Jurnal Teknik Mesin, Vol 22, No. 1, April 2025, 19-29
ISSN 1410-9867 print / ISSN 2656-3290 online
DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

Pengembangan *Quality Function Deployment* dengan Model Optimasi Multi-Kriteria

I Nyoman Sutapa[1]*, Magdalena Wullur[2], Mohammad Sukri Bin Mustapa[3]
[1] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra
Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236, Indonesia
[2] Program Studi Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Sam Ratulangi
Jl. Kampus Unsrat Bahu, Malalayang, Manado 95115, Indonesia
[3] Fakulti Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia
Persiaran Tun Dr. Ismail, 86400 Parit Raja, Johor Darul Ta'zim, Malaysia
*Penulis korespondensi; E-mail: mantapa@petra.ac.id

ABSTRAK

Dalam upaya meningkatkan kepuasan pelanggan, proses desain produk harus secara efektif mampu menangkap dan menerjemahkan harapan dan kebutuhan pelanggan. *Quality Function Deployment (QFD)* adalah metode yang sering digunakan untuk membantu proses ini, tetapi implementasi *QFD* konvensional terkadang tidak optimal dalam mengakomodasi berbagai kriteria keputusan yang kompleks. Oleh karena itu, penggunaan metode *Multi Criteria Decision Making (MCDM)* seperti *Analytic Hierarchy Process (AHP), VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)*, dan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (*DEMATEL)* penting untuk meningkatkan efektivitas analisis *QFD*. *AHP* digunakan untuk memprioritaskan kebutuhan pelanggan berdasarkan minat relatif, sedangkan *VIKOR* membantu dalam menentukan solusi kompromi terbaik antara beberapa alternatif desain. *DEMATEL*, di sisi lain, memetakan hubungan sebab-akibat antara berbagai kriteria desain atau persyaratan teknis, sehingga membantu memahami interaksi yang lebih dalam dalam elemen desain. Kombinasi ketiga metode ini memungkinkan desainer produk untuk lebih tepat dalam menangkap ekspektasi pelanggan, sekaligus memberikan solusi desain yang optimal bagi produsen, baik dari segi kualitas, biaya, maupun efisiensi.

Kata Kunci : pengembangan *QFD, AHP, VIKOR, DEMATEL*.

ABSTRACT

In an effort to improve customer satisfaction, the product design process must be effectively able to capture and translate customer expectations and needs. Quality Function Deployment (QFD) is a method that is often used to help with this process, but conventional QFD implementation is sometimes not optimal in accommodating a variety of complex decision criteria. Therefore, the use of Multi Criteria Decision Making (MCDM) methods such as Analytic Hierarchy Process (AHP), VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), and Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (*DEMATEL) is important to improve the effectiveness of QFD analysis. AHP can be used to prioritize customer needs based on relative interests, while VIKOR helps in determining the best compromise solution between multiple design alternatives. DEMATEL, on the other hand, maps the cause-and-effect relationship between various design criteria or technical requirements, thus helping to understand the deeper interactions in design elements. The combination of these three methods allows product designers to be more precise in capturing customer expectations, while providing optimal design solutions for manufacturers, both in terms of quality, cost, and efficiency.*

Keywords: *QFD Development, AHP, VIKOR, DEMATEL.*

PENDAHULUAN

Penelitian ini berangkat dari kebutuhan mendesak dalam penggunaan alat analisis desain yang dapat memperhatikan kepentingan, harapan, kebutuhan, atau persyaratan pelanggan secara lebih komprehensif dan dapat diandalkan. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam dunia industri adalah QFD, yang bertujuan untuk menerjemahkan kebutuhan dan keinginan

DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

pelanggan ke dalam spesifikasi teknis produk [1]. Namun, QFD yang umum digunakan saat ini masih memiliki keterbatasan, terutama dalam hal efektivitasnya menangkap harapan pelanggan [2].

Pada QFD konvensional, bobot kepentingan dari persyaratan pelanggan sering kali didasarkan langsung pada pemeringkatan dari persepsi pelanggan. Hal ini menyebabkan tidak adanya perbandingan yang komprehensif dengan kepentingan-kepentingan lain yang mungkin bertentangan, sehingga mengurangi akurasi dalam pengambilan keputusan desain produk. Selain itu, analisis perbandingan desain produk dengan desain pesaing, yang dinilai berdasarkan capaian persyaratan pelanggan, menjadi semakin kompleks ketika ada banyak desain yang harus dibandingkan dan banyak persyaratan yang harus dipenuhi. Ketika beberapa persyaratan pelanggan bertentangan satu sama lain, analisis perbandingan tersebut menjadi sulit dilakukan dengan alat yang tersedia saat ini [3].

Selain tantangan dalam memprioritaskan persyaratan pelanggan, analisis perbandingan desain produk dengan skor nilai berdasarkan persyaratan teknis juga mengalami kendala. Ketika jumlah persyaratan teknis dan jumlah produk pembanding meningkat, analisis menjadi semakin sulit dilakukan. Persyaratan teknis yang saling bergantung satu sama lain sering kali diabaikan dalam analisis korelasi sederhana, sehingga hasil analisis menjadi kurang komprehensif. Diperlukan alat analisis yang mampu mengidentifikasi dan menganalisis hubungan sebab-akibat antar persyaratan teknis secara lebih mendalam untuk memberikan panduan yang lebih baik dalam proses pengembangan desain produk [4].

