

Perancangan Produk Kaki Prostetik Bawah Lutut Berdasarkan Berbagai Kriteria Pengguna Usia 15 – 64 Tahun

Taufik Ramadhan Fitrianto,^{1*} Rini Dharmastiti²

¹ Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu, Kendal, Indonesia

² Program Studi Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Diterima : 8 Maret 2023

Direvisi : 13 Maret 2023

Diterbitkan : 3 April 2023

Abstract

Lower limb amputation is one of the causes of disability. People with disabilities need assistive devices to be able to carry out normal activities. One of the health equipment that can help the mobility of people with disabilities with leg amputations is a lower limb prostheses. Product design evaluation is carried out using the Prosthetic Evaluation Questionnaire. The evaluation results are used as the basis for product design to answer user needs. After the product evaluation value is known, then a product redesign is carried out based on user expectations by considering expert input as a reference. The design process uses the pairwise comparison method to determine the expected weight of the user's needs. The weighting results are used to evaluate the product concept proposed using the Quality Function Deployment (QFD) method. Product redesign produces product specifications that can accommodate user needs. The resulting product uses an endoskeleton shape, silicon socket, rigid soles and is made of wood and sponge materials. The resulting product has several advantages over the reference prosthetic foot product, including a stronger prosthetic leg structure, easier maintenance, and better resistance.

Key words: Lower Limb Prostheses, Evaluation, Product Design, Pairwise Comparison, Quality Function Deployment

Abstrak

Amputasi kaki bawah lutut merupakan salah satu penyebab disabilitas. Penyandang disabilitas atau difabel memerlukan alat bantu untuk dapat beraktivitas secara normal. Salah satu peralatan kesehatan yang dapat membantu mobilitas penyandang disabilitas amputasi kaki adalah kaki prostetik. Evaluasi rancangan produk dilakukan menggunakan *Prosthetic Evaluation Questionnaire*. Hasil evaluasi dijadikan landasan perancangan produk untuk menjawab kebutuhan pengguna. Setelah diketahui nilai evaluasi produk, selanjutnya dilakukan perancangan ulang produk berdasar ekspektasi pengguna dengan mempertimbangkan masukan *expert* sebagai acuan. Proses perancangan menggunakan metode *pairwise comparison* untuk mengetahui bobot kebutuhan yang diharapkan pengguna. Hasil pembobotan digunakan untuk mengevaluasi konsep produk yang diusulkan menggunakan metode *Quality Function Deployment (QFD)*. Perancangan ulang produk menghasilkan spesifikasi produk yang dapat mengakomodir kebutuhan pengguna. Produk yang dihasilkan menggunakan bentuk endoskeleton, *socket silicon*, telapak kaki *rigid* dan terbuat dari material kayu dan spons. Produk yang dihasilkan memiliki beberapa keunggulan dibanding produk kaki prostetik referensi, diantaranya struktur kaki prostetik yang lebih kuat, perawatan lebih mudah, serta ketahanan yang lebih baik.

Kata kunci: Kaki Prostetik, Evaluasi, Perancangan Produk, *Pairwise Comparison*, *Quality Function Deployment*

1. Pendahuluan

Amputasi merupakan tindakan medis yang dapat disebabkan karena kecelakaan maupun penyakit kronis seperti diabetes, varises, stroke, dan lain sebagainya, sebagai langkah terakhir untuk mencegah penyebaran

* Corresponding author : taufik.fitrianto@poltek-furnitur.ac.id

penyakit pada tubuh korban. Salah satu jenis alat bantu untuk difabel fisik adalah kaki prostetik. Penggunaan kaki prostetik dikhususkan bagi difabel tuna daksa yang tidak memiliki kaki secara utuh akibat amputasi pada bagian kaki, dimana produk tersebut berfungsi sebagai pengganti fungsi kaki, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidup, serta memperbaiki kondisi ekonomi. Kaki prostetik memiliki fleksibilitas paling tinggi dibanding alat bantu difabel lainnya seperti kursi roda, tongkat jalan, maupun kruk bagi difabel *transtibial amputee*. Pada usia produktif (antara 15-64 tahun), penggunaan alat bantu kaki prostetik diharapkan dapat meningkatkan mentalitas selain sebagai alat bantu berjalan. Hal ini menjadi penting untuk menumbuhkan optimisme pada difabel pada usia produktif, sehingga selanjutnya dapat beraktivitas dengan lebih baik. Sebagian besar produk kaki prostetik yang digunakan di Indonesia masih harus diimpor dari luar negeri. Hal ini disebabkan produk lokal kalah bersaing dengan produk impor yang memiliki kualitas bagus, teknologi yang canggih, dan nilai usability yang tinggi dibanding dengan produk lokal (Fauziah & Sriwarno, 2015).

