

Heart Rate Variability in Product Preference Research: A Systematic Bibliometric Review

Restu Nurraudah^{*1}, Herianto², Ismianti³

^{1,2}Program Studi S2 Teknik Industri, Universitas Gadjah Mada, Jalan Grafika 2, Yogyakarta, ³Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

e-mail: ^{*1}restunurraudah@mail.ugm.ac.id, ²Herianto@ugm.ac.id, ³ismianti@upnyk.ac.id

(artikel diterima: 22-06-2026, artikel disetujui: 20-08-2026)

Abstrak

Pengukuran preferensi produk dan perilaku pengambilan keputusan konsumen secara tradisional sangat bergantung pada metode survei subjektif (*self-report*) yang rentan terhadap bias kognitif dan sosial. Sebagai solusinya, neurosains konsumen mulai mengadopsi indikator fisiologis otonom yang objektif, di mana *Heart Rate Variability* (HRV) muncul sebagai instrumen non-invasif yang andal untuk menangkap emosi implisit secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan lanskap bibliometrik, struktur konseptual, serta tren evolusi metodologi HRV dalam riset preferensi produk dan pemasaran selama dua dekade terakhir. Menggunakan korpus data Scopus yang mencakup 770 artikel ilmiah, analisis jaringan kolaborasi (*co-authorship*) dan kemunculan bersama kata kunci (*co-occurrence*) dieksekusi secara komprehensif melalui perangkat lunak VOSviewer dan Biblioshiny. Hasil analisis *co-authorship* menunjukkan karakteristik jaringan akademik global yang masih terfragmentasi secara ekstrem ke dalam kelompok-kelompok kecil mandiri (*disconnected clusters*) tanpa adanya aktor penghubung (*boundary spanner*) utama. Sementara itu, analisis *co-occurrence* kata kunci berhasil mengonfirmasi pergeseran metodologis yang kuat dari pendekatan subjektif menuju pemodelan fisiologis prediktif. Struktur konseptual tersebut terbagi menjadi tiga kluster utama: pemodelan parameter HRV otonom, aplikasi psikofisiologis dalam pengambilan keputusan kognitif konsumen, serta standarisasi prosedur eksperimen terkontrol berbasis profil demografi. Konvergensi antarkluster mengindikasikan integrasi mutakhir yang kuat antara sinyal HRV dengan algoritma *machine learning*. Studi ini merumuskan enam jalur penelitian strategis masa depan yang berfokus pada pengujian preferensi implisit, atribut sensorik kemasan, ekosistem digital (*e-commerce*), serta triangulasi multi-modal (HRV dan *eye tracking*) untuk memprediksi dinamika perilaku pembelian konsumen secara presisi.

Kata kunci: Heart Rate Variability, Neurosains Konsumen, Pengambilan Keputusan, Preferensi Produk, Analisis Bibliometrik.

Abstract

Traditional measurements of product preference and consumer decision-making behavior heavily rely on subjective self-report surveys, which are inherently prone to cognitive and social biases. To address these limitations, consumer neuroscience has increasingly adopted objective autonomous physiological indicators, among which Heart Rate Variability (HRV) has emerged as a reliable, non-invasive instrument to capture implicit emotional responses in real-time. This study aims to map the bibliometric landscape, conceptual structure, and evolutionary trends of HRV methodology within product preference and marketing research over the past two decades. Utilizing a Scopus corpus comprising 770 scientific articles, a comprehensive analysis of co-authorship networks and keyword co-occurrences was executed using VOSviewer and Biblioshiny. The co-authorship analysis reveals an extremely fragmented global academic network characterized by small, disconnected research clusters lacking prominent boundary-spanning actors. Concurrently, the keyword co-occurrence analysis confirms a robust methodological paradigm shift from subjective approaches toward predictive physiological modeling. The underlying conceptual structure is divided into three primary clusters: autonomous HRV parameter modeling, psychophysiological applications in consumer cognitive decision-making, and the standardization of controlled experimental procedures based on demographic profiles. The structural convergence across these clusters highlights a state-of-the-art integration of HRV signals with machine learning algorithms. Finally, this study formulates six strategic future research pathways focusing on implicit preference testing, sensory packaging attributes, interactive digital ecosystems (e-commerce and augmented reality), and multi-modal triangulation (HRV and eye-tracking) to predict consumer purchasing dynamics with high precision.

Keywords: *Heart Rate Variability, Consumer Neuroscience, Decision-Making, Product Preference, Bibliometric Analysis.*

1. PENDAHULUAN

Kemajuan riset neurosains konsumen dalam dua dekade terakhir telah mempermudah peneliti di bidang Teknik Industri dan pemasaran dalam memanfaatkan berbagai alat ukur fisiologis untuk mengevaluasi beban kerja mental dan respons emosional konsumen saat berinteraksi dengan produk maupun strategi pemasaran (Bell et al., 2018; Casado-Aranda & Sanchez-Fernandez, 2022; Royo-Vela & Varga, 2022). Pendekatan lintas disiplin ini mengintegrasikan ilmu saraf dengan rekayasa faktor manusia (*human factors*) untuk memahami mekanisme pengambilan keputusan konsumen secara lebih objektif (Karmarkar & Plassmann, 2019; Lee et al., 2018). Menurut Alvino et al. (2020), metode pengukuran dalam neurosains konsumen dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori. Pertama, alat ukur perilaku (*behavioral measures*) yang merekam respons sadar, seperti kuesioner, survei mandiri, dan waktu respons. Kedua, alat ukur fisiologis (*physiological measures*) yang mengamati perubahan otomatis pada tubuh, seperti konduktansi kulit dan aktivitas jantung. Ketiga, alat ukur neurofisiologis (*neurophysiological measures*) yang merekam aktivitas sistem saraf pusat menggunakan perangkat seperti electroencephalography (EEG) dan functional magnetic resonance imaging (fMRI).

Dalam konteks perancangan sistem dan antarmuka produk (*interface design*), variabilitas detak jantung atau *heart rate variability* (HRV), yaitu variasi interval waktu antar detak jantung, merupakan salah satu indikator fisiologis yang banyak digunakan karena relatif mudah diukur, berbiaya rendah, dan mampu memberikan informasi mengenai kondisi psikofisiologis seseorang. Perkembangan perangkat sensor yang dapat dikenakan (*wearable devices*), seperti jam tangan pintar berbasis elektrokardiografi (EKG), semakin mempermudah proses pengumpulan data HRV secara kontinu pada lingkungan nyata, misalnya saat konsumen berbelanja di toko atau pusat perbelanjaan. Data yang diperoleh juga dapat direkam dalam berbagai rentang waktu, mulai dari beberapa detik hingga beberapa jam, dengan tingkat konsistensi yang baik (Nelson et al., 2020). Kemudahan tersebut memberikan peluang bagi praktisi Teknik Industri untuk memantau respons konsumen secara langsung dan memanfaatkan informasi tersebut dalam perbaikan proses, pengembangan produk, serta optimalisasi pengalaman konsumen secara real time (Orazi & Nyilasy, 2019).

Respons fisiologis manusia merupakan salah satu indikator objektif yang banyak digunakan untuk menggambarkan kondisi psikologis dan kognitif seseorang saat berinteraksi dengan produk atau lingkungan, Kleinginna & Kleinginna (1981) menjelaskan bahwa respons manusia dapat dipahami melalui tiga komponen utama, yaitu pengalaman subjektif, ekspresi perilaku, dan respons fisiologis. Dalam bidang Teknik Industri, komponen fisiologis menjadi perhatian karena dapat diukur secara objektif menggunakan berbagai sensor noninvasif untuk mendukung evaluasi produk dan perilaku konsumen. Dalam perspektif Teknik Industri, komponen fisiologis menjadi perhatian karena dapat diukur secara objektif untuk merepresentasikan kondisi kognitif dan afektif individu selama berinteraksi dengan suatu sistem, produk, maupun lingkungan kerja (Herman et al., 2018). Oleh karena itu, penggunaan sensor fisiologis noninvasif semakin banyak diterapkan dalam penelitian yang berfokus pada evaluasi pengalaman pengguna (*user experience*), perilaku konsumen, dan pengambilan keputusan (Casado-Aranda & Sanchez-Fernandez, 2022).