Untuk menjawab tantangan-tantangan tersebut, penelitian ini berfokus pada kombinasi QFD dengan beberapa alat analisis optimasi MCDM [5], diantaranya yaitu AHP, Vikor, dan DEMATEL. AHP digunakan untuk membobotkan setiap persyaratan pelanggan agar lebih representatif terhadap prioritas yang sebenarnya. Vikor digunakan untuk menganalisis desain produk pembanding dan membantu menentukan desain yang optimal berdasarkan persyaratan pelanggan dan teknis yang tercapai [6]. Sementara itu, DEMATEL digunakan untuk menganalisis saling ketergantungan antar persyaratan teknis, memberikan panduan yang lebih jelas dalam pemilihan prioritas persyaratan teknis yang relevan dalam pengembangan desain produk [7]. Dengan menggunakan pendekatan ini, diharapkan pengembangan desain produk dapat lebih responsif terhadap kebutuhan pelanggan dan mampu bersaing dengan desain produk pesaing, sekaligus mengatasi kompleksitas hubungan antar persyaratan teknis.

Pembobotan Persyaratan Pelanggan dengan AHP, metode pengambilan keputusan multi-kriteria dikembangkan Thomas L. Saaty tahun 1970-an. Penggunaan AHP untuk menentukan bobot kriteria pengambilan keputusan yang melibatkan beberapa kriteria saling bertentangan [8]. AHP membantu pengambil keputusan untuk membuat penilaian secara sistematis dan konsisten melalui perbandingan berpasangan antar kriteria, dan mengkonversi penilaian ini menjadi bobot numerik [9].

Terdapat beberapa langkah utama dalam AHP dalam menentukan bobot kriteria. Pertama mendefinisikan kriteria dan struktur hierarki. Masalah yang dihadapi harus dirumuskan dan diuraikan menjadi hierarki tujuan, diikuti dengan kriteria dan, jika ada, sub-kriteria yang relevan. Struktur hierarki menggambarkan hubungan antara tujuan, kriteria, dan alternatif. Kedua menyusun matriks perbandingan berpasangan untuk menentukan bobot setiap kriteria, perbandingan berpasangan menggunakan skala intensitas preferensi Saaty. Pengambil keputusan membandingkan dua kriteria pada satu waktu, berdasarkan pentingnya satu kriteria terhadap kriteria lainnya. Skala Intensitas Preferensi Saaty, terdiri dari skor 1 menyatakan sama penting, skor 3 adalah sedikit lebih penting, skor 5 untuk cukup lebih penting, skor 7 menggambarkan sangat lebih penting, dan skor 9 untuk mutlak lebih penting. Selanjutnya, skor 2, 4, 6, 8 menyatakan nilai-nilai di antara skala utama di atas. Ketiga, normalisasi matriks perbandingan, untuk mendapatkan bobot masing-masing kriteria. Normalisasi dilakukan dengan menjumlahkan setiap kolom pada matriks dan kemudian membagi setiap elemen matriks dengan jumlah kolom yang sesuai. Keempat menghitung bobot kriteria, dengan menghitung rata-rata setiap baris yang telah dinormalisasi. Bobot kriteria ini merupakan bobot relatif dari setiap kriteria. Kelima

 DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

memeriksa konsistensi (Rasio Konsistensi). Salah satu aspek penting dari AHP adalah memeriksa konsistensi dari penilaian perbandingan berpasangan. Konsistensi sangat penting untuk memastikan bahwa penilaian dalam perbandingan berpasangan tidak saling bertentangan secara logis. Dalam pemeriksaan konsistensi dilakukan perhitungan lambda max (λ_{max}), yaitu nilai eigen terbesar dari matriks perbandingan. Lalu menghitung Indeks Konsistensi (CI) yaitu $CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ dimana n adalah jumlah kriteria. Terakhir menghitung Rasio Konsistensi (CR) yaitu $CR = \frac{CI}{RI}$ dimana RI (Indeks Acak) adalah nilai standar yang telah ditentukan berdasarkan jumlah kriteria. Jika $CR < 0.1$, penilaian dianggap konsisten. Jika tidak, penilaian perlu diulang.

Analisis Perbandingan Desain dengan Beberapa Kriteria Menggunakan VIKOR, memilih alternatif terbaik dari beberapa alternatif dengan mempertimbangkan beberapa kriteria saling bertentangan [10]. VIKOR menggunakan pendekatan kompromi untuk meminimalkan jarak dari solusi ideal.

Prinsip dasar metode VIKOR adalah *compromise programming* [11]**.** VIKOR berlandaskan pada konsep "kompromi", solusi terbaik merupakan solusi paling dekat dengan "solusi ideal," solusi yang menghasilkan kinerja terbaik untuk semua kriteria. Namun, karena jarang ada satu alternatif yang unggul di semua kriteria, VIKOR mencari solusi yang menawarkan keseimbangan antara kriteria yang berbeda.

Beberapa langkah dasar dalam penerapan metode VIKOR. Pertama menentukan alternatif dan kriteria. Pengambil Keputusan terlebih dahulu menentukan sejumlah alternatif yang akan dievaluasi, serta kriteria yang relevan untuk membandingkan alternatif tersebut. Kedua melakukan normalisasi matriks Keputusan. Matriks keputusan berisikan nilai kinerja setiap alternatif untuk setiap kriteria, dinormalisasi agar semua kriteria dapat dibandingkan secara setara. Ada berbagai metode normalisasi yang dapat digunakan, tergantung pada sifat kriteria (maksimisasi atau minimisasi). Ketiga, menghitung nilai Solusi Ideal Positif (A^*) dan Negatif (A^-). (A^*) merupakan solusi dengan nilai terbaik untuk setiap kriteria, nilai maksimum untuk kriteria yang harus dimaksimalkan dan nilai minimum untuk kriteria yang harus diminimalkan. (A^-) solusi dengan nilai terburuk bagi setiap kriteria (nilai minimum untuk kriteria yang harus dimaksimalkan dan nilai maksimum untuk kriteria yang harus diminimalkan).