Bagi kaum difabel tuna daksa, yang masih memiliki mental dan pikiran yang sehat, tentu ingin menjadi anggota masyarakat yang mandiri, yang dapat melakukan aktivitas sehari-hari tanpa bergantung pada orang lain. Namun bagi mereka, untuk melakukan aktivitas sehari-hari adalah sebuah tantangan tersendiri. Sudah menjadi tugas negara untuk melindungi segenap warga negaranya. Diatur dalam UU no.4 th. 1997, mengenai kaum difabel. Selain itu, diatur pula dalam PP no.43 th.1998 tentang upaya peningkatan kesejahteraan sosial penyandang cacat. Upaya untuk meningkatkan kesejahteraan tersebut dapat dilakukan dengan memberikan kemudahan akses kepada kaum difabel agar dapat beraktivitas layaknya orang normal. Kemudahan akses dapat diberikan, salah satunya, dalam bentuk alat kesehatan. Meski begitu, hasil evaluasi produk kaki prostetik menunjukkan bahwa responden merasa tidak puas pada kaki prostetik yang dimiliki dan berharap adanya perbaikan (Fitrianto & Dharmastiti, 2019). Berangkat dari hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merumuskan desain kaki prostetik bawah lutut yang dapat memenuhi ekspektasi pengguna.

2. Bahan dan Metode

Objek penelitian adalah difabel tuna daksa yang mengalami amputasi kaki bawah lutut (*transtibial amputee*) dan sedang atau sudah pernah menggunakan produk kaki prostetik jenis eksoskeleton, serta tinggal di Daerah Istimewa Yogyakarta. Metode perancangan yang digunakan adalah metode perancangan morfologi (Jamari & Isnawan, 2015) menggunakan *Analytical Hierarchical Process* (AHP) dan *Quality Function Deployment* (QFD). Kedua metode tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna serta menentukan skala prioritas. Keunggulan metode ini adalah dapat menemukan berbagai alternatif konsep produk, sistematis, dan menggunakan prosedur yang mudah diikuti. Berikut adalah langkah-langkah yang digunakan pada penelitian ini:

2.1. Identifikasi kebutuhan.

Penentuan kebutuhan berdasar pada hasil wawancara kepada responden yang berisi masalah-masalah yang dialami responden selama menggunakan produk kaki prostetik. Proses pemfaktoran dilakukan untuk mengelompokkan jenis-jenis kebutuhan sesuai dengan karakteristiknya. Langkah ini juga akan mempermudah proses pembobotan menggunakan AHP.

2.2. Pembobotan kebutuhan

Kelompok kebutuhan yang didapatkan pada langkah sebelumnya, digunakan untuk penghitungan pada proses HoQ. Pemberian bobot menggunakan metode *pairwise comparison* yang merupakan bagian dari proses AHP. Setelah proses pembobotan, dilakukan proses pembuatan HoQ.

Pembobotan faktor kebutuhan dilakukan menggunakan kuesioner dengan bantuan *expert judgement* (Nugroho, 2015). Hasil pembobotan digunakan sebagai bahan pertimbangan pada analisis-*analisis* selanjutnya.

2.3. Pembuatan konsep produk

Selanjutnya, konsep produk dikembangkan dengan melihat produk-produk kompetitor. Perbandingan dengan produk kompetitor dilakukan untuk melihat keunggulan dan kelemahan konsep produk yang akan dibuat. Setelah *benchmark* dibuat, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi alternatif solusi yang tersedia untuk diaplikasikan ke dalam konsep produk. Konsep produk terdiri atas kombinasi beberapa alternatif solusi yang dinilai dapat memenuhi kebutuhan dan ekspektasi akan produk yang dirancang.

Rancangan awal produk perlu ditentukan sebelum melakukan analisis lebih lanjut. Tujuannya adalah untuk melihat solusi-solusi alternatif yang dapat dituangkan ke dalam produk. Konsep-konsep produk tersebut nantinya akan diseleksi untuk menentukan konsep produk terbaik yang akan dijadikan dasar untuk membuat rancangan produk final.

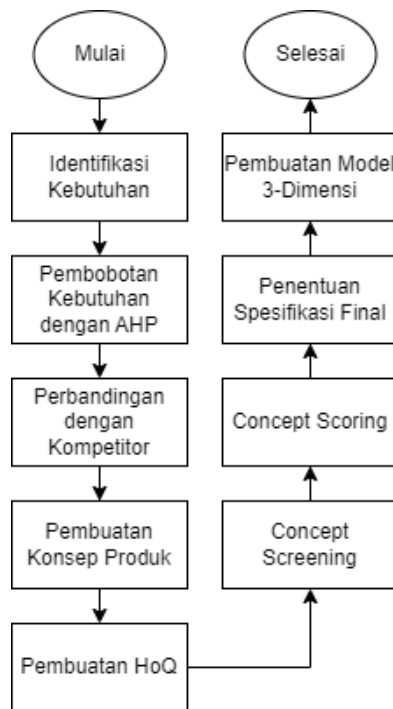
2.4. Pembuatan HoQ

House of Quality (HoQ) merupakan *tools* dalam metode QFD yang digunakan untuk mencari solusi yang dapat ditawarkan untuk mengakomodasi kebutuhan konsumen. Pembuatan HoQ menggunakan data masukan hasil pembobotan faktor untuk melihat hubungan antar kebutuhan dengan respon teknis yang diberikan. Luaran yang diharapkan adalah spesifikasi produk yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Spesifikasi final dibuat berdasarkan penilaian terhadap konsep-konsep produk yang sudah dimunculkan sebelumnya. Penilaian dilakukan dalam dua tahap, *concept scoring* dan *concept screening* dengan melibatkan *expert* dalam memberikan penilaian. Produk final dapat berupa salah satu konsep produk atau kombinasi beberapa konsep produk.