Salah satu indikator fisiologis yang banyak dimanfaatkan adalah *heart rate variability* (HRV), yaitu variasi interval waktu antar detak jantung. Selain mencerminkan respons fisiologis, HRV juga berkaitan dengan aktivitas sistem saraf otonom yang berperan dalam proses perhatian, pengambilan keputusan, regulasi emosi, dan beban kerja mental (Candia-Rivera et al., 2022; Massaro & Pecchia, 2019; Poels & Dewitte, 2006; Verhulst et al., 2019). Karakteristik tersebut menjadikan HRV sebagai parameter yang relevan dalam bidang Teknik Industri, khususnya untuk mengevaluasi interaksi manusia dengan produk, antarmuka, maupun sistem pelayanan.

Dibandingkan metode riset pasar konvensional yang umumnya bergantung pada kuesioner dan wawancara, pengukuran HRV menawarkan keunggulan berupa kemampuan merekam respons fisiologis secara kontinu, objektif, dan *real time* di lingkungan operasional yang sebenarnya. Selain mampu menangkap respons yang tidak selalu disadari oleh responden, data HRV juga menyediakan indikator kuantitatif yang dapat digunakan untuk melengkapi maupun memvalidasi hasil pengukuran

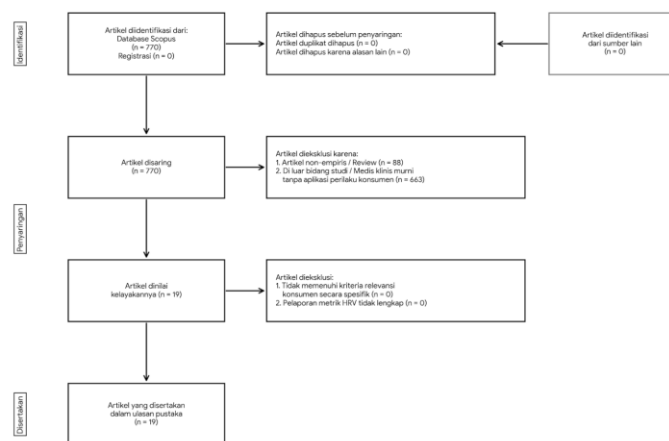
subjektif (Bell et al., 2018). Namun demikian, implementasi HRV dalam riset pasar masih menghadapi berbagai tantangan, terutama terkait belum adanya standardisasi mengenai rancangan eksperimen, pemilihan parameter HRV, serta prosedur pengolahan dan interpretasi data.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan menyusun tinjauan literatur sistematis mengenai pemanfaatan HRV dalam riset pasar dari perspektif Teknik Industri. Secara khusus, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi perkembangan penerapan HRV, mengevaluasi parameter yang paling banyak digunakan, serta menyusun rekomendasi metodologis yang dapat mendukung perancangan eksperimen berbasis data fisiologis. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menjawab dua pertanyaan penelitian, yaitu: (RQ1) topik riset pasar apa saja yang memanfaatkan HRV sebagai parameter pengukuran, dan (RQ2) parameter HRV apa yang paling banyak digunakan dalam penelitian tersebut.

Penelitian ini menggunakan metode *systematic literature review* (SLR) yang dipadukan dengan analisis bibliometrik. Kombinasi pendekatan tersebut digunakan untuk mengidentifikasi tren penelitian, menganalisis karakteristik metodologi yang telah digunakan, serta merumuskan peluang penelitian di masa mendatang. Selain itu, penelitian ini menyusun panduan metodologis mengenai tahapan pelaksanaan eksperimen HRV, mulai dari perancangan eksperimen, akuisisi data, pengolahan sinyal, hingga pemilihan parameter yang sesuai untuk mendukung evaluasi produk, sistem, maupun perilaku konsumen.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk memastikan proses identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan pemilihan artikel dilakukan secara sistematis dan transparan (Page et al., 2021). Rangkaian proses tersebut dirangkum dalam diagram alir PRISMA yang ditampilkan pada Gambar 1



Gambar 1. Diagram alir PRISMA 2020

Sumber data pada penelitian ini diperoleh dari basis data Scopus karena merupakan salah satu pangkalan data bibliografi yang memiliki cakupan jurnal ilmiah bereputasi internasional yang luas serta banyak digunakan dalam penelitian *Systematic Literature Review* (SLR). Proses penelusuran literatur dilakukan pada 10 Juni 2026 dengan memanfaatkan fitur pencarian pada bidang judul, abstrak, dan kata kunci (*Title, Abstract, and Keywords*). Strategi pencarian menggunakan kueri sebagai berikut:

TITLE-ABS-KEY ("heart rate variability" OR HRV) AND TITLE-ABS-KEY ("product preference" OR preference OR choice OR "purchase decision" OR "consumer decision")

Seluruh artikel yang diperoleh dari proses pencarian kemudian diekspor ke dalam format CSV untuk memudahkan proses pengelolaan data dan seleksi literatur. Selanjutnya, artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan sebelum dilakukan proses penyaringan, penilaian kelayakan, dan analisis lebih lanjut sesuai dengan pedoman PRISMA 2020

Penggunaan Scopus sebagai satu-satunya database dalam kajian PRISMA dapat dibenarkan secara ilmiah karena: (1) cakupannya yang sangat luas dan multidisiplin, (2) standar kualitas peer-review yang ketat, (3) pengakuan luas dari komunitas ilmiah internasional, (4) kelengkapan alat analisis sitasi, serta (5) representasi internasional yang lebih baik dibanding database lainnya. Pilihan ini konsisten dengan praktik yang digunakan oleh banyak peneliti dalam studi sistematis berbasis PRISMA di berbagai bidang ilmu (Araújo & Fontainha, 2017; Baas et al., 2020; Ogunleye et al., 2024; Suparwadi et al., 2025).

Setelah proses pencarian literatur melalui basis data Scopus selesai dilakukan, seluruh artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi meliputi artikel ilmiah (*article*) yang diterbitkan pada rentang tahun 1973–2026, tersedia dalam bahasa Inggris, serta membahas penerapan *heart rate variability* (HRV) dalam konteks preferensi produk, preferensi konsumen, atau pengambilan keputusan konsumen. Sebaliknya, kriteria eksklusi meliputi dokumen selain artikel ilmiah, seperti *review*, *conference review*, *letter*, *note*, *erratum*, dan *book chapter*. Selain itu, artikel yang tidak relevan dengan tujuan penelitian, seperti studi yang berfokus pada aplikasi klinis, medis, olahraga, atau bidang lain yang tidak berkaitan dengan preferensi produk dan perilaku konsumen, juga dikeluarkan dari proses seleksi.

Selanjutnya, proses penyaringan dilakukan secara bertahap melalui penelaahan judul, abstrak, dan isi artikel (*full-text review*) untuk memastikan kesesuaian dengan tujuan penelitian. Artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi dipertahankan sebagai dataset akhir, sedangkan artikel yang tidak memenuhi kriteria dikeluarkan dari analisis. Melalui proses tersebut diperoleh 21 artikel yang digunakan sebagai sumber utama dalam *Systematic Literature Review*.

Proses pencarian awal pada basis data Scopus menghasilkan 770 artikel. Selanjutnya, artikel diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi melalui tahapan penyaringan judul, abstrak, dan telaah teks lengkap (*full-text review*). Hasil proses seleksi menghasilkan 19 artikel empiris yang memenuhi kriteria untuk dianalisis. Data yang diekstraksi dari setiap artikel meliputi nama penulis, judul artikel, tahun publikasi, jumlah sitasi, karakteristik partisipan, metode pengukuran, parameter heart rate variability (HRV) yang digunakan, serta temuan utama penelitian. Ringkasan karakteristik artikel tersebut disajikan pada Tabel 1 dan dikelompokkan berdasarkan konteks penerapan HRV dalam evaluasi preferensi konsumen dan pengambilan keputusan.