Keempat menghitung Indeks Utilitas dan Indeks Regret. Indeks Utilitas Total (S_i) adalah ukuran total kesenjangan antara alternatif dengan solusi ideal positif untuk semua kriteria, dihitung sebagai jumlah tertimbang dari perbedaan antara alternatif dengan solusi ideal. Indeks Regret Maksimum (R_i) merupakan ukuran kesenjangan maksimum antara alternatif dengan solusi ideal positif untuk setiap kriteria secara individual. S_i dan R_i dirumuskan sebagai (1):

$$S_i = \sum_j \quad w_j \cdot \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \quad dan \quad R_i = max_j \left(w_j \cdot \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right) \qquad (1)$$

Dimana f_j^+ nilai terbaik dari kriteria ke-j, f_j^- nilai terburuk dari kriteria ke-j, f_{ij} nilai alternatif ke-i untuk kriteria ke-j dan w_j bobot kriteria ke-j.

Kelima menghitung nilai VIKOR (Q_i). Nilai kompromi VIKOR dihitung dengan menggabungkan indeks utilitas (S_i) dan indeks regret (R_i). Nilai Q_i dirumuskan dengan (2)

$$Q_i = v \cdot \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - v) \cdot \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \qquad (2)$$

dimana S^* dan S^- adalah nilai terbaik (minimum) dan terburuk (maksimum) dari S_i. R^* dan R^- adalah nilai terbaik (minimum) dan terburuk (maksimum) dari R_i. v adalah koefisien kompromi (antara 0 dan 1), menyatakan preferensi pengambil keputusan antara strategi utilitas (menggunakan S_i) dan strategi regret (menggunakan R_i). Nilai $v=0.5$ digunakan jika tidak ada preferensi khusus. Keenam melakukan proses Ranking dan Pemilihan Solusi. Setelah nilai Q_i, S_i, dan R_i dihitung, semua alternatif diberi peringkat berdasarkan nilai-nilai ini. Alternatif dengan nilai Q_i terkecil dianggap sebagai solusi kompromi terbaik.

Kondisi Keputusan Kompromi dalam VIKOR. VIKOR mempertimbangkan dua kondisi untuk memastikan bahwa solusi yang dipilih merupakan kompromi yang bisa diterima, yaitu pertama

 DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

kondisi Akseptasi yakni alternatif terbaik (Q_i terkecil) harus memiliki keunggulan signifikan dibanding alternatif kedua terbaik. Kedua, kondisi Stabilitas yakni alternatif terbaik harus stabil baik dalam hal utilitas keseluruhan maupun regret maksimum.

Analisis Hubungan Sebab-Akibat Persyaratan Teknis Desain dengan DEMATEL, untuk memodelkan dan menganalisis struktur hubungan sebab-akibat antara kriteria atau faktor-faktor yang saling berhubungan [12]. DEMATEL bertujuan untuk memetakan dan memvisualisasikan interaksi kompleks antara kriteria, sehingga memungkinkan pengambil keputusan memahami kriteria mana yang menjadi penyebab dan kriteria mana yang menjadi efek. DEMATEL mengkonversi hubungan antar kriteria yang bersifat kualitatif menjadi nilai kuantitatif untuk membantu analisis lebih lanjut.

Beberapa langkah dasar dalam menerapkan metode DEMATEL [13]. Pertama mengumpulkan data Matriks Perbandingan Berpasangan. Membangun matriks hubungan langsung melalui perbandingan berpasangan antar kriteria. Proses ini dilakukan melalui kuesioner, di mana pakar atau pengambil keputusan memberikan penilaian mengenai tingkat pengaruh satu kriteria terhadap yang lain menggunakan skala tertentu. Skala 0-4 digunakan, dengan nilai 0 menyatakan tidak ada pengaruh, nilai 1 pengaruh rendah, nilai 2 pengaruh sedang, nilai 3 pengaruh tinggi, dan nilai 4 pengaruh sangat tinggi. Kedua melakukan Normalisasi Matriks Hubungan Langsung. Berdasarkan matriks hubungan langsung *X*, berikutnya normalisasi, agar semua nilai berada pada skala antara 0 dan 1, menggunakan rumusan (3)

$$S = \frac{1}{max\left(\sum_j \quad x_{ij}, \sum_i \quad x_{ij}\right)} \tag{3}$$

Dimana $max\left(\sum_j \quad x_{ij}, \sum_i \quad x_{ij}\right)$ adalah nilai maksimum dari total pengaruh di setiap baris atau kolom. Matriks hubungan langsung X kemudian dikalikan dengan faktor skala S untuk mendapatkan matriks hubungan langsung yang ternormalisasi Z. Ketiga menghitung Matriks Total Relasi. Matriks total relasi T dihitung dengan menjumlahkan matriks hubungan langsung yang ternormalisasi Z dengan matriks pangkat tak terbatas dari Z, yaitu $Z^2 + Z^3 + \cdots$. Dalam praktiknya, matriks total relasi T dapat dirumuskan sebagai (4)

$$T = Z(I - Z)^{-1} \tag{4}$$

Di mana I adalah matriks identitas. Matriks total relasi T menggambarkan pengaruh total (langsung ataupun tidak langsung) dari satu kriteria terhadap yang lain. Keempat, menentukan Vektor Pengaruh Total (*D*+*R*) dan Efek Total (*D*-*R*). Dari matriks total relasi T, dapat dihitung vektor pengaruh total dan vektor efek total, Pengaruh Total (D) adalah jumlah total dari baris T, yaitu total pengaruh dari kriteria i ke kriteria lain, dinyatakan dengan (5)