2.5. Pembuatan Model 3-Dimensi

Setelah didapatkan spesifikasi produk yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah membuat model 3-dimensi menggunakan *software parametric design* seperti autodesk inventor atau solidwork. Model 3-dimensi sangat membantu desainer dan produsen dalam melihat produk yang akan dibuat. Model 3-dimensi juga dapat digunakan pada simulasi beban.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perbaikan terhadap rancangan produk kaki prostetik yang sudah ada menggunakan beberapa pertimbangan, termasuk ekspektasi pengguna, *expert judgment*, literasi terkait, dan usulan desainer yang akan dibandingkan dengan produk-produk kompetitor yang beredar di pasaran.

3.1. Identifikasi kebutuhan

Skor evaluasi yang di bawah batas mengindikasikan adanya masalah pada produk kaki prostetik. Pada penelitian ini, penulis menggali masalah-masalah yang sering muncul terkait penggunaan produk kaki prostetik

menggunakan metode wawancara dengan responden. Daftar masalah yang sering dialami serta frekuensi muncul masalah disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Temuan masalah dan frekuensi muncul

No	Problem	Frekuensi Muncul	Needs
1	cover pecah	2	Rangka kuat Ketersediaan <i>sparepart</i>
2	licin	1	Mudah digunakan
3	pemasangan repot	3	Mudah lepas pasang
4	produk terlalu berat	9	Bobot ringan
5	<i>stump</i> bau	8	<i>Grip</i> kuat dan nyaman
6	<i>stump</i> berkeringat	8	<i>Grip</i> kuat dan nyaman
7	<i>stump</i> lecet	10	<i>Grip</i> kuat dan nyaman
8	susah di jalan miring	3	Bisa di jalan miring
9	susah pakai alas kaki	1	Mudah memakai alas kaki
10	telapak kaki lepas	2	Tahan lama Ketersediaan <i>sparepart</i>
11	telapak rusak	5	Tahan lama Ketersediaan <i>sparepart</i>
12	telapak beda warna	5	Bentuk menyerupai kaki Warna menyerupai kaki

Hasil temuan masalah tersebut nantinya akan dijadikan dasar dalam menentukan kebutuhan dan respon teknis yang digunakan pada analisis di subbab selanjutnya. Selain menggunakan masalah yang dihadapi oleh responden, penentuan kebutuhan juga akan mempertimbangkan usulan desainer dan expert sehingga luaran yang dihasilkan akan lebih komprehensif.

3.2. Pembobotan Kebutuhan

Masalah-masalah yang dikemukakan oleh pengguna merupakan daftar kebutuhan yang diharapkan ada pada kaki prostetik. Dengan mengetahui masalah yang dialami oleh pengguna. Pemfaktoran kebutuhan dilakukan untuk mempermudah langkah selanjutnya, yaitu *Analytical Hierarchy Process* (AHP), guna menentukan prioritas kebutuhan mana yang akan diimplementasikan pada produk kaki prostetik. AHP dilakukan dengan menggunakan kuesioner yang diberikan kepada expert pada bidang alat prostetik. Expert diminta untuk memberikan bobot pada faktor-faktor yang diusulkan dengan metode *pairwise comparison*. Daftar kebutuhan disajikan pada Tabel 2.

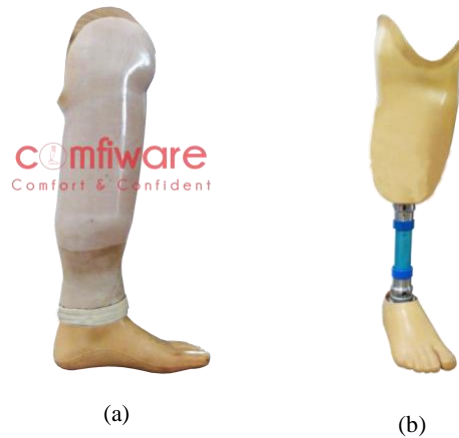
Tabel 2. Daftar kebutuhan dan bobotnya

No	Faktor Kebutuhan	Bobot Faktor	No	Detil Kebutuhan
1	Fungsional	64%	1	Bobot ringan
			2	Kuat
			3	<i>Grip</i> kuat dan nyaman
			4	Mudah digunakan
2	Fleksibel	6%	5	Bisa di jalan miring
			6	Mudah lepas pasang
			7	Mudah memakai alas kaki
3	Durabel	8%	8	Tahan lama
			9	Perawatan mudah
			10	Ketersediaan <i>sparepart</i>
4	Estetik	21%	11	Bentuk menyerupai kaki
			12	Warna menyerupai kaki

3.3. Perbandingan dengan Kompetitor

Langkah selanjutnya adalah membuat benchmark dengan cara membandingkan produk yang dievaluasi dengan produk-produk kompetitor yang beredar di pasaran. Pada penelitian ini, ditemukan dua produk kompetitor produksi *Comfiware* yang merupakan produk impor.

