

Peran Strategis Uji T Hotelling dalam Analisis Multivariat Penelitian Kesehatan

Heru Santoso Wahito Nugroho

Jurusan Kebidanan, Poltekkes Kemenkes Surabaya, Indonesia; heruswn@gmail.com (koresponden)

Joel Rey ugsang Acob

Department of Nursing, Visayas State University, Baybay City, Philippines

ABSTRACT

Health research often measures multiple physiological and clinical indicators simultaneously, such as blood pressure, glucose levels, body mass index, and lipid profiles, which are statistically correlated. In such situations, using a conventional t-test separately for each variable can increase the risk of type I errors and result in partial interpretations. Therefore, a multivariate statistical approach capable of handling complex data simultaneously and considering the relationships between variables is necessary. The purpose of this commentary article is to explain the basic concepts and working principles of the Hotelling t-test, outline its advantages in the context of health research, and provide practical examples and a critical analysis of the challenges of its application. The Hotelling t-test is a generalization of the Student t-test for multivariate cases, allowing researchers to compare the means of two groups based on more than one correlated dependent variable. By considering the covariance structure between variables, this test provides more comprehensive results and maintains statistical validity. This article discusses the advantages of the Hotelling t-test in reducing the risk of type I errors, capturing interactions between health indicators, and supporting analysis in clinical studies, epidemiology, and health program evaluation. Furthermore, important assumptions that must be met, such as multivariate normal distribution and homogeneity of the covariance matrix, are discussed, as well as challenges in interpreting the results that require further analysis. In conclusion, the Hotelling T-test is a highly relevant and strategic analytical tool in multivariate data-driven health research. Understanding and skills in using this test need to be improved through integration into research methodology curricula to support more accurate and evidence-based decision-making.

Keywords: Hotelling T-test; multivariate analysis; health research

ABSTRAK

Riset kesehatan sering mengukur berbagai indikator fisiologis dan klinis secara simultan, seperti tekanan darah, kadar glukosa, indeks massa tubuh, dan profil lipid, yang saling berkorelasi secara statistik. Dalam situasi seperti ini, penggunaan uji t konvensional secara terpisah untuk tiap variabel dapat meningkatkan risiko kesalahan tipe I dan menghasilkan interpretasi yang parsial. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan statistik multivariat yang mampu menangani data kompleks secara simultan dan mempertimbangkan hubungan antar variabel. Tujuan dari artikel komentar ini adalah untuk menjelaskan konsep dasar dan prinsip kerja uji T Hotelling, menguraikan keunggulannya dalam konteks penelitian kesehatan, serta memberikan contoh aplikatif dan analisis kritis terhadap tantangan penerapannya. Uji T Hotelling merupakan generalisasi dari uji t Student untuk kasus multivariat, yang memungkinkan peneliti membandingkan rata-rata dua kelompok berdasarkan lebih dari satu variabel dependen yang saling berkorelasi. Dengan mempertimbangkan struktur kovarians antar variabel, uji ini memberikan hasil yang lebih komprehensif dan menjaga validitas statistik. Artikel ini membahas keunggulan uji T Hotelling dalam mengurangi risiko kesalahan tipe I, menangkap interaksi antar indikator kesehatan, dan mendukung analisis dalam studi klinis, epidemiologi, serta evaluasi program kesehatan. Selain itu, dibahas pula asumsi-asumsi penting yang harus dipenuhi, seperti distribusi normal multivariat dan homogenitas matriks kovarians, serta tantangan interpretasi hasil yang memerlukan analisis lanjutan. Sebagai kesimpulan, uji T Hotelling merupakan alat analisis yang sangat relevan dan strategis dalam penelitian kesehatan berbasis data multivariat. Pemahaman dan keterampilan dalam menggunakan uji ini perlu ditingkatkan melalui integrasi dalam kurikulum metodologi penelitian, agar dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dan berbasis bukti.