$$D_i = \sum_j \quad T_{ij} \tag{5}$$

Diterima Total (*R*) adalah jumlah total dari kolom T, yaitu total pengaruh yang diterima oleh kriteria i dari kriteria-kriteria lainnya, dapat dinyatakan sebagai (6)

$$R_i = \sum_j \quad T_{ji} \tag{6}$$

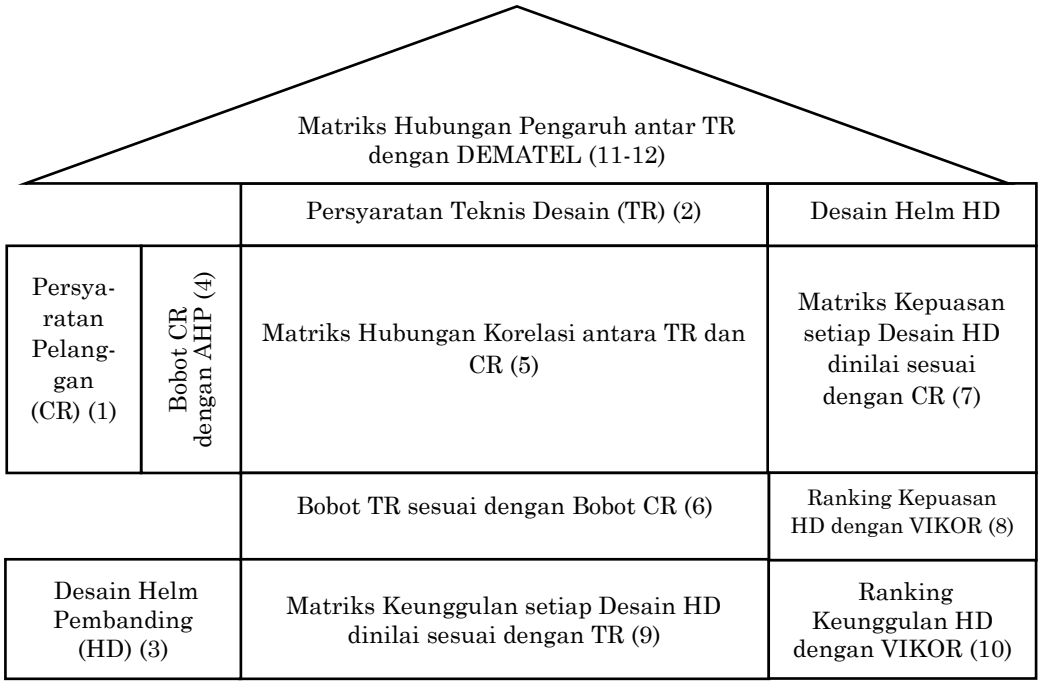
Akhirnya *D*+*R* menunjukkan derajat penting suatu kriteria, merupakan gabungan dari pengaruh yang diberikan oleh kriteria tersebut kepada kriteria lain dan pengaruh yang diterimanya dari kriteria-kriteria lainnya. Semakin besar nilai *D*+*R*, semakin penting peran kriteria tersebut dalam sistem. Dan, *D*-*R* menunjukkan apakah kriteria lebih bersifat penyebab (positif) atau efek (negatif). Jika *D*-*R* positif, kriteria tersebut cenderung menjadi penyebab. Jika negatif, maka cenderung menjadi efek. Kelima menganalisis hasil. Kriteria penyebab adalah kriteria yang memiliki nilai *D*-*R* positif (lebih banyak mempengaruhi kriteria lain). Kriteria efek adalah kriteria yang memiliki nilai *D*-*R* negatif (lebih banyak dipengaruhi oleh kriteria lain).

METODE

Dalam artikel ini proses desain atau redesain produk helm menggunakan pendekatan QFD dengan *House of Quality* (HoQ) yang diramu dengan teknik-teknik optimasi multi-kriteria multi-

 DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

atribut yakni AHP, VIKOR, dan DEMATEL (Gambar 1). Ada sebelas langkah desain dilakukan untuk membuat HoQ. Pertama menentukan persyaratan-persyaratan pelanggan (*customer requirements* atau CR) dengan WoM (*World of Mouth*). Kedua menentukan persyaratan-persyaratan teknis desain (*technical requirements* atau TR) dengan wawancara kepada para pakar atau yang berpengalaman dalam melakukan desain dikombinasi dengan kajian literatur yang relevan. Ketiga memilih desain produk yang sudah eksis di pasar sebagai acuan melakukan pembanding (*Helmet Design* atau HD). Keempat menghitung bobot-bobot persyaratan pelanggan (CR) dengan AHP dari data persepsi mereka terhadap desain produk helm yang diharapkan, diinginkan, atau dibutuhkan. Kelima menyusun matriks hubungan korelasi antara persyaratan teknis desain (TR) dan persyaratan pelanggan (CR) berdasarkan persepsi para pakar dan konsumen, yang dapat dilakukan dengan FGD (*Focus Group Discussion*). Keenam menghitung bobot-bobot persyaratan teknis desain (TR) berdasarkan persyaratan pelanggan (CR) berdasarkan hasil kali vektor bobot-bobot persyaratan pelanggan dengan vektor kolom dari matriks korelasi TR dan CR. Ketujuh menyusun matriks kepuasan pelanggan terhadap seluruh desain produk yang dibandingkan (HD) berpatokan pada skor kepuasan pelanggan sesuai persyaratan-persyaratan CR. Kedelapan menghitung ranking kepuasan produk desain helm yang dikaji dan desain-desain helm pembanding (HD) berdasarkan matriks kepuasan pelanggan menggunakan metode VIKOR. Kesembilan menyusun matriks keunggulan setiap desain produk yang dibandingkan (HD) berpatokan pada skor penilaian para konsumen dan para pakar terkait capaian teknis setiap desain produk. Kesepuluh menghitung ranking keunggulan produk desain helm yang dikaji dan desain-desain helm pembanding (HD) berdasarkan matriks keunggulan desain menggunakan metode VIKOR. Kesebelas menyusun matriks hubungan pengaruh antara setiap persyaratan pelanggan (TR). Keduabelas menghitung banyak dan besarnya hubungan pengaruh suatu persyaratan teknis desain menggunakan metode DEMATEL.