Comfiware menyediakan berbagai jenis produk alat prostetik. Produk yang akan dijadikan referensi pada proses *benchmark* adalah kaki prostetik bawah lutut tipe eksoskeleton dan tipe endoskeleton, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Produk kaki prostetik Comfiware (a) tipe eksoskeleton (b) tipe endoskeleton ("PT. Kuspito Ortotik Prostetik," 2019)

Setelah mengetahui produk yang menjadi kompetitor, selanjutnya dilakukan perbandingan spesifikasi untuk mengetahui rentang spesifikasi yang harus dipenuhi untuk produk yang dikembangkan. Perbandingan spesifikasi produk disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan spesifikasi dengan kompetitor

No	Kriteria	Kebutuhan no.	Unit	Referensi	Kompetitor 1	Kompetitor 2
1	Max load	2,7,8	kg	100	100	150
2	Bentuk telapak	4,7,8,9,10	list	rigid	rigid	single-axis
3	Pelapis socket	1,3,5	list	nylon	nylon	silicon
4	Tipe kaki	1,2,5,6,7,8,9,10,11	list	eksoskeleton	eksoskeleton	endoskeleton
5	Material telapak	1,2,6,7,8,10,11	list	kayu	kayu	steel plate
6	Material adapter	4,7,8,9	list	-	-	stainless steel
7	Material cover	5,10,11	list	-	-	foam
8	Material shank	1,2,7,8,9	list	fiberglass	fiberglass	aluminum
9	Jumlah komponen	5,7,8,9	part	4	4	9
10	Harga	-	rupiah	2.500.000	3.000.000	8.500.000

Setelah mengetahui spesifikasi masing-masing produk, langkah selanjutnya adalah membandingkan performa masing-masing produk. Perbandingan dilakukan dengan memberikan skor 1-5 untuk masing-masing kriteria tiap produk berdasar penentuan *expert*. Perbandingan skor tiap produk disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan skor dengan kompetitor









No	Kebutuhan	Referensi	Kompetitor 1	Kompetitor 2
1	Bobot ringan	4	4	3
2	Kuat	3	3	5
3	Grip kuat dan nyaman	1	3	3
4	Mudah digunakan	2	2	3
5	Bisa di jalan miring	0	0	3
6	Mudah lepas pasang	3	3	4
7	Mudah memakai alas kaki	3	3	3
8	Tahan lama	2	2	3
9	Perawatan mudah	2	2	3
10	Ketersediaan Sparepart	1	1	3
11	Bentuk menyerupai kaki	3	3	3
12	Warna menyerupai kulit kaki	3	3	3
	Total	27	29	39

Hasil *scoring* menunjukkan bahwa produk referensi memiliki skor terendah dibanding dua produk kompetitor, dimana produk *Comfiware* tipe eksoskeleton lebih ekonomis dan durabel, sementara produk *Comfiware* tipe endoskeleton lebih fungsional dan nyaman. Berdasar hal tersebut, maka diperlukan kombinasi antar kedua produk kompetitor sebagai referensi perbaikan produk kaki prostetik referensi.

3.4. Konsep Rancangan Produk

Telah dijelaskan bahwa diperlukan kombinasi antar dua produk kompetitor sebagai referensi pengembangan produk kaki prostetik. Terdapat beberapa parameter batasan yang harus dipenuhi pada konsep produk, yaitu: a) Beban maksimum yang mampu ditahan oleh kaki prostetik sebesar 100 kg (Setiadi, 2018); b) Rentang berat minimal dan maksimal produk harus menyerupai berat kaki yang diamputasi. Digunakan batasan 6,10% dari berat badan total, untuk orang Indonesia berat prostetik harus berada pada rentang 3,2-5,7 kg (De Leva, 1996); c) Usia pakai produk lebih dari 5 tahun, sehingga digunakan nilai safety factor sebesar 4 (Prakoso, 2016); d) Harga jual produk harus lebih rendah dari harga jual produk kompetitor, yaitu di bawah Rp3.000.000,00 untuk tipe eksoskeleton dan di bawah Rp8.500.000,00 untuk tipe endoskeleton.

