IC results. The PSU equation demonstrated the highest accuracy (63.33%), followed by ROT (46.67%) and $HBE \times 1.25$ (30.00%) ($p < 0.05$). PSU also had the highest precision (ICC = 0.713), compared to $HBE \times 1.25$ (0.592) and ROT (0.462). Bland–Altman analysis showed the smallest bias in PSU (-81.56 kcal), while $HBE \times 1.25$ and ROT had biases of -60.41 kcal and +123.72 kcal, respectively. Conclusion, among the evaluated predictive equations, the PSU formula demonstrated the best accuracy and precision for estimating REE in critically ill patients. Nonetheless, individualized monitoring remains essential due to potential estimation bias.

Keywords: Critically ill; indirect calorimetry; intensive care unit; predictive equations; resting energy expenditure

Korespondensi: Cindy Giovanni, dr., SpAn., Subsp.TI. (K)., Rumah Sakit Umum Daerah Sumedang, Jl Palasari No. 80 Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, Indonesia, E-mail: cindygiovanni.cg@gmail.com

Pendahuluan

Penentuan jumlah kebutuhan nutrisi pada pasien kritis berbeda dengan populasi normal dan sulit untuk diprediksi karena banyak faktor yang terlibat di dalamnya seperti respons stres, status inflamasi, aktivitas otak, dan penggunaan obat-obatan, yang dapat memengaruhi *resting energy expenditure* (REE).¹ Penghitungan kalori optimal pada pasien kritis masih menjadi perdebatan karena pemberian nutrisi merupakan faktor penting yang memengaruhi luaran.²⁻⁴ *Underfeeding* maupun *overfeeding* berhubungan dengan peningkatan lama rawat dan mortalitas.^{2,4}

American Society of Parenteral and Enteral Nutrition (ASPEN) dan *European Society of Parenteral and Enteral Nutrition* (ESPEN) merekomendasikan penggunaan kalorimetri indirek sebagai *gold standard* untuk mengukur *energy expenditure* (EE) pada pasien sakit kritis. Apabila kalorimetri indirek tidak dapat digunakan, penghitungan EE dapat dilakukan menggunakan rumus metode *rule of thumb* (25–30 Kkal/kgBB/har).^{2,4-8}

Kalorimetri indirek mengukur konsumsi oksigen (VO_2) dan produksi karbon dioksida (VCO_2) dalam keadaan *steady state* untuk menghitung REE secara *real time*, namun kondisi instabilitas seperti agitasi dan demam, penggunaan sedatif serta obat vasoaktif dapat menurunkan akurasi pengukuran REE. Pasien dengan *chest tube*, *positive end expiratory pressure* (PEEP) ≥ 10 , fraksi oksigen inspirasi (FiO_2) $\geq 70\%$, serta pasien dengan *extracorporeal membrane oxygenation* (ECMO) atau *continuous renal replacement therapy* (CRRT) tidak dapat diukur kalorimetri indirek. Keterbatasan aksesibilitas alat, kesulitan interpretasi serta kebutuhan waktu khusus juga membatasi penggunaan kalorimetri indirek secara rutin.^{1,2}

Rumus prediktif memiliki keunggulan dibanding dengan kalorimetri indirek karena praktis dan tidak memerlukan pengumpulan data yang kompleks, namun terdapat beberapa kelemahan utamanya adalah akurasi yang rendah terutama pada pasien dengan berat badan ekstrem, usia lanjut,

ras variabilitas metabolisme pasien kritis.³ Beberapa rumus prediktif menggunakan parameter antropometrik seperti tinggi, berat badan, dan jenis kelamin, sedangkan rumus lain menambahkan variabel fisiologis seperti ventilasi semenit dan suhu untuk menghitung REE.^{1,9}

Performa rumus prediktif ditentukan oleh jumlah variabel yang berkontribusi terhadap perubahan REE.⁴ Penelitian sebelumnya menyatakan tinggi badan, berat badan, ventilasi semenit dan usia merupakan faktor utama yang berkontribusi hingga 44,2% terhadap variasi REE.⁴⁻⁶ Perbandingan antara rumus statis (usia, tinggi badan dan berat badan) dengan variabel dinamis (ventilasi semenit) menunjukkan bahwa rumus kalorimetri indirek.⁷