Gambar 1. HoQ Produk Helm

PEMBAHASAN

Dalam rangka memperjelas usulan desain produk dengan QFD yang diramu dengan metode optimasi multi-kriteria multi-atribut AHP, VIKOR, dan DEMATEL. Berikut diberikan sebuah contoh kasus yang diacu dari data hasil kajian Wahyuni et al. (2020). Wahyuni et al. [14] dan Zhao & Chen [15] mengkaji desain produk helm, dengan data persyaratan-persyaratan pelanggan (CR) seperti yang disajikan pada Tabel 1, dan persyaratan-persyaratan teknis desain pada Tabel 2.

DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

Tabel 1. Persyaratan pelanggan (CR)

Dimensi	Kode	Sub-dimensi	Kode
Kesesuaian Spesifikasi	CR_A	Bentuk helm half face	CR_1
		Bentuk helm full face	CR_2
		Bentuk helm flip up	CR_3
Daya Tahan	CR_B	Ringan bahan tempurung helm	CR_4
		Kuat bahan tempurung helm	CR_5
		Kuat kuncian pengunci helm	CR_6
		Tidak mudah tergores bahan visor helm	CR_7
		Tidak mudah pecah bahan visor helm	CR_8
		Tidak mudah buram bahan visor helm	CR_9
Kesan Kualitas	CR_C	Mudah dibersihkan busa helm	CR_{10}
		Empuk busa helm	CR_{11}
		Tidak mudah berjamur busa helm	CR_{12}
		lembut di wajah kain helm	CR_{13}
		Kain helm mampu menyerap keringat	CR_{14}
		Kain helm tidak mudah berbau	CR_{15}
		Pengunci helm mudah dipasang	CR_{16}
Estetika	CR_D	Helm dengan warna solid	CR_{17}
		Helm dengan tampilan bermotif	CR_{18}
Fitur tambahan	CR_E	Helm terdapat fitur tambahan anti huian	CR_{19}

Tabel 2. Persyaratan Teknis Desain (TR)

Dimensi	Sub-dimensi	Kode
Tempurung	Jenis material	TR_1
	Bentuk	TR_2
	Berat	TR_3
	Warna	TR_4
Visor	Material visor	TR_5
	Warna	TR_6
Busa	Material busa	TR_7
Kain	Material kain	TR_8
Pengunci	Jenis material pengunci	TR_9
Fitur tambahan	Anti hujan	TR_{10}

Berdasarkan hasil survey ke pelanggan didapatkan data hasil perbandingan antar dimensi dan sub-dimensi harapan, keinginan, dan kebutuhan pelanggan terkait desain produk helm (data selengkapnya disajikan pada Tabel 3).

Dengan menggunakan data dari Table 3, dilakukan perhitungan bobot-bobot setiap Dimensi CR dan Sub-dimensi CR dengan metode AHP, yang pada akhirnya Bobot Akhir CR yang dihitung dari bobot Sub-dimensi CR dengan memperhatikan bobot Dimensi CR, selengkapnya disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan pada hasil perhitungan pada Tabel 4 nampak bahwa fitur tambahan anti hujan pada helm (CR_{19}, bobot 10,2%) merupakan persyaratan yang paling dipentingkan oleh pelanggan, selanjutnya kekuatan bahan tempurung helm (CR_5, bobot 8,8%) dan kekuatan kuncian atau pengunci helm (CR_6, bobot 8,8%). Lebih lanjut, bahan visor helm yang tidak mudah pecah juga dianggap penting (CR_8, bobot 7,1%), demikian juga helm yang didesain berbentuk *half face* menurut pelanggan penting untuk diperhatikan (CR_1, bobot 6,7%). Sementara itu persyaratan-persyaratan lain, tingkat kepentingannya dianggap lebih rendah oleh para pelanggan. Sementara itu desain helm dengan tampilan bermotif (CR_{18}, bobot 0,8%), desain helm berbentuk flip up (CR_3, bobot 1,5%), bahan tempurung helm ringan (CR_4, bobot 1,6%) dianggap kurang penting.

Pada Tabel 5 disajikan data matriks yang berisikan korelasi atau hubungan kekuatan antara setiap persyaratan teknis desain dengan persyaratan pelanggan. Pada bagian bawah tabel ditunjukan hasil perhitungan bobot persyaratan teknis desain helm dengan memperhatikan

DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

seluruh persyaratan pelanggan. Jenis material visor dianggap para pakar dan konsumen sebagai persyaratan teknis paling penting (TR5, bobot 17,8%), selanjutnya tingkat kepentingan teknis desain berikutnya, yaitu jenis material kain (TR8, bobot 15%), jenis material pengunci (TR9, bobot 14,6%), fitur tambahan anti hujan (TR10, bobot 12,9%), bentuk helm tempurung (TR2, bobot 12,4%), dan jenis material tempurung (TR1, bobot 10,5%).