Tabel 5. Alternatif solusi konsep rancangan produk

No	Komponen	Alternatif	
		Produk 1	Produk 2
1	Socket	 nylon	 silicon
2	Shank	 fiberglass	 aluminum
3	Adapter	 rigid	 single-axis
4	Telapak Kaki	 kayu	 steel plate

Alternatif solusi disajikan pada Tabel 5. Pembuatan konsep produk dilakukan dengan mengidentifikasi komponen utama kaki prostetik serta mempertimbangkan parameter batasan. Dengan mempertimbangkan ketiga parameter batasan tersebut, beberapa alternatif solusi harus dieliminasi, dikarenakan biaya produksi yang terlalu tinggi, fungsi yang tidak memenuhi kebutuhan, maupun estetika yang buruk, sehingga didapatkan alternatif solusi sebagai berikut:

a. Pemilihan pelapis *socket*

Socket merupakan bagian dimana stump bertemu dengan kaki prostetik. Diantara *socket* dan *stump* terdapat lapisan penghubung disebut *liner* yang berfungsi sebagai pelindung *stump* saat bergesekan dengan *socket*. Terdapat dua alternatif material: *nylon* dan *silicon*. *Liner* berbahan dasar *nylon* sering dijumpai pada produk kaki prostetik. Material *nylon* bertekstur kasar dan tipis, sehingga mudah menyebabkan iritasi pada *stump*. *Liner* berbahan *silicon* lebih tebal dan lunak, serta dapat memberikan cengkeraman lebih baik dibanding material *nylon*.

b. Pemilihan *shank*

Terdapat dua bentuk penyangga kaki prostetik yang biasa digunakan, yaitu bentuk eksoskeleton berbahan dasar *fiberglass*, dan bentuk endoskeleton berbahan dasar logam. Bentuk eksoskeleton lebih terjangkau dari segi harga, sementara bentuk endoskeleton lebih kuat dan lebih mudah dirawat, serta terdapat *sparepart* yang dijual terpisah jika mengalami kerusakan.

c. Pemilihan *adapter*

Terdapat dua mekanisme gerak mata kaki yang dapat dijadikan referensi, yaitu jenis mata kaki *rigid*, dimana tidak memungkinkan terjadi gerakan *dorsiflexion* maupun *plantarflexion*, dan jenis mata kaki *single-axis*, yang memungkinkan gerakan *dorsiflexion* dan *plantarflexion* dengan sudut yang terbatas. Jenis *rigid* lebih mudah dirawat, sementara jenis *single-axis* lebih fleksibel namun sulit dalam perawatan disebabkan terdapat komponen pegas pada telapak kaki.

d. Pemilihan telapak kaki

Material telapak kaki yang lazim digunakan adalah kayu dan *steel plate* dengan dilapis bahan *rubber*. Bahan kayu lebih murah dan mudah diproduksi, namun tidak dapat melakukan *energy return*, sehingga menyulitkan saat pengguna berjalan menanjak ataupun menurun. Bahan *steel plate* bersifat fleksibel dan kuat dengan lapisan *rubber* di luar. Telapak kaki *rubber* dapat sedikit memberikan *energy return* dibanding telapak kaki kayu dengan harga yang lebih mahal.

Konsep produk dibuat dengan mengkombinasikan alternatif solusi yang tersedia sehingga, dihasilkan konsep produk kaki prostetik seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Konsep produk kaki prostetik

No	Parameter	Detail Produk		
		Referensi	Produk 1	Produk 2
1	Jenis penyangga	ekso	endo	endo
2	Material pelapis	nylon	nylon	silicon
3	Material telapak	kayu	kayu	steel plate
4	Jenis <i>adapter</i>	rigid	rigid	single-axis
5	Material <i>cover</i>	fiberglass	foam	foam
6	Material <i>shank</i>	fiberglass	aluminum	aluminum
7	Jumlah komponen	4	7	9