Tabel 1. Karakteristik Eksperimen, Metode Pengukuran, dan Parameter HRV dari Artikel Referensi Utama

Nama Penulis	Judul Artikel	Tahun	Sitasi	Karakteristik Partisipan	Metode Pengukuran / Desain	Parameter HRV
Zimmermann-Viehoff et al.	<i>Short-term effects of espresso coffee on heart rate variability and blood pressure in habitual and non-habitual coffee consumers</i>	2016	75	77 subjek sehat (74% perempuan, usia \$26.97 \pm 6.88\$ tahun; 38 konsumen kopi rutin, 39 non-rutin).	Uji laboratorium acak dengan desain silang (<i>Randomized crossover study</i>) menggunakan 3 sesi stimulus intervensi produk. Desain manipulasi tingkat stres lingkungan selama proses pengambilan keputusan (<i>Friend/Foe Discrimination</i>).	Indeks Vagal (<i>Vagal Activity Metrics</i>), Tekanan Darah.
Gamble et al.	<i>Different profiles of decision making and physiology under varying levels of stress in trained military personnel</i>	2018	60	26 militer terlatih. personel laki-laki		<i>High Frequency</i> (HF-HRV), Detak Jantung (<i>Heart Rate</i>).

Ferreira et al.	Cardiac autonomic and haemodynamic recovery after a single session of aerobic exercise with and without blood flow restriction in older adults	2017	24	21 lansia (8 laki-laki, 13 perempuan).	Eksperimen uji klinis silang (<i>Crossover study</i>) dengan variasi beban stimulasi fisik otonom.	Interval R-R, RMSSD, <i>High Frequency</i> (HF).
Pattini et al.	Psychological characteristics and physiological reactivity to acute stress in mothers of children with autism spectrum disorder	2019	17	Kelompok ibu (<i>caregiver</i>) dari anak dengan gangguan spektrum autisme.	Pengukuran reaktivitas fisiologis otonom berbasis <i>baseline</i> istirahat menghadapi stresor akut.	<i>Heart Rate Variability</i> (HRV), <i>Heart Rate</i> (HR).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Deskriptif

Selain temuan-temuan penting yang tercatat menggunakan kerangka kerja taksonomi riset, bagian ini menyajikan detail tentang lensa teoretis yang mendasari, desain eksperimen penelitian, serta karakteristik perangkat perekam variabilitas detak jantung (*Heart Rate Variability* / HRV) yang umum digunakan untuk memetakan preferensi konsumen.

3.1.1 Klaster Pemicu Preferensi Konsumen

Tren topik riset pasar yang memanfaatkan *Heart Rate Variability* (HRV) sebagai parameter pengukuran, seluruh korpus literatur diklasifikasikan ke dalam klaster pembentukan preferensi pada Tabel 2. Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa pemanfaatan HRV paling banyak ditemukan pada studi Preferensi Intrinsik Produk (31,6% atau 6 artikel), diikuti oleh evaluasi Daya Tarik Promosi Visual (26,3% atau 5 artikel). Selebihnya, HRV diimplementasikan pada topik Preferensi Adaptif & Perancangan Alat Kerja (21,1%), Interaksi Media Imersif/AR-VR (10,5%), serta Persepsi Nilai Ekonomi dan Harga (10,5%). Temuan ini membuktikan bahwa HRV telah meluas dari sekadar parameter klinis menjadi alat ukur performa kognitif konsumen yang sangat krusial dalam riset pasar modern.

3.1.2 Lensa Teoretis Umum

Mengingat literatur mengenai implementasi HRV dalam mengukur preferensi konsumen sangat bervariasi, catatan penelitian dikelompokkan ke dalam dua lensa teoretis utama, yaitu pendekatan berbasis afektif (emosional) dan berbasis kognitif (beban mental). Pendekatan berbasis afektif mendominasi mekanisme analisis pada 57,9% studi (11 artikel), di mana fluktuasi HRV digunakan untuk menangkap respons ketertarikan tak sadar (*unconscious arousal*) saat subjek terpapar identitas merek atau rasa produk. Di sisi lain, pendekatan berbasis kognitif digunakan oleh 26,3% studi (5 artikel) untuk mengukur kapasitas pengolahan informasi konsumen saat mengevaluasi tingkat kompleksitas antarmuka belanja digital atau ulasan harga. Sisanya (15,8%) mengintegrasikan model kapasitas terbatas pemrosesan informasi (*Limited Capacity Model of Motivated Mediated Message Processing* / LC4MP), yang mengasumsikan bahwa kapasitas kognitif konsumen dalam menyerap stimulus promosi di lingkungan nyata bersifat terbatas dan dapat diukur secara objektif melalui dekomposisi sinyal aktivitas jantung (Lang, 2000).

3.1.3 Desain Eksperimen Penelitian

Dari 19 artikel riset empiris yang dianalisis, mayoritas studi menerapkan desain dalam-subjek (*within-subject design*) sebesar 52,6% (10 artikel) saat mengeksplorasi variabilitas detak jantung (lihat Tabel 2). Desain antar-subjek (*between-subject design*) digunakan oleh 36,8% (7 artikel), sedangkan kombinasi desain subjek campuran (*mixed-design*) diaplikasikan pada 10,5% (2 artikel).

Dalam konteks rekayasa faktor manusia, tingginya penggunaan desain dalam-subjek dinilai sangat efektif karena setiap partisipan bertindak sebagai kontrol bagi dirinya sendiri, sehingga meminimalkan variasi biologis antar-individu, membutuhkan ukuran sampel (*sample size*) yang lebih efisien, serta menawarkan peluang lebih besar untuk menangkap pergeseran preferensi murni dari kondisi *blind test* ke *open test* (Viglia et al., 2021).

3.1.4 Karakteristik Pengukuran dan Domain HRV

Guna menjawab RQ2 mengenai parameter HRV yang paling dominan diimplementasikan, hasil analisis terhadap 19 artikel riset menunjukkan adanya kecenderungan kuat pada penggunaan metrik domain waktu (*time-domain metrics*), seperti SDNN (*Standard Deviation of NN intervals*) dan RMSSD (*Root Mean Square of Successive Differences*). Dominasi parameter domain waktu ini dipilih oleh para peneliti riset pasar karena sifat datanya yang lebih tangguh terhadap *noise* di lingkungan nyata serta kemudahan proses akuisisi datanya tanpa memerlukan teknik dekomposisi spektral yang rumit. Melalui pemanfaatan metrik tersebut, peneliti dapat melakukan triangulasi data objektif dengan laporan subjektif (kuesioner) untuk melacak pergeseran kenyamanan psikologis, gairah emosional (*arousal*), beban kerja kognitif, serta preferensi konsumen secara instan dan *real-time*. Menariknya, seiring kemajuan rekayasa sensor, studi-studi terbaru (seperti riset tahun 2024 dan 2026) mulai mengintegrasikan parameter HRV domain waktu ini dengan teknik kecerdasan buatan (*Convolutional Neural Network / CNN*) serta sensor neurofisiologis ganda (EEG atau fNIRS) demi membangun sistem prediksi preferensi konsumen otomatis yang non-invasif dengan validitas lapangan (*ecological validity*) yang tinggi.

3.1.5 Pengaturan Perangkat Keras dan Portabilitas

Perangkat keras laboratorium tradisional, seperti sistem EKG stasioner non-portabel yang memerlukan lingkungan terkendali dan perangkat lunak komputasi khusus, kini secara masif mulai digantikan oleh sensor biosignal portabel yang lebih efisien dari segi biaya dan mampu diimplementasikan pada kondisi dunia nyata (Dobbs et al., 2019). Meskipun perdebatan mengenai akurasi tingkat tinggi versus kepraktisan di lapangan terus berlanjut, literatur rekayasa faktor manusia membuktikan bahwa instrumen portabel merupakan alternatif yang sangat valid untuk mengukur metrik tubuh secara dinamis (Nelson et al., 2020).