Metode *rule of thumb* memiliki akurasi 12–62%.^{1,8,9,15-18} Rumus Harris-Benedict menggunakan berat badan, tinggi badan, usia, dan jenis kelamin sebagai variabel penambahan *stress factor* antara 1,1–1,6 pada pasien kritis yang menghasilkan akurasi 36,2–61%.^{1,7,10, 11} Rumus *Penn State* menggunakan variabel Harris-Benedict dengan penambahan usia, suhu dan ventilasi semenit, dengan akurasi 36,3 hingga 75%.^{1, 3,,7, 8, 11-13}

Penelitian ini, bertujuan membandingkan akurasi dan presisi rumus *rule of thumb* (ROT), modifikasi Harris-Benedict (HBEx1,25), dan *Penn State* terhadap kalorimetri dalam menghitung REE pada pasien kritis.

Subjek dan Metode

Penelitian dilakukan pada 30 pasien ICU RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung dan RSUD Sumedang yang diambil secara berurutan (*consecutive sampling*) dengan ventilasi mekanik. Kriteria inklusi adalah: Usia 18–65 tahun yang dirawat ≥ 24 jam di ICU; menggunakan ventilasi mekanik dengan kondisi *steady state* minimal >30 menit; body mass index (BMI) 18,5–30. Kriteria eksklusi meliputi: pasien yang menjalani hemodialisa; pasien dengan *chest tube*; pasien dengan sedasi berat atau penggunaan pelumpuh otot; kebutuhan *fraction of inspired oxygen* (FiO_2) $> 0,6$;

kebutuhan *positive end-expiratory pressure* (PEEP) > 12 cmH₂O, dan laju respirasi > 35 kali/menit. Pasien yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi dilakukan pengukuran kebutuhan kalori/*estimated energy requirement* (EER) setelah 24 jam perawatan ICU menggunakan modul kalorimetri indirek pada ventilator.

Pengukuran dilakukan setelah kondisi *steady state* tercapai selama 30 menit, yang didefinisikan sebagai *volume of oxygen consumption coefficient of variance* (VO₂CV) dan *volume of carbon dioxide consumption coefficient of variance* (VCO₂CV) ≤ 5% dengan rerata *respiratory quotient* fisiologis 0,67–1,3. Parameter yang dicatat meliputi berat badan (BB), tinggi badan (TB), suhu maksimal dalam 24 jam, (T_{max}) dan rerata ventilasi semenit *minute ventilation* (V_e). Berat badan diukur menggunakan timbangan terstandar y pada tempat tidur ICU, sedangkan tinggi badan diukur dalam posisi berbaring lurus di atas tempat tidur ICU.

Perhitungan REE menggunakan rumus prediktif REE berdasarkan rumus sebagai berikut :

Harris Benedict (HBE x 1,25) :

Untuk pria:

$$REE = (66,47 + (13,75 \times BB) + (5,00 \times TB) - (6,76 \times \text{usia})) \times 1,25$$

Untuk wanita:

$$REE = (655,10 + (9,56 \times BB) + (1,85 \times TB) - (4,68 \times \text{usia})) \times 1,25$$

Penn State Equation (PSU) :

$$REE = (HBE \times 0,85) + (T_{max} \times 175) + (V_e \times 33) - 6344$$

Rule of Thumb Formula:

Jika BMI 18,5 – 24,9:

$$REE = 30 \text{ kkal / kg BB aktual}$$

Jika BMI 25 – 29,9:

$$REE = 25 \text{ kkal / kg BB aktual}$$

Hasil pengukuran dan perhitungan dicatat pada lembar data penelitian. Akurasi ditentukan berdasarkan proporsi kesalahan estimasi 10% (nilai prediktif 90–110% dari kalorimetri indirek). Presentase bias dihitung dengan *root mean square percentage error* (RMSPE). Presisi ditentukan menggunakan *interclass correlation coefficient* (ICC)

ICC < 0,40 = *poor agreement*; ICC > 0,40 s/d < 0,60 = *moderate agreement*; ICC > 0,60 s/d < 0,80 = *good agreement*; ICC > 0,80 = *very good agreement*.

Bland Altman plot dengan *confidence interval* (CI) 95% untuk menentukan *limit of agreement* (LOA) antara rumus prediktif dan indirek kalorimetri.