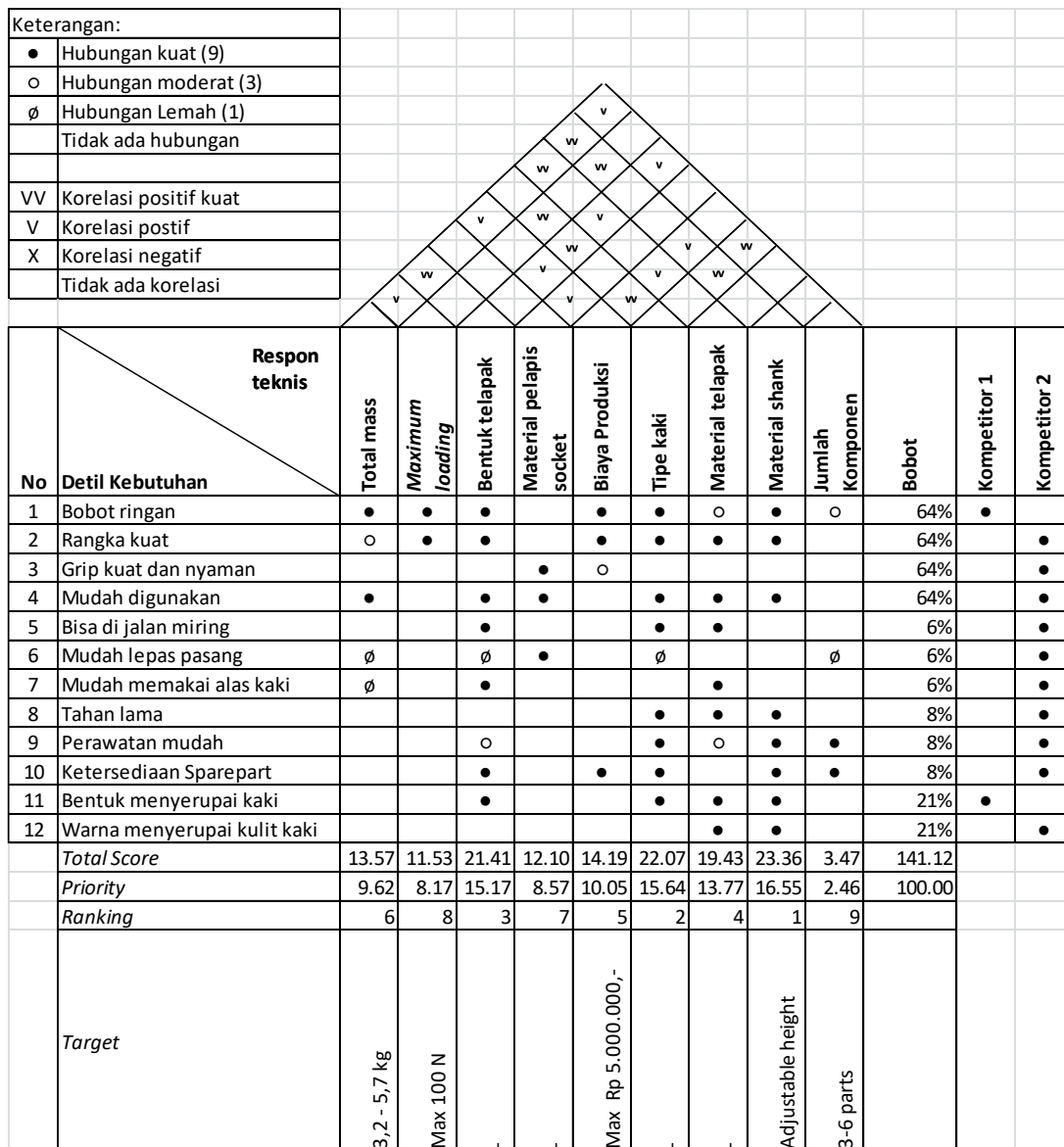
4. Perancangan Produk

Setelah masing-masing faktor diketahui bobotnya, langkah selanjutnya adalah membuat *house of quality*. Langkah ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kebutuhan dengan respon teknis yang dapat dilakukan, serta mengetahui peringkat masing-masing respon teknis tersebut. Hasil *house of quality* nantinya akan digunakan dalam proses *concept screening* dan *concept scoring*. Hasil proses *house of quality* ditunjukkan pada Gambar 3.

Setelah diketahui bobot masing-masing respon teknis, langkah selanjutnya adalah melakukan *concept screening* untuk menentukan apakah konsep produk akan lanjut ke tahap *scoring* atau tidak. Hasil *screening* disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. *Concept screening*

No	Respon Teknis	Referensi	Produk 1	Produk 2
1	<i>Total mass</i>	0	-	-
2	<i>Maximum loading</i>	0	+	+
3	Bentuk telapak	0	0	+
4	Material pelapis <i>socket</i>	0	0	+
5	Biaya produksi	0	0	0
6	Tipe kaki	0	+	+
7	Material telapak	0	+	+
8	Material <i>shank</i>	0	+	+
9	Jumlah komponen	0	+	-
	<i>Sum + 's</i>	0	5	6
	<i>Sum 0's</i>	9	3	1
	<i>Sum - 's</i>	0	1	3
	<i>Net Score</i>	0	4	3
	<i>Continue?</i>	No	Continue	Continue



Gambar 3. House of Quality

Proses *screening* dilakukan terhadap tiga konsep produk yang diusulkan dengan produk referensi. Hasilnya konsep produk 2 dan produk 3 yang diusulkan akan dilanjutkan ke tahap *scoring*, dengan pertimbangan bahwa keduanya memiliki nilai yang hampir sama dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing, sehingga belum dapat ditentukan manakah konsep produk yang dipilih. Hasil proses *scoring* disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Concept scoring

No	Respon Teknis	Bobot (%)	Produk 1		Produk 2	
			Rating	Weighted Score	Rating	Weighted Score
1	Total mass	9,62	4	38,5	4	38,5
2	Maximum loading	8,17	4	32,7	4	32,7
3	Bentuk telapak	15,17	4	60,7	3	45,5
4	Material pelapis socket	8,57	2	17,1	4	34,3
5	Biaya Produksi	10,05	4	40,2	3	30,2
6	Tipe kaki	15,64	3	46,9	3	46,9
7	Material telapak	13,77	2	27,5	3	41,3
8	Material shank	16,55	4	66,2	4	66,2
9	Jumlah komponen	2,46	4	9,8	3	7,4
Total Score				339,7		342,9
Continue				COMBINE		COMBINE

Hasil *concept scoring* menunjukkan bahwa kedua konsep produk yang diusulkan memberikan nilai yang hampir sama, sehingga perlu dilakukan kombinasi antara kedua produk tersebut untuk mendapatkan hasil terbaik. Pada Tabel 9. disajikan konsep produk baru hasil kombinasi kedua konsep produk.