Tabel 3. Perbandingan berpasangan antar dimensi dan antar sub-dimensi persyaratan pelanggan

		CR_A			CR_B						CR_C							CR_D		CR_E
		CR_1	CR_2	CR_3	CR_4	CR_5	CR_6	CR_7	CR_8	CR_9	CR_{10}	CR_{11}	CR_{12}	CR_{13}	CR_{14}	CR_{15}	CR_{16}	CR_{17}	CR_{18}	CR_{19}
CR_A	CR_1	1	2	4																
	CR_2	1/2	1	3				1/4						¼					3	2
	CR_3	1/4	1/3	1																
CR_B	CR_4				1	1/5	1/5	1/3	1/5	1/4										
	CR_5				5	1	1	2	1	2										
	CR_6				5	1	1	2	1	2										
	CR_7		4		3	1/2	1/2	1	1	1				1				7		4
	CR_8				5	1	1	1	1	1										
	CR_9				4	1/2	1/2	1	1	1										
CR_C	CR_{10}										1	1	1	1	2	1	1			
	CR_{11}										1	1	1	1	2	1	1			
	CR_{12}										1	1	1	1	2	1	1			
	CR_{13}		4					1			1	1	1	1	2	1	1	7		4
	CR_{14}										1/2	1/2	1/2	1/2	1	½	1/2			
	CR_{15}										1	1	1	1	2	1	1			
	CR_{16}										1	1	1	1	2	1	1			
CR_D	CR_{17}		1/3					1/7						1/7				1	4	1/4
	CR_{18}																	1/4	1	
CR_E	CR_{19}		1/2					1/4						¼				4		1

Tabel 4. Bobot-bobot atau tingkat kepentingan persyaratan pelanggan untuk desain helm

Dimensi CR	Bobot	Sub-dimensi CR	Bobot Sub-dimensi CR	Bobot akhir CR
CR_A	12,1%	CR_1	55,7%	6,7%
		CR_2	32,0%	3,9%
		CR_3	12,3%	1,5%
CR_B	36,8%	CR_4	4,3%	1,6%
		CR_5	23,9%	8,8%
		CR_6	23,9%	8,8%
		CR_7	13,9%	5,1%
		CR_8	19,3%	7,1%
		CR_9	14,6%	5,4%
CR_C	36,8%	CR_{10}	15,4%	5,7%
		CR_{11}	15,4%	5,7%
		CR_{12}	15,4%	5,7%
		CR_{13}	15,4%	5,7%
		CR_{14}	7,7%	2,8%
		CR_{15}	15,4%	5,7%
		CR_{16}	15,4%	5,7%
CR_D	4,1%	CR_{17}	80,0%	3,3%
		CR_{18}	20,0%	0,8%
CR_E	10,2%	CR_{19}	100,0%	10,2%

Tabel 6 dan Tabel 7 menampilkan hasil evaluasi terhadap tingkat kepuasan pelanggan dan para pakar mengenai empat desain helm, HD_0 adalah desain helm yang menjadi pusat kajian, sementara itu HD_1, HD_2, dan HD_3 adalam desain helm merek lain yang dijadikan benchmark. Dari hasil perhitungan dengan metode VIKOR (Tabel 7) untuk empat pilihan desain helm dengan 19 persyaratan pelanggan, didapatkan bahwa desain helm HD_2 merupakan desain yang paling disukai atau paling memuaskan, berikutnya desain helm HD_3, HD_1, dan terakhir desain helm yang sedang dikaji HD_0. Dengan demikian, helm HD_0 harus belajar banyak dari desain helm lain untuk meningkatkan ketertarikan para pelanggan.

 DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

Tabel 5. Matriks korelasi persyaratan teknis desain terhadap persyaratan pelanggan serta bobot persyaratan teknis desain (TR) dengan memperhatikan persyaratan pelanggan

		Persyaratan Teknis Desain									
Persyaratan Pelanggan	**Bobot CR (%)**	***TR₁***	***TR₂***	***TR₃***	***TR₄***	***TR₅***	***TR₆***	***TR₇***	***TR₈***	***TR₉***	***TR₁₀***
CR_1	6,7		9	1							
CR_2	3,9		9	1							
CR_3	1,5		9	1							
CR_4	1,6	9	1	9							
CR_5	8,8	9									
CR_6	8,8									9	
CR_7	5,1					9					
CR_8	7,1					9					
CR_9	5,4					9					
CR_{10}	5,7							3			
CR_{11}	5,7							9			
CR_{12}	5,7							3	1		1
CR_{13}	5,7								9		
CR_{14}	2,8								9		
CR_{15}	5,7								9		3
CR_{16}	5,7									9	
CR_{17}	3,3				9						
CR_{18}	0,8				9						
CR_{19}	10,2										9
Bobot TR (%)		10,5	12,4	3,0	4,2	17,8	0,0	9,6	15,0	14,6	12,9

Keterangan: skor nilai 9 artinya korelasi sangat kuat, skor 3 korelasi dengan kekuatan sedang, skor 1 ada korelasi tapi lemah, kosong atau skor 0 berarti tidak ada korelasi.

Tabel 6. Skor nilai kepuasan pelanggan untuk desain helm yang dikaji (HD_0) dari benchmarking dengan tiga desain helm ($HD_{1,2,3}$)

	Desain Helm					**Desain Helm**			
Persyaratan Pelanggan	***HD₀***	***HD₁***	***HD₂***	***HD₃***	**Persyaratan Pelanggan**	***HD₀***	***HD₁***	***HD₂***	***HD₃***
CR1	5	5	5	4	CR11	4	4	3	3
CR2	1	1	2	2	CR12	4	3	4	3
CR3	1	1	3	2	CR13	4	4	3	3
CR4	3	3	4	5	CR14	4	4	3	4
CR5	4	4	3	3	CR15	4	3	5	3
CR6	4	4	3	5	CR16	4	4	4	3
CR7	3	3	4	3	CR17	5	5	3	4
CR8	3	3	2	2	CR18	1	1	2	1
CR9	3	3	2	3	CR19	5	1	4	3
CR10	3	3	5	2					