Uji hipotesis dilakukan dengan membandingkan akurasi dan presisi REE setiap rumus prediktif (HBE x 1,25 vs PSU vs ROT) menggunakan uji McNemar dengan nilai signifikansi p < 0,05. Analisis data dilakukan *Microsoft Excel* 2021 dan *SPSS* versi 22.0.

Hasil

Penelitian ini dilakukan pada 30 pasien ICU ventilasi mekanik dengan modul pengukuran kalorimetri indirek. Karakteristik subjek penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Penghitungan akurasi proporsi kesalahan estimasi 10% menunjukkan bahwa rumus PSU memiliki akurasi tertinggi. Overestimasi, underestimasi dan bias (RMSPE) dihitung sebagai hasil tambahan. Perbandingan nilai akurasi antar rumus prediktif diuji dengan McNemar untuk melihat signifikansinya (p < 0,05).

Berdasarkan data Tabel 3 didapatkan rumus dengan akurasi tertinggi adalah rumus PSU. Akurasi paling rendah pada rumus HBE x 1,25. Data tambahan berdasarkan kalkulasi *fixed stress factor* menunjukkan rentang nilai akurasi 23,33–43,33%. Angka tersebut masih lebih rendah dari nilai akurasi yang didapat menggunakan rumus REE-ROT. Nilai presisi rumus prediktif juga dihitung pada penelitian ini dengan ICC PSU paling tinggi sebesar 0,713 dan paling rendah pada ROT sebesar 0,462.

Analisis *Bland Altman Plot* memperlihatkan bias terkecil PSU dengan rerata perbedaan terhadap kalorimetri indirek sebesar -81,56 Kkal (95% CI: -534,43 s/d 371,31 Kkal). Sedangkan ROT menunjukkan bias terbesar sebesar 123,72 Kkal (95% CI: -465,33 s/d 712,76 Kkal). Sebaran titik pada *Bland-Altman plot* menunjukkan rumus PSU paling mendekati hasil IC, sedangkan ROT memiliki

Tabel 1 Karakteristik Subjek Penelitian

Variabel	n (%)	Rerata ($\pm$ SD)	Median (min.-maks.)
Usia (tahun)			56 (18–65)
Jenis kelamin			
Laki-laki	14 (46,7)		
Perempuan	16 (53,3)		
Berat badan aktual (kg)		57,8 (9,4)	
Berat badan ideal (kg)		58,4 (6,1)	
Tinggi badan (cm)		160,9 (8,4)	
BMI			
18,5–24,9	25 (83,3)		
25–30	5 (16,7)		
Balans		565,9 (684,5)	
APACHE II		13,53 (3,26)	
SOFA		4,17 (1,42)	

sebaran yang lebih jauh dari IC (Gambar 1–3). Rentang kesalahan perhitungan REE-ROT menunjukkan dengan REE-IC sebesar 123,72 Kkal (95% CI; -465,33 s/d 712,76 Kkal). Pada Gambar 3 tampak sebaran titik kalkulasi menggunakan rumus REE-ROT jauh dari hasil perhitungan REE-IC.

Pembahasan

Akurasi dan presisi merupakan parameter yang sering digunakan untuk menggambarkan kualitas pengukuran.¹⁴ Akurasi menunjukkan kedekatan nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya atau standar baku sedangkan presisi menggambarkan konsistensi hasil pengukuran berulang.¹⁴ Sebuah pengukuran atau rumus prediktif dikatakan presisi apabila memiliki komponen *repeatability* (dapat

diulang) dan *reproducibility*, yaitu dapat direplikasi oleh pemeriksa lain dengan hasil yang serupa atau masih dalam rentang yang diperbolehkan.¹⁵

Penelitian ini membandingkan nilai akurasi rumus prediktif REE-HBEx1,25, REE-PSU, dan REE-ROT terhadap pengukuran REE dengan kalorimetri indirek. Nilai akurasi REE-HBEx1,25 sebesar 30% lebih besar dibanding dengan penelitian sebelumnya pada pasien ventilasi mekanik dan BMI <30 yaitu 21%.⁸ Penelitian tahun 2020 terhadap 305 pasien ICU di Malaysia melaporkan akurasi 39,1%.⁷ Sedangkan penelitian tahun 2023 pada pasien trauma melaporkan 36,2%, akurasi rumus HBEx1,25 pada penelitian tahun 2023 pada pasien trauma melaporkan 36,2%.¹¹ Perbedaan akurasi ini dapat dipengaruhi oleh variasi jumlah sampel dan populasi. Rumus