Kata kunci: uji T Hotelling; analisis multivariat; penelitian kesehatan

PENDAHULUAN

Penelitian kesehatan modern semakin kompleks dan multidimensional, mencerminkan kenyataan bahwa status kesehatan individu tidak dapat direduksi hanya pada satu indikator tunggal.⁽¹⁾ Sebagai contoh, dalam studi klinis atau epidemiologi, peneliti sering mengukur berbagai parameter fisiologis secara bersamaan; seperti

tekanan darah, kadar glukosa, indeks massa tubuh (IMT), kadar kolesterol, dan fungsi ginjal, yang secara statistik saling berkorelasi. Ketika analisis dilakukan secara terpisah menggunakan uji t konvensional untuk masing-masing variabel, risiko terjadinya kesalahan tipe I (*false positive*) meningkat secara signifikan karena akumulasi pengujian ganda.⁽²⁾ Hal ini dapat menyesatkan interpretasi dan menghasilkan kesimpulan yang tidak valid secara klinis maupun kebijakan.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan pendekatan statistik yang mampu menangani data multivariat secara simultan, mempertimbangkan hubungan antar variabel, dan memberikan hasil yang lebih komprehensif dan akurat. Uji T Hotelling, sebagai generalisasi dari uji t Student untuk kasus multivariat, menawarkan solusi yang tepat dalam konteks ini.⁽³⁻⁷⁾ Dengan menguji perbedaan rata-rata dua kelompok berdasarkan beberapa variabel dependen secara bersamaan, uji T Hotelling tidak hanya meningkatkan efisiensi analisis, tetapi juga menjaga integritas statistik dari hasil penelitian.

Dalam praktiknya, uji T Hotelling sangat relevan untuk mengevaluasi efektivitas intervensi kesehatan, membandingkan profil klinis antar kelompok pasien, atau menilai dampak program kesehatan masyarakat terhadap berbagai indikator sekaligus. Misalnya, dalam studi intervensi gizi, peneliti dapat menggunakan uji ini untuk menilai perubahan simultan pada berat badan, tinggi badan, dan hemoglobin. Demikian pula, dalam studi komparatif antar populasi, uji T Hotelling memungkinkan analisis yang lebih tajam terhadap perbedaan status kesehatan secara holistik.

Namun demikian, pemahaman terhadap asumsi dasar dan teknik penerapan uji T Hotelling masih terbatas di kalangan peneliti kesehatan, terutama di tingkat pendidikan dasar dan menengah. Oleh karena itu, artikel ini bertujuan untuk memperkenalkan konsep, manfaat, dan tantangan dari uji T Hotelling secara sistematis, serta mendorong integrasinya dalam kurikulum metodologi penelitian kesehatan agar dapat digunakan secara lebih luas dan tepat guna.

Tujuan dari penulisan artikel komentar ini adalah untuk: 1) menjelaskan konsep dasar dan prinsip statistik dari uji T Hotelling sebagai metode analisis multivariat; 2) menguraikan relevansi dan keunggulan uji T Hotelling dalam konteks penelitian kesehatan, khususnya dalam membandingkan dua kelompok berdasarkan beberapa variabel yang saling berkorelasi; 3) memberikan contoh aplikasi nyata uji T Hotelling dalam studi klinis, epidemiologi, dan evaluasi intervensi kesehatan; 4) menyoroti tantangan dan batasan dalam penerapan uji T Hotelling, serta memberikan rekomendasi untuk validasi dan interpretasi hasil yang akurat; 5) mendorong integrasi pemahaman dan penggunaan uji T Hotelling dalam kurikulum metodologi penelitian kesehatan guna meningkatkan kualitas analisis data dan pengambilan keputusan berbasis bukti.

PENGENALAN UJI T HOTELLING

Uji T Hotelling merupakan perluasan dari uji t Student yang dirancang secara khusus dalam rangka menangani kasus multivariat, yaitu ketika analisis melibatkan lebih dari satu variabel dependen secara simultan.⁽⁸⁾ Dalam penelitian kesehatan, situasi ini sangat umum terjadi, misalnya ketika peneliti ingin membandingkan dua kelompok pasien berdasarkan sejumlah indikator klinis seperti tekanan darah, kadar glukosa, dan indeks massa tubuh. Karena variabel-variabel tersebut sering kali saling berkorelasi, pendekatan univariat seperti uji t Student tidak cukup memadai dan berisiko menghasilkan kesimpulan yang bias akibat pengujian berulang.

Uji T Hotelling memungkinkan peneliti untuk menguji perbedaan rata-rata antara dua kelompok dengan mempertimbangkan struktur kovarians antar variabel, sehingga memberikan hasil yang lebih akurat dan komprehensif. Secara matematis, uji ini menghitung jarak Mahalanobis antara dua vektor rata-rata kelompok, yang kemudian dikonversi menjadi statistik T^2 dan dibandingkan dengan distribusi F untuk menentukan signifikansi. Dengan demikian, uji T Hotelling tidak hanya menguji apakah terdapat perbedaan, tetapi juga memperhitungkan arah dan kekuatan hubungan antar variabel yang dianalisis.