Tabel 7. Ranking kepuasan pelanggan terhadap keempat desain helm dengan VIKOR

Desain Helm	**Indeks Utilitas (S_i)**	**Indeks Regret (R_i)**	**Nilai Kompromi (Q_i)**	**Ranking Kepuasan Desain Helm**
HD_0	0,60	1,00	1,00	4
HD_1	0,53	1,00	0,47	3
HD_2	0,46	1,00	0,00	1
HD_3	0,51	1,00	0,38	2

Tabel 8 dan 9 menyajikan hasil evaluasi terhadap tingkat keunggulan desain dari keempat desain helm, oleh para pakar, yaitu HD_0 adalah desain helm yang menjadi pusat kajian, sementara itu

DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

HD₁, *HD₂*, dan *HD₃* adalam desain helm merek lain yang dijadikan benchmark. Dari hasil perhitungan dengan metode VIKOR (Tabel 9) untuk empat pilihan desain helm dengan 10 persyaratan teknis desain, didapatkan bahwa desain helm *HD₂* merupakan desain yang paling unggul secara teknis, berikutnya desain helm *HD₀, HD₁,* dan terakhir desain helm yang sedang dikaji *HD₃*. Desain helm *HD₀* secara teknis lebih unggul dari desain helm *HD₁* dan *HD₃*, walau secara pasar masih kalah bersaing (Tabel 7), walaupun demikian keunggulan ini perlu dipertahankan, karena pasar bersifat dinamis.

Tabel 8. Skor nilai capaian persyaratan teknis desain *HD₀* dan dari benchmarking tiga desain helm (*HD₁,₂,₃*)

Desain Helm	Persyaratan Teknis Desain									
	TR₁	***TR₂***	***TR₃***	***TR₄***	***TR₅***	***TR₆***	***TR₇***	***TR₈***	***TR₉***	***TR₁₀***
HD₀	3	4	3	4	3	3	4	4	4	5
HD₁	3	4	3	4	3	3	4	4	4	1
HD₂	5	4	5	5	4	4	5	4	5	5
HD₃	4	3	3	3	3	2	4	3	4	3

Tabel 9. Ranking keunggulan teknis terhadap keempat desain helm dengan VIKOR

Desain Helm	Indeks Utilitas (*Sᵢ*)	Indeks Regret (*Rᵢ*)	Nilai Kompromi (*Qᵢ*)	Ranking Keunggulan Desain Helm
HD₀	0,60	0,10	0,83	2
HD₁	0,70	0,10	0,89	3
HD₂	0,00	0,00	0,00	1
HD₃	0,90	0,10	1,00	4

Tabel 10. Matriks hubungan pengaruh antar persyaratan teknis desain

	TR₁	*TR₂*	*TR₃*	*TR₄*	*TR₅*	*TR₆*	*TR₇*	*TR₈*	*TR₉*	*TR₁₀*
TR₁			9						1	
TR₂			3							1
TR₃									1	
TR₄						3				
TR₅		3	1							3
TR₆				3						3
TR₇			1							
TR₈			1							
TR₉	1	3	1							
TR₁₀		3	1		1				1	

Keterangan: skor nilai 9 artinya hubungan pengaruh searah atau positif sangat kuat, skor 3 pengaruh positif dengan kekuatan sedang, skor 1 ada hubungan pengaruh lemah, kosong atau skor 0 berarti tidak ada hubungan pengaruh, sementara itu skor nilai negatif menggambarkan sebaliknya, yaitu hubungan pengaruh berbeda arah atau negatif.

Tabel 10 menampilkan matriks hasil wawancara dengan para pakar mengenai hubungan pengaruh antara satu persayaratan teknis desain dengan persyaratan-persyaratan teknis yang lainnya. Selanjutnya pada Tabel 11 menyajikan peran memengaruhi setiap persyaratan teknis. Semakin besar nilai D+R berarti peran suatu persyaratan teknis semakin besar dalam teknis desain. Persyaratan teknis berat tempurung helm merupakan persyaratan yang paling penting (*TR₃, D+R=2,88*), hal ini terkait dengan factor keselamatan, makin berat tempurung helm makin nyaman bagi pemakai. Selanjutnya yang juga dianggap persyaratan teknis desain yang berperan penting bagi persyaratan lainnya adalah adanya fitur anti hujan (*TR₁₀, D+R=2,10*), dan persyaratan teknis bentuk tempurung (*TR₂, D+R=2,06*). Sementara itu persyaratan teknis lainnya yang nilai *D+R* nya lebih rendah dianggap memiliki peran atau pengaruh yang lebih kecil. Selanjutnya, nilai *D-R* bila positif menunjukan suatu persyaratan teknis sebagai penyebab yang memengaruhi persyaratan lainnya, sedangkan jika negatif menunjukan suatu persyaratan terdampak oleh

DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

persyaratan lainnya. Persyaratan teknis desain yaitu berat tempurung (*D-R=2,51*), bentuk tempurung (*D-R=0,56*), dan jenis material pengunci (*D-R=0,10*) merupakan persyaratan teknis pangkal atau sumber dari persyaratan-persyaratan teknis lainnya. Sedangkan persyaratan teknis seperti jensi material visor (*D-R=-1,27*) dan jenis material tempurung (*D-R=-0,70*) merupakan persyaratan teknis yang menjadi akibat atau keharusan dengan adanya persyaratan teknis lainnya.