Tabel 9. Spesifikasi produk

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi
1	Tipe kaki	list	endoskeleton
2	Material pelapis <i>socket</i>	list	<i>silicon</i>
3	Material <i>cover</i>	list	<i>foam</i>
4	Material <i>socket</i>	list	<i>fiberglass</i>
5	Material <i>shank</i>	list	<i>aluminum</i>
6	Material <i>adapter</i>	list	<i>stainless steel</i>
7	Material telapak	list	kayu
8	Jenis <i>adapter</i>	list	<i>rigid</i>
9	Massa total	kg	3,2 - 5,7
10	Beban maksimum	kg	100
11	Jumlah komponen	parts	3 - 9

Spesifikasi pada Tabel 9. masih bersifat umum, sehingga diperlukan analisis selanjutnya terkait detail material yang digunakan untuk mempermudah proses perancangan.

a. Material *shank*

Aluminum digunakan sebagai material penyusun komponen *shank*. Terdapat berbagai jenis aluminum di pasaran dengan properti material yang berbeda- beda. Untuk menahan beban statis yang diberikan pengguna pada rangka kaki prostetik, penggunaan material aluminum 7075-T6 merupakan pilihan yang tepat. Aluminum 7075-T6 merupakan paduan antara aluminum, magnesium, dan silica. Aluminum 7075-T6 bersifat mudah dimanufaktur dengan harga jual yang murah namun tetap kuat dan ringan, serta non-magnetik ("304 vs 316 Stainless Steel," 2019).

b. Material *adapter*

Stainless steel digunakan sebagai material penyusun komponen *adapter*. Sama seperti material aluminum, terdapat berbagai jenis stainless steel dengan properti yang berbeda. Material *stainless steel* 304 dipilih sebagai penyusun komponen *adapter*. Alasan pemilihan karena material tersebut kuat, tahan korosi, mudah dibentuk, dan bersifat non-magnetis ("304 vs 316 Stainless Steel," 2019).

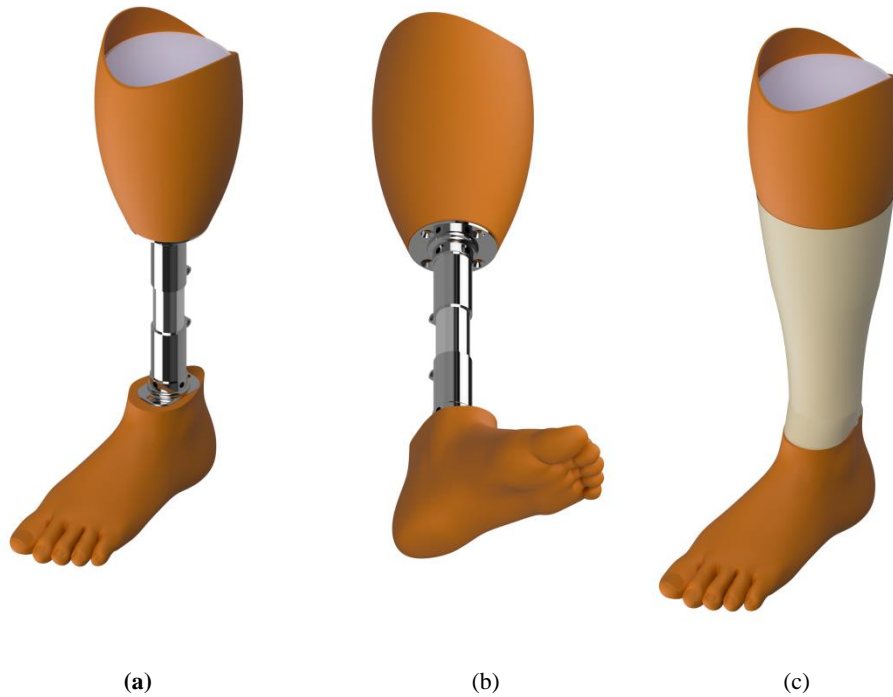
c. Dimensi kaki prostetik

Dimensi *socket* dan telapak kaki prostetik ditentukan oleh ukuran *stump* dan panjang amputasi pengguna sehingga dimensi kaki prostetik masing- masing pengguna bisa berbeda. Dimensi *shank* yang digunakan pada penelitian ini mengutip penelitian Prakoso (Prakoso, 2016) dengan dimensi panjang maksimal *shank* 150 mm, diameter luar 30 mm, dan tebal 2 mm. Panjang *shank* bersifat *adjustable* tergantung panjang kaki pengguna.

d. Material *socket*

Material yang biasa digunakan sebagai penyusun *socket* kaki prostetik adalah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) yang bersifat padat dan kuat. Untuk pelapis *socket* digunakan bahan *silicon* rtv 48 yang bersifat lentur dan lembut sehingga pengguna tidak perlu menggunakan pelapis tambahan.