Tabel 2 Nilai Akurasi Rumus Prediktif REE

Rumus Prediktif	Akurasi (%)	Overestimate (%)	Underestimate (%)	Bias (RMSPE)
REE-HBEx1,25	30,00	46,67	23,33	15,38
REE PSU	63,33	13,33	23,33	9,04
REE-ROT	46,67	46,67	6,66	18,17

Tabel 3 Perbandingan Nilai Akurasi Rumus Prediktif REE

Rumus Prediktif	Akurasi	Nilai P
HBE x 1.25 vs PSU	30,00% vs 63,33%	*0,011
HBE x 1.25 vs ROT	30,00% vs 46,67%	*0,021
ROT vs PSU	46,67% vs 63,33%	*0,019

Keterangan : *Uji Mc Nemar

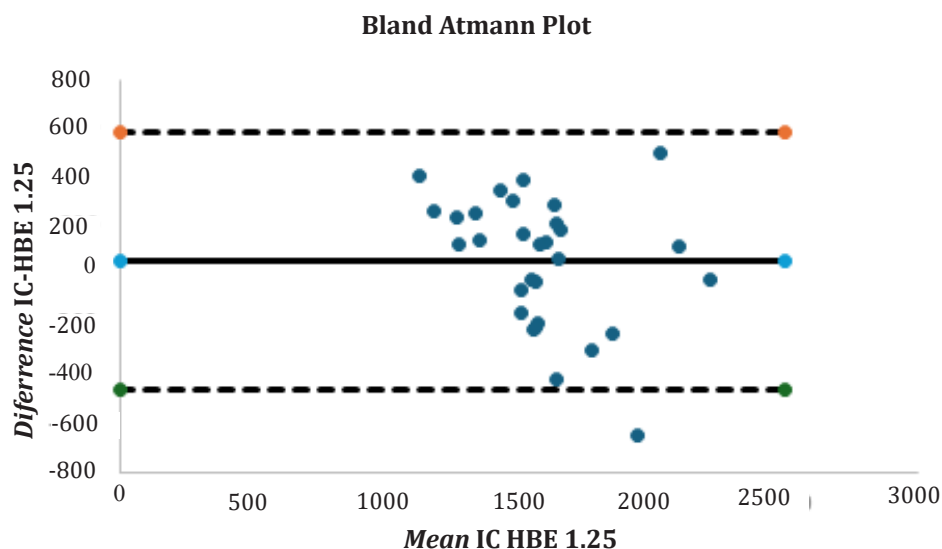
Harris-Benedict awalnya dikembangkan pada populasi kulit putih Amerika diperoleh dari penelitian biometrik metabolisme pada populasi kulit putih di Washington (Amerika).¹⁶ Perbedaan ras telah di laporkan berpengaruh terhadap kasus ini, yaitu REE pada ras kulit hitam lebih rendah 50–250 kkal/hari dibanding dengan kulit putih.^{16,17} Beberapa penelitian menunjukkan REE pada ras Asia lebih cenderung lebih rendah dibanding dengan kulit putih, meskipun setelah penyesuaian komposisi tubuh, perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik. Rumus Harris-Benedict paling sesuai digunakan pada individu dewasa sehat dengan berat badan normal. Pada pasien kritis, penyesuaian diperlukan dengan mengalikan *stress factor* untuk menghitung kebutuhan energi total.¹⁶ Nilai BEE yang disesuaikan

umumnya 1,2–1,6 kali lipat, dengan batas maksimal asupan energi 40 kkal/kg/hari.¹⁸ Baik untuk menghitung REE pada orang dewasa sehat dengan berat badan normal.