Tabel 11. Tingkat kepentingan peran memengaruhi atau dipengaruhi setiap persyaratan teknis desain

	Prominence (D+R)	***Relation (D-R)***		***Prominence (D+R)***	***Relation (D-R)***
TR_1	1,81	-0,70	TR_6	1,54	-0,68
TR_2	2,06	0,56	TR_7	0,12	-0,12
TR_3	2,88	2,51	TR_8	0,12	-0,12
TR_4	1,06	-0,21	TR_9	1,83	0,10
TR_5	1,68	-1,27	TR_{10}	2,10	-0,06

KESIMPULAN

Desain produk baru atau redesain suatu produk perlu alat analisis yang lebih akurat. QFD sebagai alat analisis desain sudah digunakan dan dikembangkan secara meluas, namun perlu terus disempurnakan. Artikel ini menawarkan sebuah sebuah pendekatan optimasi multi kriteria dan multi atribut untuk mengoptimalkan nilai atau bobot persyaratan pelanggan, ranking kepuasan pelanggan terhadap desain yang diusulkan dikomparasi dengan desain-desain lain yang sudah eksis di pasar, ranking keunggulan teknis desain yang diusulkan dikomparasi dengan desain-desain lain dinilai berdasarkan persyaratan-persyaratan penting pelanggan, dan peran pengaruh mempengaruhi setiap persyaratan teknis sebagai dasar prioritas perbaikan teknis dalam penyempurnaan desain produk yang dikaji agar berhasil efektif di pasar.

Usulan desain QFD+ optimasi multi-kriteria ini masih memiliki banyak kelemahan terutama pada data input. Umumnya data hasil wawancara atau FGD sangat subjektif, ke depan perlu dikembangkan model desain QFD+ yang mengakomodir subjektivitas, misalkan dengan pendekatan model logika fuzzy.

DEKLARASI

Tim penulis mengucapkan terimakasih kepada Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Petra, yang telah membantu dengan sarana dan prasarana dalam pelaksanaan penelitian ini. Setiap tahap dalam proses penelitian dan penulisan artikel ini, mulai dari pengumpulan data, kajian literatur, hingga analisis dan penulisan, dilakukan secara mandiri. Penulis mengutamakan integritas akademik dan keaslian, setiap data dan/atau informasi yang tersaji dalam artikel ini merupakan hasil penelitian yang teliti dan komprehensif. Tim penulis menyatakan bahwa penelitian ini tidak menerima hibah atau bantuan dana dari pihak manapun. Seluruh biaya yang dikeluarkan, ditanggung secara mandiri oleh tim penulis.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Shin, W. S. (1993). Quality Function Deployment: A Practitioner's Approach. Journal of Quality Technology, 25(2), 155–155. doi:10.1080/00224065.1993.1197944.

[2] Sivasamy, K., Arumugam, C., Devadasan, S. R., Murugesh, R., & Thilak, V. M. M. (2015). Advanced models of quality function deployment: a literature review. Quality & Quantity, 50(3), 1399–1414. doi:10.1007/s11135-015-0212-2.

[3] Ceballos, B., Lamata, M. T., & Pelta, D. A. (2016). A comparative analysis of multi-criteria decision-making methods. Progress in Artificial Intelligence, 5(4), 315–322. doi:10.1007/s13748-016-0093-1.

DOI: https://doi.org/10.9744/jtm.22.1.19-29

[4] Figueira, J., Greco, S., & Ehrogott, M. (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. International Series in Operations Research & Management Science. doi: 10.1007/b100605.
[5] Thakkar, J. J. (2021). Multi-criteria decision making (Vol. 336, pp. 1-365). Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-33-4745-8.
[6] Mardani, A., Zavadskas, E., Govindan, K., Amat Senin, A., & Jusoh, A. (2016). VIKOR Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. Sustainability, 8(1), 37. doi:10.3390/su8010037.
[7] Kuzu, A. C. (2023). Application of fuzzy DEMATEL approach in maritime transportation: A risk analysis of anchor loss. Ocean Engineering, 273, 113786. doi: 10.1016/j.oceaneng.2023. 113786.
[8] Bernasconi, M., Choirat, C., & Seri, R. (2010). The Analytic Hierarchy Process and the Theory of Measurement. Management Science, 56(4), 699–711. doi:10.1287/mnsc.1090.1123.
[9] Mu, E., Pereyra-Rojas, M., Mu, E., & Pereyra-Rojas, M. (2017). Understanding the analytic hierarchy process. Practical decision making: an introduction to the analytic hierarchy process (AHP) using super decisions V2, 7-22. doi: 10.1007/978-3-319-33861-3
[10] Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). VIKOR method—an effective compromising ranking technique for decision making. Macro Management & Public Policies, 5(2). doi: 10.30564/mmpp.v5i2.5578.
[11] Gupta, H. (2018). Evaluating service quality of airline industry using hybrid best worst method and VIKOR. Journal of Air Transport Management, 68, 35–47. doi:10.1016/ j.jairtraman.2017.06.001.
[12] Si, S.-L., You, X.-Y., Liu, H.-C., & Zhang, P. (2018). DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications. Mathematical Problems in Engineering, 2018, 1–33. doi:10.1155/2018/3696457.
[13] Du, Y.-W., & Li, X.-X. (2020). Hierarchical DEMATEL method for complex systems. Expert Systems with Applications, 113871. doi:10.1016/j.eswa.2020.113871.
[14] Wahyuni, R. S., Nursubiyantoro, E., & Awaliah, G. (2020). Perancangan dan pengembangan produk helm menggunakan metode Quality Function Deployment (QFD). OPSI, 13(1), 6-16. doi: 10.31315/opsi.v13i1.3466.
[15] Zhao, D., & Chen, W. (2021). Design and Research of Smart Neck Helmets Based on the KANO-QFD Model and TRIZ Theory. Security and Communication Networks, 2021(1), 4693719. doi: 10.1155/2021/4693719.