7 catatan tidak menjabarkan secara spesifik nama manufaktur perangkat kerasnya pada bagian metodologi interaksi. Namun, dari 12 catatan sisa yang teridentifikasi secara jelas, terdapat pembagian preferensi metodologi pengambilan data yang berimbang: 58,3% studi (7 artikel) masih mengandalkan perangkat laboratorium non-portabel demi mengejar stabilitas sinyal tinggi, sementara 41,7% studi (5 artikel) telah beralih menggunakan perangkat portabel dan *wearables* (seperti *smartwatch*, sensor EKG portabel, dan kamera non-kontak) demi mendapatkan validitas lingkungan lapangan (*ecological validity*) yang optimal. Tabel 2 merinci daftar klasterisasi studi berdasarkan tipe portabilitas perangkatnya.

Tabel 2. Daftar Karakteristik Portabilitas Perangkat Keras dalam Pengukuran Preferensi

Referensi Artikel	Metodologi Sensor	Karakteristik Portabilitas	Justifikasi Sistem Kerja Industri
(Geib et al., 2015; Ibrahim et al., 2026; Laureanti et al., 2022; Švihrová et al., 2025; Zhao et al., 2023)	<i>Wearables device</i> / Jam Tangan Pintar / Sensor EKG Portabel & Video-PPG	Portabel / Wearable / Lapangan	Memungkinkan akuisisi data aktivitas jantung konsumen dilakukan secara kontinu langsung di lantai ritel atau lingkungan belanja riil tanpa mengganggu aktivitas natural subjek.

(Buyo et al., 2022; Christoforou et al., 2015; Feng et al., 2024; Hermes & Riedl, 2021; Kaheh et al., 2021a, 2021b; Laureanti et al., 2022; Morganroth, 2004; Perez et al., 2025; Ramirez et al., 2021; Valente et al., 2021; Wen et al., 2024; Zimmermann-Viehoff et al., 2016)	Stasiun Kerja Biopac / Sistem EKG Stasioner / Lab <i>Polygraph</i>	Tidak Portabel / Laboratorium Terkendali	Menjamin isolasi lingkungan total dari distorsi luar (<i>noise</i> sinyal), sehingga fluktuasi HRV yang terekam murni merupakan hasil dari paparan stimulus preferensi yang diuji.
---	--	---	---

3.1.6 Alat Pelengkap dan Multimodalitas Sensor

Untuk menghindari bias dari satu metrik tunggal, riset Teknik Industri modern yang berfokus pada preferensi konsumen kini menerapkan pendekatan multimodal sensor. Analisis pada korpus penelitian Anda menunjukkan tren integrasi alat pelengkap yang kuat untuk mendukung interpretasi data variabilitas detak jantung. Aktivitas Elektrodermal / Konduktansi Kulit (31,6% atau 6 artikel): Menjadi alat pelengkap berbasis Sistem Saraf Otonom (SSO) yang paling sering dikombinasikan (Laureanti et al., 2022; Valente et al., 2021) guna mendeteksi tingkat gairah emosional (*arousal*) dan tingkat stres instan secara sinkron. Elektroensefalogram & fNIRS (42,1% atau 8 artikel): Penggunaan sensor sistem saraf pusat (sinyal otak) seperti EEG (6 artikel) dan fNIRS (2 artikel) mendominasi studi preferensi untuk melacak beban kerja kognitif dan area aktivasi otak depan saat subjek menentukan keputusan pilihan (misalnya pada riset Feng dkk. dan Kaheh dkk.). Pelacakan Arah Tatapan Mata / *Eye-Tracking* (10,5% atau 2 artikel): Digunakan untuk mengorelasikan fokus atensi visual secara langsung dengan fluktuasi detak jantung audiens terhadap stimulus visual promosi.

Kombinasi sensor-sensor otonom dan pusat ini memberikan kerangka pembuktian preferensi yang kuat karena mengawinkan data ketidaksadaran fisik dengan umpan balik kuesioner tradisional (Alvino et al., 2020; Casado-Aranda & Sanchez-Fernandez, 2022)

3.2 Analisis Kinerja Publikasi (Bibliometrik)

Untuk menganalisis korpus penelitian secara kuantitatif menggunakan metodologi bibliometrik, kami mengikuti pedoman dan praktik terbaik yang disarankan oleh Donthu dkk. (2021). Langkah evaluasi ini difokuskan pada analisis kinerja publikasi, yaitu kontribusi deskriptif artikel serta pemetaan dampak sebaran jurnal ilmiah yang terindeks (Mukherjee dkk., 2022). Karena penelitian ini secara konsisten membatasi pencarian satu pintu pada database Scopus untuk menjamin standar rekayasa data yang homogen, seluruh metrik performa dihitung secara terpusat dari korpus final tersebut.

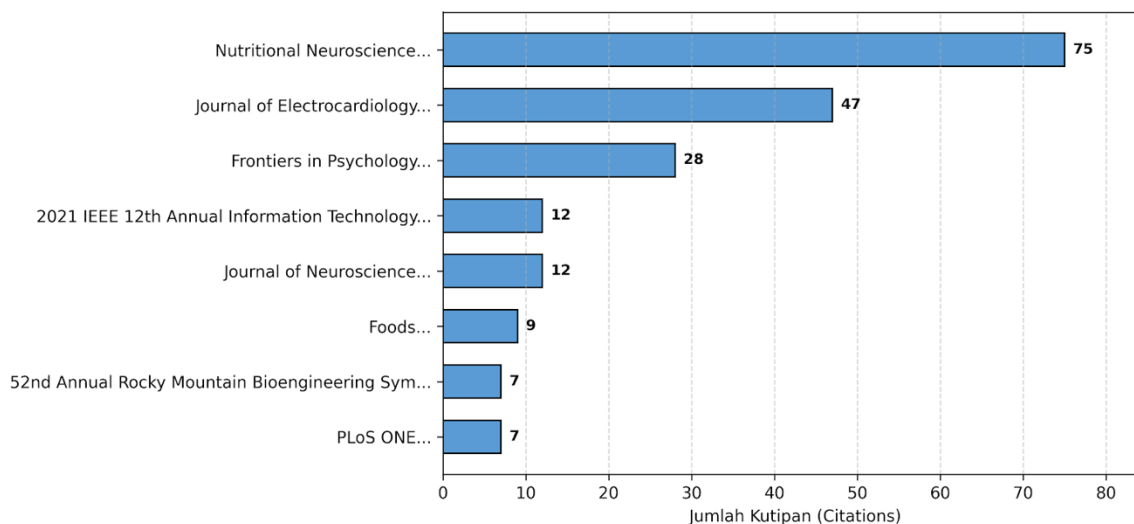
3.2.1 Analisis Kinerja Jurnal dan Dampak Sitasi

Analisis kinerja pada Gambar 2 dan Tabel 3 memetakan produktivitas dan dampak literatur di database Scopus. Sebaran artikel yang merata di 19 jurnal berbeda mengindikasikan sifat lintas disiplin topik preferensi berbasis fisiologis ini. Total korpus mencatat 215 sitasi, dengan kontribusi terbesar berasal dari *Nutritional Neuroscience* (Zimmermann-Viehoff et al., 2016) sebesar 34,9% (75 sitasi), disusul *Journal of Electrocardiology* (Morganroth, 2004) sebesar 21,9% (47 sitasi). Studi sitasi tinggi terbaru seperti (Christoforou et al., 2015) dan (Kaheh et al., 2021b) menunjukkan tren

evolusi metodologi dari pengukuran makro murni ke pendekatan sensor *multimodal* (gabungan HRV, *eye-tracking*, dan EEG) untuk memodelkan preferensi konsumen secara otomatis dan akurat.