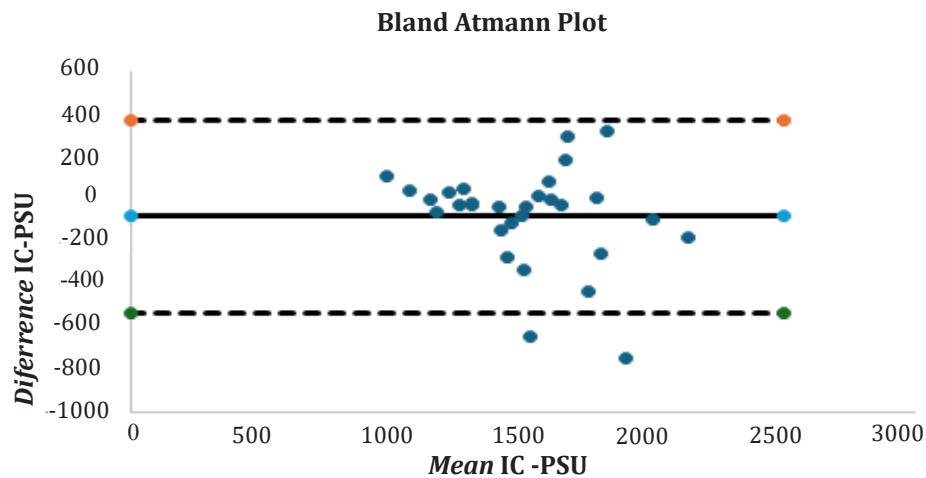
Akurasi REE-HBE x 1,25 lebih rendah dibanding dengan REE-ROT. Hal ini dapat dijelaskan oleh *stress factor* yang tepat dapat mencegah komplikasi akibat ketidakseimbangan energi selama pemulihan pascaoperasi.¹⁹

Nilai *stress factor* dilaporkan berbeda pada berbagai kondisi mulai dari 0,85 pada kelaparan sederhana hingga, 2,0 pada luka bakar berat.²⁰ Penelitian ini, penggunaan *stress factor* sebesar 1,25 sesuai rekomendasi beberapa penelitian serta pedoman ASPEN yang menganjurkan rentang 1,2–1,3.^{20,21}

Namun pendekatan ini mengubah komponen dinamis menjadi statis sehingga



Gambar 1 Bland Altman Plot Rumus Harris-Bennedict x 1.25

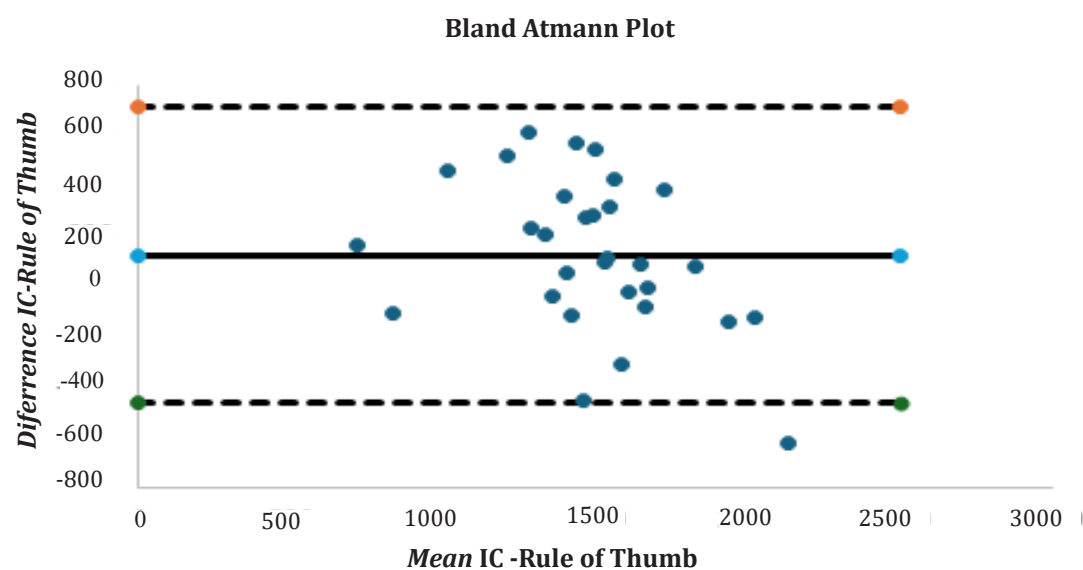


Gambar 2 Bland Altman Plot Rumus Penn-State

tidak mencerminkan fase metabolik pasien. Pada fase “ebb” pascatrauma atau pembedahan, terjadi penurunan metabolisme sementara yang kemudian diikuti fase *flow* dengan hipermetabolisme hingga 7 hari pertama. Variasi metabolisme ini berimplikasi pada kebutuhan energi yang tidak seragam.