Agar hasil uji T Hotelling valid, terdapat beberapa asumsi statistik yang harus dipenuhi. Pertama, data harus mengikuti distribusi normal multivariat, yang berarti bahwa kombinasi linear dari variabel-variabel dependen juga harus berdistribusi normal. Kedua, matriks kovarians dari kedua kelompok yang dibandingkan harus homogen atau serupa, sehingga estimasi gabungan dapat digunakan secara tepat. Ketiga, observasi antar individu harus independen, artinya tidak ada pengaruh atau keterkaitan antar subjek dalam pengambilan data. Pelanggaran terhadap asumsi-asumsi ini dapat mengurangi keandalan hasil dan meningkatkan risiko kesalahan tipe I atau tipe II.⁽⁹⁾

Dengan memahami konsep dasar dan asumsi yang mendasari uji T Hotelling,⁽¹⁰⁻¹⁵⁾ peneliti kesehatan dapat lebih bijak dalam memilih metode analisis yang sesuai dengan karakteristik data mereka. Uji ini sangat berguna dalam studi intervensi, evaluasi program kesehatan, dan penelitian klinis yang melibatkan banyak indikator sekaligus, serta menjadi bagian penting dari kerangka analisis multivariat yang semakin dibutuhkan dalam era data kompleks dan integratif.

CONTOH PENERAPAN UJI T HOTELLING

Dalam studi klinis yang bertujuan membandingkan efektivitas dua jenis terapi, misalnya terapi A dan terapi B untuk pasien hipertensi dengan komorbiditas metabolik, peneliti sering mengukur beberapa indikator sekaligus seperti tekanan darah sistolik dan diastolik, kadar kolesterol total, serta berat badan. Ketiga variabel ini saling berkorelasi dan mencerminkan status kardiometabolik pasien secara komprehensif. Jika analisis dilakukan secara terpisah menggunakan uji t univariat untuk masing-masing variabel, maka risiko kesalahan tipe I meningkat dan interpretasi menjadi parsial. Dengan menggunakan uji T Hotelling, peneliti dapat menguji apakah terdapat perbedaan signifikan antara kelompok terapi A dan B secara simultan terhadap keseluruhan profil kesehatan tersebut. Hasil analisis ini dapat memberikan gambaran yang lebih utuh tentang efektivitas terapi, serta mendukung pengambilan keputusan klinis yang lebih tepat dan berbasis data multivariat.

Contoh lain yang relevan adalah dalam penelitian intervensi gizi pada anak-anak usia balita. Program intervensi, seperti pemberian makanan tambahan atau edukasi gizi kepada orang tua, biasanya bertujuan untuk meningkatkan status gizi anak secara menyeluruh. Indikator yang diukur meliputi berat badan menurut usia (BB/U), tinggi badan menurut usia (TB/U), dan berat badan menurut tinggi badan (BB/TB), yang semuanya merupakan indikator antropometri standar dalam pemantauan gizi anak. Karena ketiga indikator tersebut saling berkorelasi dan mencerminkan dimensi pertumbuhan yang berbeda, analisis multivariat menjadi sangat penting. Uji T Hotelling memungkinkan peneliti untuk menilai apakah intervensi gizi memberikan dampak signifikan terhadap keseluruhan status antropometri anak, bukan hanya pada satu aspek saja. Pendekatan ini sangat berguna dalam mengevaluasi efektivitas program gizi secara holistik dan dalam merancang kebijakan intervensi yang lebih terintegrasi.

PEMBAHASAN

Uji T Hotelling merupakan alat statistik multivariat yang sangat penting dalam penelitian kesehatan, terutama ketika peneliti dihadapkan pada data yang kompleks dan saling berkorelasi.⁽¹⁶⁾ Dalam praktiknya, pendekatan ini memberikan keunggulan analitis yang tidak dimiliki oleh uji t univariat, karena mampu menangkap struktur hubungan antar variabel secara simultan. Hal ini sangat relevan dalam konteks kesehatan, di mana indikator-indikator seperti tekanan darah, kadar glukosa, indeks massa tubuh, dan profil lipid sering kali tidak berdiri sendiri, melainkan membentuk pola klinis yang saling memengaruhi.