Tabel 3. Daftar artikel unggulan teratas berdasarkan sitasi

Artikel (Tahun)	Judul Sumber / Jurnal Terindeks	Judul Artikel Penelitian	Jumlah Kutipan
(Zimmermann-Viehoff et al., 2016)	<i>Nutritional Neuroscience</i>	<i>Short-term effects of espresso coffee on heart rate variability and blood pressure in habitual and non-habitual coffee consumers – A randomized crossover study</i>	75
(Morganroth, 2004)	<i>Journal of Electrocardiology</i>	<i>A Definitive or Thorough Phase 1 QT ECG Trial as a Requirement for Drug Safety Assessment</i>	47
(Christoforou et al., 2015)	<i>Frontiers in Psychology</i>	<i>From the eyes and the heart: A novel eye-gaze metric that predicts video preferences of a large audience</i>	28
(Kaheh et al., 2021a)	<i>IEEE IEMCON Conference Journal of</i>	<i>Using Concurrent fNIRS and EEG Measurements to Study Consumer's Preference</i>	12
(Liu & Mo, 2021)	<i>Neuroscience, Psychology, and Economics</i>	<i>The Effects of Review's Mobile Phone Price on Consumers' Purchase Intention: An Event-Related Potential Study</i>	12
(Valente et al., 2021)	<i>Foods</i>	<i>Neuroorganoleptics: Organoleptic testing based on psychophysiological sensing</i>	9
(Geib et al., 2015)	<i>Rocky Mountain Bioengineering Symposium</i>	<i>The bioengineering of changing lifestyle and wearable technology: A mini review</i>	7
(Laureanti et al., 2022)	<i>PLoS ONE</i>	<i>Analysis of physiological and non-contact signals to evaluate the emotional component in consumer preferences</i>	7
(Ramirez et al., 2021)	<i>IEEE UEMCON Conference</i>	<i>Neuromarketing Study Using Machine Learning for Predicting Purchase Decision</i>	6
(Kaheh et al., 2021b)	<i>IEEE INTERCON Conference</i>	<i>Study on the Effect of Product Brand and Pricing Using Biosignals</i>	6

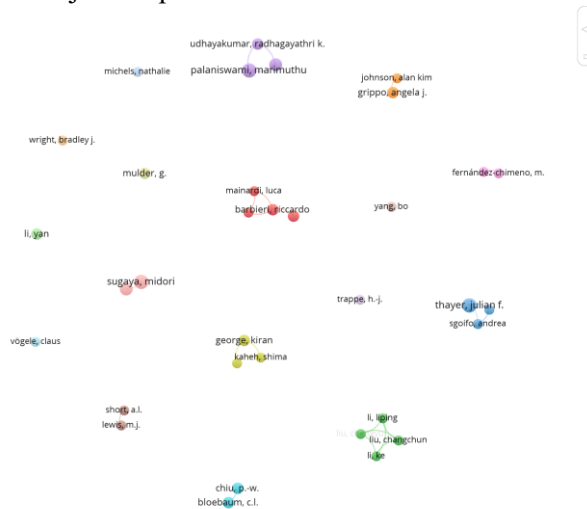


Gambar 2. Distribusi sumber jurnal berdasarkan sitasi tertinggi

3.2.2 Pemetaan Sains

Pemetaan sains dilakukan melalui analisis jaringan kolaborasi penulis (*co-authorship*) dan kemunculan bersama kata kunci (*co-occurrence*) untuk memetakan struktur konseptual domain riset ini. Dari korpus data Scopus yang mencakup 770 artikel, teridentifikasi sebanyak 3.474 penulis. Guna memfokuskan analisis pada jaringan inti yang berdampak signifikan, diterapkan ambang batas

(*threshold*) tetap berupa minimum 3 dokumen dan 5 sitasi per penulis. Penerapan filter ini mereduksi jumlah penulis secara signifikan menjadi 34 penulis inti.



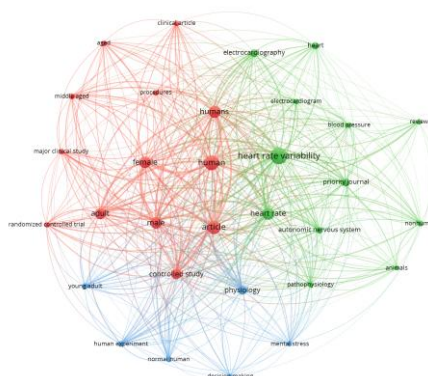
Gambar 3. Analisis kositasi penulis yang paling banyak dikutip menggunakan VOSviewer

Hasil visualisasi menunjukkan bahwa struktur jaringan interaksi dari 34 penulis tersebut terfragmentasi secara ekstrem ke dalam kelompok-kelompok kecil yang saling terisolasi (*disconnected clusters*) tanpa adanya garis penghubung (*link*) antarkelompok. Beberapa klaster mandiri yang menonjol meliputi:

- Klaster Hijau Tua: Membentuk jaringan tertutup erat antara Liping Li, Changchun Liu, dan Ke Li.
- Klaster Biru: Kolaborasi terfokus antara Julian F. Thayer dan Andrea Sgoifo.
- Klaster Merah: Mengelompokkan Luca Mainardi dan Riccardo Barbieri.
- Klaster Ungu: Menghubungkan Radhagayathri K. Udhayakumar dan Marimuthu Palaniswami.

Berdasarkan struktur tersebut, Tabel 3 merangkum daftar penulis teratas dengan pengaruh terbesar berdasarkan kekuatan hubungan jaringan (*total link strength* / TLS). Kelompok kolaborator utama yang dipimpin oleh C. Harden, T. Tomson, dan Jeffrey Buchhalter memimpin dengan nilai TLS tertinggi sebesar 26, meskipun kontribusinya terbatas pada jaringan internal kelompok mereka sendiri. Di sisi lain, Julian F. Thayer menonjol sebagai peneliti paling produktif dengan 6 dokumen dan 129 sitasi, memosisikannya sebagai jangkar akademis penting.

Ketiadaan aktor penghubung (*boundary spanner*) di antara klaster-klaster independen ini membuktikan bahwa meskipun topik preferensi produk menggunakan HRV menarik perhatian global, struktur akademisnya masih sangat tersegmentasi dan bergerak secara mandiri di laboratorium atau kawasan masing-masing.



Gambar 4. Analisis kositasi penulis yang paling banyak dikutip menggunakan VOSviewer

Analisis kemunculan bersama kata kunci pada Gambar 4 mengidentifikasi tiga klaster konseptual utama yang saling terhubung. Klaster 1 (Hijau) berpusat pada *heart rate variability* (HRV), *heart rate*, dan *autonomic nervous system*, yang bertindak sebagai fondasi validasi objektif pelengkap tinjauan teoritis respons psikofisiologis konsumen. Selanjutnya, Klaster 2 (Biru) menyoroti aspek kognitif-perilaku melalui kata kunci *decision making*, *human experiment*, dan *mental stress*, yang mengonfirmasi aplikasi empiris HRV dalam mengevaluasi keputusan konsumen. Terakhir, Klaster 3 (Merah) menekankan kontrol metodologis melalui *controlled study*, *procedures*, dan profil demografi (*male*, *female*). Secara keseluruhan, peta ini membuktikan pergeseran riset preferensi dari indikator subjektif (*self-report*) ke arah pemodelan fisiologis terkontrol berbasis sinyal otonom jantung (HRV) untuk memprediksi dinamika keputusan konsumen secara presisi.

4.3 Arah Penelitian Masa Depan

Berdasarkan pemetaan bibliometrik dan struktur klaster penulis yang terfragmentasi, kami mengusulkan enam jalur penelitian masa depan. Jalur riset ini mengintegrasikan kerangka konseptual neurosains konsumen untuk mendeteksi preferensi produk dan dinamika keputusan memilih secara objektif via metrik *heart rate variability* (HRV). Mengikuti model taksonomi dari Loureiro dkk. (2020) untuk arah riset masa depan, proposal ini diklasifikasikan ke dalam tiga domain utama: landasan teoretis preferensi, karakteristik produk/stimulus, dan inovasi metodologis. Pertanyaan penelitian terperinci untuk studi mendatang dirangkum dalam Tabel 6.