Akurasi REE-PSU pada penelitian ini sebesar 63,33% dengan nilai *over* estimasi

13,33% dan *under* estimasi 23,33%. Beberapa penelitian lain, menemukan rumus *Penn State* memiliki akurasi yang paling tinggi dibanding dengan rumus prediktif lain, yaitu sebesar 65–75%.^{3,12} Namun, penelitian lain menemukan akurasi 43% dengan *underestimasi* 26% dan *overestimasi* 56%.¹ Penelitian tahun 2020 di Malaysia menemukan akurasi 42,4%.⁷ Penelitian tahun 2023 di Korea pada pasien



Gambar 3 Bland Altman Plot Rumus Rule of Thumb

trauma melaporkan 36,2%.¹¹ Perbedaan tersebut dapat dijelaskan oleh variasi populasi, metode pengukuran, serta kondisi klinis pasien.

Rumus REE-ROT banyak digunakan secara global dan direkomendasikan oleh ASPEN serta ESPEN bila kalorimetri indirek tidak tersedia.^{20,23} Pada penelitian ini, akurasi REE-ROT sebesar 46,67%, dengan nilai overestimasi 46,67% dan underestimasi 6,66%. Penelitian sebelumnya melaporkan akurasi yang bervariasi, mulai dari 26,3% hingga 62%, bergantung pada populasi dan metode pengukuran.⁷ Perbedaan ini menunjukkan keterbatasan penggunaan REE-ROT secara universal, terutama pada pasien kritis dengan kondisi metabolik yang beragam.

Nilai *root mean square percentage error* (RMSPE) digunakan untuk menilai bias rumus prediktif. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai RMPSE terkecil pada REE-PSU (Tabel 2), yang berarti prediksi energi lebih dekat dengan hasil kalorimetri indirek dibandingkan rumus lain. Perbandingan antar rumus menunjukkan bahwa REE-PSU memiliki akurasi tertinggi dan bias terendah, sedangkan REE-HBE $\times 1,25$ memiliki akurasi terendah.¹⁰

Perbandingan akurasi ketiga rumus prediktif menunjukkan bahwa rumus dengan akurasi paling tinggi dan bias terendah adalah REE-PSU sedangkan REE-HBE $\times 1,25$ memiliki akurasi terendah. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menilai pengaruh usia, berat badan, indeks masa tubuh, suhu, tingkat sedasi, dan keadaan pasien terhadap pengukuran REE pada pasien kritis serta menghubungkannya dengan penggunaan rumus prediktif REE-ROT dan REE-PSU. Kebutuhan energi pada pasien trauma meningkat 3% dibanding dengan pasien bedah dan meningkat 4% dibanding dengan pasien medikal ($p < 0,0001$). Tingkat sedasi memengaruhi REE, kecuali penggunaan fentanil yang menunjukkan korelasi positif dengan suhu dan frekuensi nadi sehingga memengaruhi nilai REE. Usia juga berperan pada kelompok usia 36–45 tahun ke atas, terjadi penurunan REE secara bertahap. Akurasi yang lebih tinggi pada rumus PSU dikaitkan dengan

memasukkan variabel tambahan seperti suhu dan ventilasi semenit.⁵ Penelitian tahun 2022 yang membandingkan rumus prediktif dengan pengukuran kalorimetri indirek berkala menyimpulkan bahwa faktor penentu utama REE adalah usia, berat badan, tinggi badan, dan ventilasi semenit.⁴

Presisi rumus dinyatakan dengan *Inter Class Correlation* (ICC) yaitu nilai tertinggi diperoleh pada rumus *Penn State* 0,713 (*good agreement*). Sementara itu, modifikasi Harris-Benedict dan *rule of thumb* menunjukkan nilai 0,592 dan 0,462 (*moderate agreement*) dengan $p < 0,01$. Analisis Bland-Altman Plo menunjukkan, kesalahan rumus pada PSU sebesar -81,56 kkal, REE-HBE $\times 1,25$ -60,41 kkal, dan REE-ROT +123,76 kkal. Penelitian pada pasien pascatransplantasi hepar, melaporkan nilai ICC REE-ROT 0,62, REE-HBE $\times 1,25$ 0,56, dan REE-PSU 0,65 dengan bias berturut-turut -41,47 $\pm$ 280,05; 148,50 $\pm$ 247,67; -52,49 $\pm$ 249,86.¹² Hasil serupa dilaporkan di Malaysia pada tahun 2020 dengan nilai ICC REE-HBE $\times 1,25$, REE-ROT dan REE-PSU masing-masing 0,632; 0,585; dan 0,670.⁷ Penelitian lain melaporkan bahwa bias terbesar berasal dari rumus REE-HBE $\times 1,25$ (37,3% dan -79,3%) sedangkan bias terkecil pada REE-PSU (29,4% dan -61,8%) berdasarkan *Bland Altman Plot*.²² Penelitian terbaru di Korea pada tahun 2023 pada pasien trauma, yang membandingkan REE-ROT, REE-PSU, REE-HBE $\times 1,25$ dan Ireton-Jones, didapatkan bahwa hasil terdekat (bias terkecil) didapatkan dari hasil pengukuran dengan PSU (-3,56 $\pm$ 270,39 kkal) dan ROT (-28,96 $\pm$ 303,58 kkal).¹¹