Salah satu kekuatan utama dari uji T Hotelling adalah kemampuannya dalam mengurangi risiko kesalahan tipe I yang muncul akibat pengujian ganda.⁽²⁾ Ketika peneliti menggunakan uji t secara terpisah untuk setiap variabel, peluang untuk mendapatkan hasil yang secara statistik signifikan secara kebetulan meningkat secara kumulatif. Dalam studi kesehatan yang melibatkan banyak indikator, hal ini dapat menimbulkan kesimpulan yang bias dan berpotensi menyesatkan pengambilan keputusan klinis atau kebijakan. Dengan menggabungkan seluruh variabel dalam satu kerangka analisis, uji T Hotelling menjaga integritas statistik dan meningkatkan validitas hasil.⁽¹⁷⁾

Selain itu, uji T Hotelling memungkinkan peneliti untuk mempertimbangkan korelasi antar variabel dalam proses pengujian. Dalam banyak kasus, misalnya pada pasien dengan sindrom metabolik, tekanan darah tinggi sering kali berkorelasi dengan kadar kolesterol dan obesitas. Analisis univariat tidak mampu menangkap interaksi semacam ini, sehingga hasilnya bisa parsial atau bahkan kontradiktif. Uji T Hotelling, dengan mempertimbangkan matriks kovarians antar variabel, memberikan gambaran yang lebih menyeluruh tentang perbedaan antar kelompok, baik dalam arah maupun kekuatan hubungan antar indikator kesehatan.⁽¹⁸⁻²⁰⁾

Namun demikian, penerapan uji T Hotelling tidak lepas dari tantangan metodologis. Salah satu tantangan utama adalah pemenuhan asumsi distribusi normal multivariat. Tidak seperti distribusi normal univariat, distribusi normal multivariat mensyaratkan bahwa setiap kombinasi linear dari variabel-variabel dependen juga harus berdistribusi normal. Dalam praktiknya, data kesehatan sering kali menunjukkan distribusi yang skewed atau memiliki outlier, sehingga perlu dilakukan transformasi data atau uji pendahuluan seperti uji normalitas multivariat (misalnya Mardia's test).⁽²¹⁾ Selain itu, asumsi homogenitas matriks kovarians antar kelompok juga harus diuji, misalnya dengan Box's M test, untuk memastikan bahwa estimasi gabungan dapat digunakan secara valid.⁽²²⁾

Tantangan lainnya adalah interpretasi hasil. Statistik T^2 yang dihasilkan dari uji T Hotelling tidak langsung memberikan informasi tentang variabel mana yang paling berkontribusi terhadap perbedaan antar kelompok. Oleh karena itu, analisis lanjutan seperti analisis diskriminan atau uji univariat post-hoc sering kali diperlukan untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang dominan.⁽²³⁾ Dalam konteks ini, uji T Hotelling berfungsi sebagai gerbang awal untuk menyaring perbedaan multivariat sebelum dilakukan eksplorasi lebih lanjut.

Dari sisi implementasi, uji T Hotelling sudah tersedia dalam berbagai perangkat lunak statistik seperti SPSS, R, SAS, dan Python, sehingga dapat diakses oleh peneliti dengan berbagai latar belakang. Namun, pemahaman konseptual dan interpretatif tetap menjadi kunci agar penggunaannya tidak sekadar mekanistik, melainkan benar-benar mendukung analisis yang bermakna dan berdampak.

Secara keseluruhan, uji T Hotelling merupakan pendekatan yang sangat relevan dalam era penelitian kesehatan yang semakin data-driven dan multidimensional. Dengan kemampuannya menangani variabel yang saling berkorelasi secara simultan, uji ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat, efisien, dan berbasis bukti. Oleh karena itu, integrasi pemahaman dan keterampilan dalam menggunakan uji T Hotelling perlu ditingkatkan dalam pendidikan metodologi penelitian kesehatan, baik di tingkat akademik maupun profesional.

Jika Anda ingin saya bantu menyusun versi bilingual, infografis pendukung, atau adaptasi untuk silabus dan pelatihan, saya siap mendampingi secara bertahap.

KESIMPULAN

Uji T Hotelling merupakan alat analisis multivariat yang sangat relevan dan strategis dalam penelitian kesehatan. Dengan kemampuannya menangani beberapa variabel dependen secara simultan, uji ini membantu peneliti memperoleh kesimpulan yang lebih akurat dan bermakna. Untuk memaksimalkan manfaatnya, peneliti perlu memahami asumsi dasar dan melakukan validasi data secara menyeluruh. Integrasi uji T Hotelling dalam kurikulum metodologi penelitian kesehatan sangat dianjurkan untuk meningkatkan kualitas analisis dan interpretasi hasil.