Tabel 4. Matriks pertanyaan penelitian masa depan terkait identifikasi preferensi produk menggunakan HRV.

Arah Penelitian	Jalur Penelitian	Pertanyaan Penelitian Masa Depan
Teori	1. Pembentukan preferensi implisit (<i>Implicit Preference</i>).	- Bagaimana metrik parasimpatis HRV (seperti RMSSD dan komponen <i>High Frequency</i>/HF) dapat membedakan preferensi emosional bawah sadar konsumen terhadap produk hedonis dan fungsional sebelum diekspresikan secara verbal? - Sejauh mana indeks otonom HRV mampu mendeteksi tingkat ambivalensi kognitif konsumen saat dihadapkan pada situasi kelebihan pilihan (<i>choice overload</i>)?
	2. Prediksi niat beli (<i>Purchase Intention</i>).	- Bagaimana pemodelan deret waktu sinyal HRV selama interaksi dengan produk dapat digunakan sebagai prediktor kuantitatif terhadap niat beli nyata? - Bagaimana pergeseran rasio LF/HF mencerminkan kondisi gairah kognitif (<i>arousal</i>) konsumen dalam mengevaluasi batas penerimaan harga (<i>price acceptance</i>) suatu produk?
Karakteristik	3. Estetika visual kemasan dan bauran pemasaran.	- Bagaimana karakteristik visual kemasan produk (seperti skema warna, geometri logo, dan tipografi) memodulasi tonus vagal jantung pada detik-detik awal paparan? - Apakah integrasi stimulasi multi-indra (kombinasi taktil, aroma, dan visual) memicu respons HRV yang lebih akurat dalam mengonfirmasi kekuatan preferensi produk?
	4. Preferensi produk di ekosistem digital (<i>E-commerce</i>).	- Bagaimana profil HRV konsumen berbeda secara signifikan saat mengevaluasi produk di platform <i>e-commerce</i> interaktif dibandingkan visualisasi statis tradisional? - Dapatkah HRV melacak tingkat keterlibatan emosional (<i>product engagement</i>) yang lebih tinggi ketika konsumen berinteraksi dengan produk berbasis <i>Augmented Reality</i> (AR)?

Metodologi	5. Triangulasi multi-modal dengan alat neurofisiologis.	- Bagaimana sinkronisasi temporal data HRV dan fiksasi mata (<i>gaze duration</i>) dapat mengidentifikasi elemen spesifik produk yang paling memicu ketertarikan konsumen? - Apakah kombinasi pemetaan area fokus visual (<i>Area of Interest</i>) dan osilasi otonom HRV mampu memvalidasi peta preferensi produk secara lebih presisi?
	6. Klasifikasi preferensi berbasis kecerdasan buatan (<i>Machine/Deep Learning</i>).	- Bagaimana implementasi algoritma pembelajaran mesin tingkat lanjut dapat meningkatkan akurasi pengenalan pola HRV untuk mengklasifikasikan tingkat kesukaan konsumen terhadap suatu produk? - Dapatkah arsitektur prediktif berbasis AI mendeteksi pergeseran preferensi produk secara <i>real-time</i> memanfaatkan aliran data HRV kontinu dari perangkat <i>wearable</i> ?

4.3.1 Teori: Arah Penelitian Baru

Pembahasan dalam literatur saat ini sering kali masih meneliti metrik fisiologis secara terisolasi tanpa adanya integrasi teoretis yang kuat dengan pembentukan preferensi atau pengambilan keputusan konsumen. Pendekatan teoretis pertama mencakup evaluasi preferensi konsumen yang dipicu oleh elemen bauran pemasaran melalui konstruksi afektif, kognitif, dan sensorik. Peneliti dapat memperoleh manfaat besar dari pemahaman efek fisiologis ini, mengingat emosi memainkan peran krusial dalam keputusan pembelian (Gaur et al., 2014). Pengaruh emosional ini dapat dikategorikan menjadi emosi integral yang dipicu langsung oleh produk/iklan, serta emosi insidental seperti suasana hati bawaan konsumen (Achar et al., 2016).

Guna memetakan dinamika ini, pendekatan probabilistik dapat diterapkan untuk mengategorikan keadaan emosional konsumen berdasarkan model sirkumpleks afek menggunakan fitur HRV (Valenza et al., 2014). Di sisi lain, pendekatan emosi dasar mengklasifikasikan respons konsumen ke dalam kategori diskrit seperti kejutan, ketertarikan, atau penolakan terhadap stimulus bauran pemasaran (Laros & Steenkamp, 2005). Karena faktor emosional dan kognitif erat kaitannya dengan pengalaman merek, indeks HRV dapat berfungsi sebagai korelasi fisiologis untuk domain kognitif seperti memori, perhatian, beban kognitif (Solhjoo et al., 2019), serta keterlibatan mental mendalam konsumen (*flow state*) saat mengevaluasi produk (Tozman et al., 2015).

4.3.2 Karakteristik: Arah Penelitian Baru

Pendekatan kedua mempertimbangkan profil personal konsumen yang mencakup aspek kepribadian, gaya berpikir, dan demografi. Kumpulan variabel ini membentuk profil unik yang memoderasi bagaimana preferensi produk terbentuk, di mana ciri kepribadian yang berbeda terbukti memiliki hubungan signifikan dengan metrik HRV dasar individu (Zohar et al., 2013). Konstruk psikologis baru, seperti tingkat impulsivitas atau agresi konsumen (Kristoffersson & Lindén, 2020), juga dapat dikorelasikan dengan indeks HRV untuk memprediksi kecenderungan perilaku pembelian impulsif.

Pendekatan ketiga membahas pengalaman produk langsung di titik penjualan (*point of sale*) selama proses pemilihan. Pemanfaatan alat neurosains konsumen sangat krusial untuk memetakan pengalaman langsung di dalam toko ritel (Alvino et al., 2020). Dalam lingkungan terkontrol, metrik HRV seperti rasio LF/HF terbukti sensitif untuk mengidentifikasi tingkat stres atau kenyamanan individu (Dulleck et al., 2011). Mengeksplorasi hubungan antara HRV dan pengalaman positif konsumen sangat penting karena berdampak langsung pada niat perilaku jangka panjang, seperti loyalitas merek dan kesediaan untuk membayar (*willingness to pay*). Pengalaman ini juga melibatkan dimensi ruang-waktu toko ritel fisik maupun virtual, di mana tata letak, warna, pencahayaan, musik, hingga tingkat kepadatan toko dapat memicu stres psikologis akibat keterbatasan ruang (Stokols, 1972) yang dapat divalidasi secara akurat melalui fluktuasi HRV selama perjalanan belanja.

4.3.3 Metodologi: Arah Penelitian Baru

Alur kelima dan keenam membahas korelasi dan integrasi metodologis antara HRV dengan teknologi imersif serta alat neurofisiologis lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir, pemanfaatan HRV semakin masif untuk melengkapi dan memperkuat sistem realitas campuran (Halbig & Latoschik, 2021). Penerapan teknologi realitas virtual (VR) dan *augmented reality* (AR) memungkinkan peneliti menggambarkan simulasi belanja dunia nyata dengan detail konteks dan informasi sensorik yang tinggi, sehingga menghasilkan validitas ekologis eksperimen yang optimal. Stimulus pemasaran yang dirancang secara presisi di dalam lingkungan imersif ini dapat membangkitkan pengalaman emosional autentik (seperti kesenangan atau keterlibatan produk) yang berkorelasi langsung dengan data fisiologis jantung.