Keterbatasan pada penelitian ini adalah jumlah sampel yang sedikit dan pengukuran dilakukan hanya sekali dalam 24 jam pertama. Akurasi pengukuran berat badan aktual dapat dipengaruhi oleh pemberian cairan serta perbedaan komposisi tubuh antar subjek. Keadaan klinis pasien baik bedah, trauma, maupun medikal mungkin memengaruhi hasil pengukuran kalorimetri indirek karena perbedaan *stress factor*. Selain itu, variasi *mode ventilator* berpotensi memengaruhi VO_2 dan VCO_2 yang berdampak pada pengukuran

kalorimetri indirek.

Simpulan

Rumus *Penn State* menunjukkan akurasi tertinggi dalam memperkirakan REE pada pasien kritis, diikuti oleh *Rule of Thumb* dan *Harris-Benedict* ($HBE \times 1,25$). Ketiga rumus memperlihatkan bias pengukuran yang berbeda, dengan $HBE \times 1,25$ cenderung *overestimate* (+60,41 kkal), sedangkan *Penn State* (-81,56 kkal) dan *Rule of Thumb* (-123,72 kkal) cenderung *underestimate*. Temuan ini mengindikasikan bahwa akurasi rumus prediktif masih terbatas bila dibanding dengan kalorimetri indirek. Penelitian lebih lanjut dengan jumlah sampel yang lebih besar, pengukuran berulang, serta integrasi analisis komposisi tubuh seperti *bioelectrical impedance analysis* dan penggunaan *stress factor* dinamis diperlukan untuk meningkatkan validitas dan aplikabilitas rumus prediktif dalam praktik klinis.

Daftar Pustaka

1. Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry in clinical practice. *J Clin Med*. 2019(8):1387. doi: 10.3390/jcm8091387
2. Moonen HPFX, Beckers KJH, Zanten ARHv. Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current evidence and practical considerations. *J Intensive Care*. 2021(8):1-13. doi: 10.1186/s40560-021-00524-0
3. Cordoza M, Chan L-N, Bridges E, Thompson H. Methods for estimating energy expenditure in critically ill adults. *AACN Adv Crit Care*. 2020;31(3):154-64. doi: 10.4037/aacnacc2020110
4. Tah PC, Poh BK, Kee CC, Yii Lee Z, Rai HVR, Nor MBM, dkk. Do we need different predictive equations for the acute and late phases of critical illness? A prospective observational study with repeated indirect calorimetry measurements. *Eur J Clin Nutr* 2022;76:527-34. doi: 10.1038/s41430-021-00999-y
5. Frankenfield DC. Factors related to the assessment of resting metabolic rate in critically ill patients. *J Parenter Enteral Nutr*. 2019;43(2):234-44. doi: 10.1002/jpen.1484
6. Mtaweh H, Aguero MJS, Campbell M, Allard JP, Pencharz P, Pillenayegum E, dkk. Systematic review of factors associated with energy expenditure in the critically ill. *Clin Nutr ESPEN*. 2019;33:111-24. doi: 10.1016/j.clnesp.2019.06.009
7. Tah PC, Lee Z-Y, Poh BK, Majid A, Rai H, Nor M, dkk. A single-center prospective observational study comparing resting energy expenditure in different phases of critical illness: indirect calorimetry versus predictive equations. *Crit Care Med*. 2020;48:e380-90
8. Ndahimana D, Kim E-K. Energy requirements in critically ill patients. *Clin Nutr Res* 2018;7(2):81-90. doi: 10.7762/cnr.2018.7.2.81
9. Murray G, MS ST, Dunlea T, Dunlea T, Jimenez AN, Eiferman D, dkk. Comparison of predictive equations and indirect calorimetry in critical care: Does the accuracy differ by body mass index classification?. *Nutr Clin Pract* 2023(38):1124-32. doi: 10.1002/ncp.11017
10. Rousing ML, Hahn-Pedersen MH, Andreassen S, Pielmeier U, Preiser CJ. Energy expenditure in critically ill patients estimated by population-based equations, indirect calorimetry and CO-based indirect calorimetry. *Ann Intensive Care*. 2016(6):16. doi: 10.1186/s13613-016-0118-8
11. Lee H-J, Ahn S-B, Lee JH, Kim JY, Yoo S, Hong SK. Determining the appropriate resting energy expenditure requirement for severe trauma patients using indirect calorimetry in Korea: a retrospective observational study. *J Trauma Inj*. 2023;36(4):337-42. doi: 10.20408/jti.2023.0051
12. Lee SJ, Lee H-J, Jung Y-J, Han M, Gyu Lee S, Hong SK. Comparison of measured energy expenditure using indirect calorimetry