Setelah didapatkan spesifikasi produk yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah membuat model 3-dimensi sebagai rancangan produk yang akan dibuat. Model 3-dimensi digunakan untuk melihat tingkat *manufacturability* produk yang telah dirancang, sehingga produsen dapat memberikan *feedback* terkait rancangan produk. Rancangan final produk kaki prostetik disajikan pada Gambar 4.



Gambar 3. Rancangan final produk kaki prostetik (a) tampak atas tanpa cover, (b) tampak bawah tanpa cover, (c) tampak atas dengan cover

Setelah model 3-dimensi dibuat, estimasi bobot produk dapat dilakukan untuk mengetahui apakah berat produk sudah berada dalam rentang yang diperbolehkan. Perhitungan berat produk menggunakan fitur yang tersedia pada *software parametric design*. Rincian berat produk disajikan pada Tabel 10. Diketahui bahwa estimasi berat total produk adalah sebesar 3,296 kg, angka tersebut masih dalam batas berat yang diperbolehkan. Berat produk dapat bervariasi tergantung pengguna mengingat komponen *socket*, *liner*, dan telapak dapat berbeda-beda untuk setiap pengguna.

Perancangan produk menggunakan QFD menghasilkan spesifikasi produk kaki prostetik sebagai usulan perbaikan yang dapat diterapkan pada produk kaki prostetik. Spesifikasi final produk disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Spesifikasi final

No	Parameter	Satuan	Spesifikasi
1	Tipe kaki	list	endoskeleton
2	Material pelapis <i>socket</i>	list	silicon rtv 45
3	Material cover	list	styrofoam
4	Material <i>socket</i>	list	polyethylene
5	Material <i>shank</i>	list	aluminum 7075-T6
6	Material <i>adapter</i>	list	stainless steel 304
7	Material telapak	list	kayu dilapis rubber
8	Jenis <i>adapter</i>	list	rigid
9	Massa total	kg	3,93
10	Beban maksimum	kg	104
11	Jumlah komponen	parts	9
12	Diameter luar <i>shank</i>	mm	30
13	Tebal dinding <i>shank</i>	mm	2
14	Panjang maks. <i>shank</i>	mm	150

4. Kesimpulan

Ditemukan 12 kriteria kebutuhan pengguna akan sebuah produk kaki prostetik. Dari 12 kriteria kebutuhan yang ditemukan, diusulkan sebuah rancangan produk kaki prostetik yang dinilai mampu menjawab ekspektasi pengguna akan produk kaki prostetik. Perbaikan dilakukan pada bagian *shank* sebagai penyokong kaki prostetik dan pada bagian pelapis *socket*. Keunggulan produk ini dibanding produk lainnya adalah memiliki *shank* yang dapat diatur ketinggiannya dan memiliki lapisan *socket* yang lebih empuk dan nyaman dipakai oleh pengguna. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, antara lain: Melakukan validasi terhadap rancangan produk yang diusulkan, dengan cara memfabrikasi produk dan melakukan tes usability dengan melibatkan pengguna.

Daftar pustaka

- 304 vs 316 Stainless Steel. (2019). Retrieved from <https://metalpress.onlinemetals.com/>
- De Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's Segment Inertia Parameters. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223-1230. .
- Fauziah, R. A., & Sriwarno, A. B. (2015). Pengembangan Desain Kaki Prostetik Yang Berbasis Low-Cost. *Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain*, 1, 1-7.
- Fitrianto, T. R., & Dharmastiti, R. (2019). *Evaluasi Produk Kaki Prostetik Bawah Lutut Berdasarkan Persepsi Pengguna Usia 15-64 Tahun*. Paper presented at the SNST.
- Jamari, A. R., & Isnawan. (2015). Perancangan Above Knee Prosthetic Untuk Pasien Amputasi Kaki di Atas Lutut. *Jurnal Teknik Mesin: Universitas Diponegoro*, 2, 93-97.
- Nugroho, F. S. (2015). *Perancangan Ankle Foot Berbasis Biomekanika*. UGM, Yogyakarta.
- Prakoso, A. (2016). *Perancangan dan Pembuatan Prototype Shank Prostheses Kaki Bagian Bawah Lutut*. STT Adisutjipto, Yogyakarta.
- PT. Kuspito Ortotik Prostetik. (2019). Retrieved from <http://www.Comfiware.com//>
- Setiadi, A. (2018). Desain, Simulasi dan Pembuatan Model Protesis Bawah Lutut Berdasarkan Antropometri Orang Indonesia. *Jurnal Teknik Mesin UII*.