Studi dalam dekade terakhir menunjukkan bahwa pemetaan preferensi yang akurat sering kali membutuhkan penggunaan HRV yang disinkronisasikan bersama alat neurosains konsumen lainnya, seperti pelacakan mata (*eye tracking*) dan elektroensefalografi (EEG). Lebih lanjut, algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*) dapat diimplementasikan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan pengalaman emosional serta preferensi produk konsumen secara otomatis berdasarkan fitur yang diekstrak dari deret waktu HRV. Algoritma pengklasifikasi populer seperti *Random Forest*, *K-Nearest Neighbor* (KNN), dan *Support Vector Machine* (SVM) menawarkan peluang besar bagi peneliti untuk membangun model prediksi preferensi konsumen yang bekerja secara *real-time* (Bulagang et al., 2020)

4 KESIMPULAN

Penelitian ini mengonfirmasi bahwa *heart rate variability* (HRV) telah berkembang menjadi instrumen non-invasif yang andal, akurat, dan bernilai tinggi dalam menangkap respons fisiologis serta preferensi afektif konsumen secara objektif. Melalui tinjauan literatur komprehensif pertama yang berfokus pada integrasi konseptual otonom ini, studi kami mengatasi keterbatasan riset terdahulu yang sering kali hanya memosisikan HRV sebagai alat pelengkap sekunder. Kontribusi utama dari penelitian ini mencakup: (1) penyusunan kerangka kerja konseptual terstruktur mengenai evolusi metodologi HRV selama dua dekade terakhir dalam memetakan perilaku konsumen; serta (2) perumusan jalur penelitian masa depan dan panduan praktis untuk mengeksplorasi preferensi produk secara teoretis maupun aplikatif.

Melalui penggabungan Teori Pilihan Konsumen (*Consumer Choice Theory*) dan pendekatan neurosains, tinjauan ini menunjukkan bahwa evaluasi terhadap karakteristik produk dan aspek kemasan mulai menggeser dominasi isu promosi tradisional dalam literatur psikofisiologis. Dalam hal metodologi, pengukuran domain waktu (*time-domain*) tetap menjadi yang paling dominan digunakan oleh peneliti. Dari sisi teknis pengumpulan data, terjadi transisi teknologi yang masif di mana perangkat elektrokardiogram (EKG) laboratorium yang kaku mulai digantikan oleh perangkat nirkabel portabel (*wearable devices*) berbasis sensor pergelangan tangan atau jari yang menawarkan validitas ekologis lebih tinggi.

Analisis kemunculan bersama kata kunci (*keyword co-occurrence*) memperjelas peta konseptual ini ke dalam struktur klaster yang saling melengkapi, yaitu: (1) integrasi HRV dengan multi-instrumen neurosains konsumen; (2) aplikasi bio-sinyal dalam menilai daya tarik dan evaluasi produk; serta (3) pemanfaatan modulasi kardiovagal untuk mengukur valensi emosional di balik keputusan memilih. Hasil ini menegaskan sifat komplementer HRV dengan alat neurofisiologis lain dalam memvalidasi emosi implisit konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

Achar, C., So, J., Agrawal, N., & Duhachek, A. (2016). What we feel and why we buy: the influence of emotions on consumer decision-making. *Current Opinion in Psychology*, 10, 166–170. <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2016.01.009>

- Alvino, L., Pavone, L., Abhishta, A., & Robben, H. (2020). Picking Your Brains: Where and How Neuroscience Tools Can Enhance Marketing Research. *Frontiers in Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.577666>
- Araújo, T., & Fontainha, E. (2017). *Big Missing Data: are scientific memes inherited differently from gendered authorship?* <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.05156>
- Baas, J., Schotten, M., Plume, A., Côté, G., & Karimi, R. (2020). Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies. *Quantitative Science Studies*, 1(1), 377–386. https://doi.org/10.1162/qss_a_00019
- Bell, L., Vogt, J., Willemse, C., Routledge, T., Butler, L. T., & Sakaki, M. (2018). Beyond Self-Report: A Review of Physiological and Neuroscientific Methods to Investigate Consumer Behavior. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01655>
- Bulagang, A. F., Weng, N. G., Mountstephens, J., & Teo, J. (2020). A review of recent approaches for emotion classification using electrocardiography and electrodermography signals. *Informatics in Medicine Unlocked*, 20, 100363. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100363>
- Buyo, K., Kishida, S., & Horita, Y. (2022). Consideration of Majority Voting Method using CNN in Heart Rate Variability Analysis and Preference. *IEEE Transactions on Electronics, Information and Systems*, 142(5), 601–602. <https://doi.org/10.1541/ieejieiss.142.601>
- Candia-Rivera, D., Catrambone, V., Thayer, J. F., Gentili, C., & Valenza, G. (2022). Cardiac sympathetic-vagal activity initiates a functional brain–body response to emotional arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(21). <https://doi.org/10.1073/pnas.2119599119>
- Casado-Aranda, L.-A., & Sanchez-Fernandez, J. (2022). Advances in neuroscience and marketing: analyzing tool possibilities and research opportunities. *Spanish Journal of Marketing - ESIC*. <https://doi.org/10.1108/SJME-10-2021-0196>
- Christoforou, C., Christou-Champi, S., Constantinidou, F., & Theodorou, M. (2015). From the eyes and the heart: a novel eye-gaze metric that predicts video preferences of a large audience. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00579>
- Dobbs, W. C., Fedewa, M. V., MacDonald, H. V., Holmes, C. J., Cicone, Z. S., Plews, D. J., & Esco, M. R. (2019). The Accuracy of Acquiring Heart Rate Variability from Portable Devices: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 49(3), 417–435. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01061-5>
- Dulleck, U., Ristl, A., Schaffner, M., & Torgler, B. (2011). Heart rate variability, the autonomic nervous system, and neuroeconomic experiments. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 4(2), 117–124. <https://doi.org/10.1037/a0022245>
- Feng, C., Jadram, N., Nakagawa, Y., & Sugaya, M. (2024). Emotion Estimation Using Single-Channel EEG and Heart Rate Variability for Industrial Applications. *2024 12th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Workshops and Demos (ACIIW)*, 195–197. <https://doi.org/10.1109/ACIIW63320.2024.00040>
- Ferreira, M. L. V., Sardeli, A. V., Souza, G. V. De, Bonganha, V., Santos, L. D. C., Castro, A., Cavaglieri, C. R., & Chacon-Mikahil, M. P. T. (2017). Cardiac autonomic and haemodynamic recovery after a single session of aerobic exercise with and without blood flow restriction in older adults. *Journal of Sports Sciences*, 35(24), 2412–2420. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1271139>
- Gamble, K. R., Vettel, J. M., Patton, D. J., Eddy, M. D., Caroline Davis, F., Garcia, J. O., Spangler, D. P., Thayer, J. F., & Brooks, J. R. (2018). Different profiles of decision making and physiology under varying levels of stress in trained military personnel. *International Journal of Psychophysiology*, 131, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.03.017>
- Gaur, S. S., Herjanto, H., & Makkar, M. (2014). Review of emotions research in marketing, 2002–2013. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 21(6), 917–923. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2014.08.009>
- Geib, R. W., Swink, P. J., Vorel, A. J., Shepard, C. S., Gurovich, A. N., & Waite, G. N. (2015). The bioengineering of changing lifestyle and wearable technology: a mini review. *Biomedical Sciences Instrumentation*, 51, 69–76.