DAFTAR PUSTAKA

1. Goldsmith SB. The status of health status indicators. *Health Services Reports*. 1972 Mar;87(3):212.
2. Lee S, Lee DK. What is the proper way to apply the multiple comparison test?. *Korean Journal of Anesthesiology*. 2018 Oct 1;71(5):353-60.
3. Umar S, Usman A, Umar SS. On the application of multivariate test of hypothesis to compare advanced mathematical abilities. *International Journal of Mathematics and Statistics Studies*. 2021 Jul 19;9(3):1-0.
4. Majerek D, Łagód G, Szelać B, Sabba F. Use of multidimensional testing to evaluate the impacts of treated wastewater discharge on river water quality-Hotelling test case. In *Journal of Physics: Conference Series* 2021 (Vol. 1736, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
5. Gamm BM, Gerard P. Testing the differences between two color measurement probability distributions using Hotelling's T 2 test and the permutation test. *Color Research & Application*. 2020 Apr;45(2):196-207.
6. Pituch KA, Stevens JP. Two-group multivariate analysis of variance. In *Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences* 2015 Dec 7 (pp. 142-174). Routledge.
7. Ekerikevwe KI, Isodje E. Performance comparative measures of Hotelling's T2 and two-way ANOVA model. *Innovative Journal of Science*. 2024 May 19;6(6):01-10.
8. Saputro DR, Hadi AF, Wibawa GN. Profile analysis in clustering with Hotelling's T-square statistics. In *AIP Conference Proceedings* 2022 Nov 28 (Vol. 2566, No. 1, p. 040005). AIP Publishing LLC.
9. Modarres R. Hotelling T 2 test in high dimensions with application to Wilks outlier method. *Statistical Papers*. 2024 Oct;65(8):5203-18.
10. Saputro DR, Hadi AF, Wibawa GN. Profile analysis in clustering with Hotelling's T-square statistics. In *AIP Conference Proceedings* 2022 Nov 28 (Vol. 2566, No. 1, p. 040005). AIP Publishing LLC.
11. Sari RF. Analysis of the effectiveness of the t^2 hotelling control chart in concrete control. *Journal of Computer Networks, Architecture and High Performance Computing*. 2025 Aug 20;7(3):1042-56.
12. Kim J, Kim Y, Lim J, Lee S. Post Hotelling's T-square procedure to identify fault variables. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 2024 Jan 2;94(1):1-28.
13. Guirette-Barbosa OA, Castañeda-Burciaga S, Ramírez-Salazar MA, Cruz-Domínguez O, Carrera-Escobedo JL, Velázquez-Macías JD, Lara-Torres CG, Celaya-Padilla JM, Durán-Muñoz HA. Transforming quality into results: a multivariate analysis with Hotelling's T2 on the impact of ISO 9001. *Systems*. 2025 Mar 26;13(4):226.
14. Wilson C, Cohen A. The impact of imputation methods on the performance of Phase I Hotelling's T 2 control chart. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*. 2025 Jun 3;54(6):2076-88.
15. Damarla SK, Sun X, Xu F, Shah A, Huang B. Statistical test-based practical methods for detection and quantification of stiction in control valves. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2023 Mar 1;62(10):4410-21.

16. Zhao Y. Research on the decision-making of duopoly public hospitals based on Hotelling model. InProceeding of the 2024 5th International Conference on Computer Science and Management Technology 2024 Oct 18 (pp. 339-343).
17. Mathur S, Sakate D. A multivariate two-sample location test based on empirical distribution functions. Sankhya B. 2025 Jul 14;1-32.
18. Bulut H. A novel robust test to compare covariance matrices in high-dimensional data. Axioms. 2025 May 30;14(6):427.
19. Frostig T, Benjamini Y. Testing the equality of multivariate means when $p > n$ by combining the Hotelling and Simes tests. Test. 2022 Jun;31(2):390-415.
20. Wu TL. Improved test for high-dimensional mean vectors and covariance matrices using random projection. Mathematics. 2025 Jun 21;13(13):2060.
21. Oppong FB, Agbedra SY. Assessing univariate and multivariate normality. a guide for non-statisticians. Mathematical theory and modeling. 2016 Jun;6(2):26-33.
22. Ahmad R. A robustness evaluation of homogeneity test of covariance matrices. InInternational Conference on Management Science and Engineering Management 2021 Jul 16 (pp. 309-321). Cham: Springer International Publishing.
23. Pituch KA, Stevens JP. Two-group multivariate analysis of variance. InApplied Multivariate Statistics for the Social Sciences 2015 Dec 7 (pp. 142-174). Routledge.