- vs predictive equations for liver transplant recipients. *J Parenter Enteral Nutr* 2021;45(4):761–7. doi: 10.1002/jpen.1932
13. Wu S, Iqbal S, Giroux M, Alam N, Campisi, Razek T, Deckelbaum D. Penn State equation versus indirect calorimetry for nutritional assessment in patients with traumatic brain injury. *Can J Surg*. 2022;65(3):E320–5. doi: 10.1503/cjs.022420
 14. Selvik JT, Abrahamsen EB. On the meaning of accuracy and precision in a risk analysis context. *J Risk Reliability*. 2017;231(2):91–100
 15. Menditto A, Patriarca M, Magnusson B. Understanding the meaning of accuracy, trueness and precision. *Accred Qual Assur*. 2006;12(1):45–7. doi:10.1007/s00769-006-0191-z
 16. Bendavid I, Lobo DN, Barazzoni R, Cederholm T, Coeffier M, der Schuren MDV, dkk. The centenary of the Harris Benedict equations: How to assess energy requirements best? recommendations from the ESPEN expert group. *Clin Nutr* 2021;40(3):690–701. doi: 10.1016/j.clnu.2020
 17. National Academies of Sciences E, and Medicine. Factors affecting energy expenditure and requirements. *Dietary Reference Intakes for Energy*. Washington, DC: The National Academies Press. 2023;50. doi: 10.17226/26818
 18. Chittawatanarat K. Energy expenditure in critically ill patient. *Clin Crit Care* 2022;30:e0019–26. doi: <https://doi.org/10.54205/ccc.v30.259272>
 19. Kim SH, Cho BH, Kim SB, Jeong JM, Yu HC. Determination of the stress factor calculated from the changes in the measured resting energy expenditure with indirect calorimetry in patients undergoing pancreaticoduodenectomy. *J Clin Nutr*. 2017;9(2):62–7. doi: <https://doi.org/10.15747/jcn.2017.9.2.62>
 20. McClave S, Taylor B, Martindale R, Warren MM, Johnson DR, Braunschweig, et al. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of critical care medicine (SCCM) and American society for parenteral and enteral nutrition (A.S.P.E.N.). *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. 2016;40(2):159–211. doi:10.1177/0148607115621863
 21. Ayers P, Bobo ES, Hunt RT ASPEN Parenteral Nutrition Handbook, 3rd Edition. Silver Springs: American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. 2020.
 22. Grguric L, Musillo L, DiGiacomo JC, Munnangi S. Throwing darts in ICU: how close are we in estimating energy requirements? *Trauma Surg Acute Care Open* 2020(5):e000493. doi: 10.1136/tsaco-2020-000493.
 23. Singer P, Blaser AR, Berger MM, Calder CP, Caesar M, Hiesmayr M, dkk ESPEN practical and partially revised guideline: Clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr*. 2023(42):1671–89. doi: 10.1016/j.clnu.2023.07.011.
 24. Vasileiou G, Qian S, Iyengar R, Mulder MB, Gass LM, Parks J, dkk. Use of predictive equations for energy prescription results in inaccurate estimation in trauma patients. *Nutr Clin Pract*. 2020;35(5):927–32. doi: 10.1002/ncp.10372