- Halbig, A., & Latoschik, M. E. (2021). A Systematic Review of Physiological Measurements, Factors, Methods, and Applications in Virtual Reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 2. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.694567>
- Herman, A. M., Critchley, H. D., & Duka, T. (2018). The role of emotions and physiological arousal in modulating impulsive behaviour. *Biological Psychology*, 133, 30–43. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.01.014>
- Hermes, A., & Riedl, R. (2021). *Exploring the Influence of Personality Traits on Affective Customer Experiences in Retailing: Combination of Heart Rate Variability (HRV) and Self-report Measures* (pp. 20–29). https://doi.org/10.1007/978-3-030-88900-5_3
- Ibrahim, A. H., Beaumont, C. T., & Strohacker, K. (2026). “The More You Give the Wearable, the More It Gives You”: How Regular Exercisers Navigate Exercise Using Wearable Devices. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. <https://doi.org/10.1007/s10484-025-09762-6>
- Kaheh, S., Ramirez, M., & George, K. (2021a). Using Concurrent fNIRS and EEG Measurements to Study Consumer’s Preference. *2021 IEEE 12th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, 0305–0310. <https://doi.org/10.1109/IEMCON53756.2021.9623092>
- Kaheh, S., Ramirez, M., & George, K. (2021b, August 5). Study on the Effect of Product Brand and Pricing Using Biosignals. *Proceedings of the 2021 IEEE 28th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2021*. <https://doi.org/10.1109/INTERCON52678.2021.9532800>
- Karmarkar, U. R., & Plassmann, H. (2019). Consumer Neuroscience: Past, Present, and Future. *Organizational Research Methods*, 22(1), 174–195. <https://doi.org/10.1177/1094428117730598>
- Kleinginna, P. R., & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5(4), 345–379. <https://doi.org/10.1007/BF00992553>
- Kristoffersson, A., & Lindén, M. (2020). Wearable sensors for monitoring and preventing noncommunicable diseases: A systematic review. In *Information (Switzerland)* (Vol. 11, Number 11, pp. 1–31). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/info11110521>
- Lang, A. (2000). The Limited Capacity Model of Mediated Message Processing. *Journal of Communication*, 50(1), 46–70. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2000.tb02833.x>
- Laros, F. J. M., & Steenkamp, J.-B. E. M. (2005). Emotions in consumer behavior: a hierarchical approach. *Journal of Business Research*, 58(10), 1437–1445. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2003.09.013>
- Laureanti, R., Barbieri, R., Cerina, L., & Mainardi, L. (2022). Analysis of physiological and non-contact signals to evaluate the emotional component in consumer preferences. *PLoS ONE*, 17(5 May). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267429>
- Lee, N., Chamberlain, L., & Brandes, L. (2018). Welcome to the jungle! The neuromarketing literature through the eyes of a newcomer. *European Journal of Marketing*, 52(1/2), 4–38. <https://doi.org/10.1108/EJM-02-2017-0122>
- Liu, J., & Mo, Z. (2021). The effects of review’s mobile phone price on consumers’ purchase intention: An event-related potential study. *Journal of Neuroscience, Psychology, and Economics*, 14(4), 197–206. <https://doi.org/10.1037/npe0000152>
- Massaro, S., & Pecchia, L. (2019). Heart Rate Variability (HRV) Analysis: A Methodology for Organizational Neuroscience. *Organizational Research Methods*, 22(1), 354–393. <https://doi.org/10.1177/1094428116681072>
- Morganroth, J. (2004). A definitive or thorough phase 1 QT ECG trial as a requirement for drug safety assessment. *Journal of Electrocardiology*, 37(1), 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2003.11.004>
- Nelson, B. W., Low, C. A., Jacobson, N., Areán, P., Torous, J., & Allen, N. B. (2020). Guidelines for wrist-worn consumer wearable assessment of heart rate in biobehavioral research. *Npj Digital Medicine*, 3(1), 90. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0297-4>

- Ogunleye, B., Zakariyyah, K. I., Ajao, O., Olayinka, O., & Sharma, H. (2024). A Systematic Review of Generative AI for Teaching and Learning Practice. *Education Sciences*, 14(6), 636. <https://doi.org/10.3390/educsci14060636>
- Orazi, D. C., & Nyilasy, G. (2019). Straight to the Heart Of Your Target Audience. *Journal of Advertising Research*, 59(2), 137–141. <https://doi.org/10.2501/JAR-2019-020>
- Perez, A., Singh, A., & Pontes, V. (2025). Purchase Intention in Augmented Reality vs. Web Shopping: A Multimodal Exploration. *Proceedings of the 2025 20th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry*, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3779232.3779279>
- Poels, K., & Dewitte, S. (2006). How to Capture the Heart? Reviewing 20 Years of Emotion Measurement in Advertising. *Journal of Advertising Research*, 46(1), 18–37. <https://doi.org/10.2501/S0021849906060041>
- Ramirez, M., Kaheh, S., & George, K. (2021). Neuromarketing Study Using Machine Learning for Predicting Purchase Decision. *2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, 0560–0564. <https://doi.org/10.1109/UEMCON53757.2021.9666539>
- Royo-Vela, M., & Varga, Á. (2022). Unveiling Neuromarketing and Its Research Methodology. *Encyclopedia*, 2(2), 729–751. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2020051>
- Solhjoo, S., Haigney, M. C., McBee, E., van Merriënboer, J. J. G., Schuwirth, L., Artino, A. R., Battista, A., Ratcliffe, T. A., Lee, H. D., & Durning, S. J. (2019). Heart Rate and Heart Rate Variability Correlate with Clinical Reasoning Performance and Self-Reported Measures of Cognitive Load. *Scientific Reports*, 9(1), 14668. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50280-3>
- Stokols, D. (1972). On the distinction between density and crowding: Some implications for future research. *Psychological Review*, 79(3), 275–277. <https://doi.org/10.1037/h0032706>
- Suparwadi, S., Al Musadieq, M., Riza, M. F., & Hutahayan, B. (2025). What Are the Key Determinants of Sustainable Organizational Performance? A PRISMA-Based Systematic Review. *F1000Research*, 14, 1189. <https://doi.org/10.12688/f1000research.168678.1>
- Švihrová, R., Marzorati, D., Bechný, M., Grossenbacher, M., Ilchenko, Y., Grossenbacher, J., Tzovara, A., & Faraci, F. D. (2025). Toward burnout prevention with Bayesian mixed-effects regression analysis of longitudinal data from wearables: a preliminary study. *Frontiers in Digital Health*, 7. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2025.1640900>
- Tozman, T., Magdas, E. S., MacDougall, H. G., & Vollmeyer, R. (2015). Understanding the psychophysiology of flow: A driving simulator experiment to investigate the relationship between flow and heart rate variability. *Computers in Human Behavior*, 52, 408–418. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.06.023>
- Valente, J., Godinho, L., Pintado, C., Baptista, C., Kozlova, V., Marques, L., Fred, A., & Plácido da Silva, H. (2021). Neuroorganoleptics: Organoleptic Testing Based on Psychophysiological Sensing. *Foods*, 10(9), 1974. <https://doi.org/10.3390/foods10091974>
- Valenza, G., Citi, L., Lanatá, A., Scilingo, E. P., & Barbieri, R. (2014). Revealing Real-Time Emotional Responses: a Personalized Assessment based on Heartbeat Dynamics. *Scientific Reports*, 4(1), 4998. <https://doi.org/10.1038/srep04998>
- Verhulst, N., De Keyser, A., Gustafsson, A., Shams, P., & Van Vaerenbergh, Y. (2019). Neuroscience in service research: an overview and discussion of its possibilities. *Journal of Service Management*, 30(5), 621–649. <https://doi.org/10.1108/JOSM-05-2019-0135>
- Viglia, G., Zaefarian, G., & Ulqinaku, A. (2021). How to design good experiments in marketing: Types, examples, and methods. *Industrial Marketing Management*, 98, 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.08.007>
- Wen, X., Wang, Y., & Liu, C. (2024). The relationship between emotions and HRV under the stimulation of bra images. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 103, 103633. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2024.103633>
- Zhao, M., Ma, S., Liu, Y., & Song, W. (2023). *Multimedia-Based Informal Learning in Museum Using Augmented Reality* (pp. 53–64). https://doi.org/10.1007/978-981-99-7549-5_5

- Zimmermann-Viehoff, F., Thayer, J., Koenig, J., Herrmann, C., Weber, C. S., & Deter, H.-C. (2016). Short-term effects of espresso coffee on heart rate variability and blood pressure in habitual and non-habitual coffee consumers – A randomized crossover study. *Nutritional Neuroscience*, 19(4), 169–175. <https://doi.org/10.1179/1476830515Y.0000000018>
- Zohar, A. H., Cloninger, C. R., & McCraty, R. (2013). Personality and Heart Rate Variability: Exploring Pathways from Personality to Cardiac Coherence and Health. *Open Journal of Social Sciences*, 01(06), 32–39. <https://doi.org/10.4236/jss.2013.16007>