

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada saat ini industri kesehatan tengah berlomba-lomba untuk mengembangkan alat atau mesin yang dapat bekerja secara efektif dan efisien dalam membantu proses penyembuhan pasien, demikian pula dengan cabang kesehatan fisioterapi. Industri kesehatan di bidang fisioterapi mulai mengalami perkembangan di mana sebelumnya alat-alat bantu berjalan dan alat terapi menggunakan alat manual, perlahan diadaptasi menjadi alat-alat semi otomasi yang semakin mempermudah penggunaan serta pengoperasiannya dalam menjalankan proses terapi.

Menurut *World Health Organization* (WHO) (2011), Sekitar 10% dari populasi global memiliki disabilitas dengan tingkat yang berbeda, dan sekitar 10% dari populasi penyandang cacat membutuhkan alat bantu untuk mendukung mobilitas (Z,Mahmoud *et al.*,2020). Berdasarkan data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa kebutuhan alat terapi masih membutuhkan perhatian khusus.

Terdapat beberapa penelitian yang membahas tentang perancangan dan pengembangan alat bantu terapi gerak. Penelitian tentang alat bantu untuk menggerakkan tangan pasien stroke dilakukan oleh Kristyanto, B *et al.* (2020). Penelitian tersebut membahas tentang teknik pengembangan gerakan yang digunakan untuk membantu rehabilitasi lengan pasca stroke. Teknik yang digunakan adalah teknik Therbligh. Teknik tersebut memenuhi tiga kriteria yaitu kemandirian,kesederhanaan, dan merangsang otot-otot utama untuk gerakan lengan. Pengukuran otot menggunakan elektromiografi (EMG). Penelitian selanjutnya dilakukan oleh B. Kristyanto *et al.* (2017). Penelitian tersebut membahas tentang gerakan tangan manusia mulai dari *reach*,*move* dan *release*. Analisis gerakan tersebut digunakan untuk mengetahui gerakan penderita stroke, sehingga alat yang dirancang tepat sasaran dan berfungsi secara maksimal. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Urs Keller *et al.* (2016). Penelitian tersebut membahas tentang rancangan robot *exoskeleton* untuk terapi anak-anak disabilitas tangan. Proses penelitian dilakukan dengan mengkaji hasil uji kelayakan dengan lima pasien muda berusia antara 5 sampai 17 tahun dengan gangguan motorik lengan. Dalam sesi pelatihan robot, pasien Mencoba berbagai skenario pelatihan dengan jumlah lengan yang berbeda Dukungan dan pengaturan robot tergantung pada terapi merekatujuan, kemampuan, dan

preferensi. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan keberhasilan ketika diimplementasikan ke suatu *platform* yaitu ChARMin. Lengan robot tersebut mendukung anak-anak untuk gerakan fungsional bahkan dapat membantu anak-anak dalam bermain *video game*. Robot tersebut ditingkatkan dengan menggunakan sambungan *backdriveable*, model kompensasi akurat yang mencakup tidak hanya istilah inersia dan gravitasi, tetapi juga gesekan *visco coulomband*, dan pendekatan *dithering* untuk mengurangi gesekan statik. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh M.H. Rahman *et al.* (2014). Penelitian tersebut membahas pengembangan lengan roboto exoskeleton untuk terapi lengan dan bahu. Robot tersebut menggunakan kontrol nonlinear. *Motor* yang digunakan untuk kekuatan lengan robot tersebut adalah DC *servo motor*. Gerakan yang dipakai menggunakan prinsip 7 DoF(*degree of freedom*) dengan fokus pada rehabilitasi pasif. Titik yang dilatih pada lengan robot tersebut yaitu bahu,siku,lengan bawah, dan pergelangan tangan. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Patricia.L. *et al.*(2016). Penelitian tersebut membahas tentang rehabilitasi lengan pasien pasca *stroke*. Tujuan utama yang ingin dicapai pada penelitian tersebut adalah mengembalikan gerakan ritmis dan diskrit pada pasien, serta memaksimalkan gerakan ritmis dengan bantuan robot yang telah ditambahkan 3 fitur gerakan, yaitu kelancaran,kecepatan, dan amplitudo, tanpa membatasi pasien untuk mengikuti lintasan yang telah ditentukan. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Rui C.V *et al.* (2011). Penelitian tersebut membahas tentang perancangan lengan robot. Perbedaan yang mencolok pada penelitian tersebut adalah penggunaan sensor otak, di mana fisioterapis dapat memantau secara langsung gairah dan otak pasien ketika menggunakan alat. Penelitian tersebut membuktikan ketika pasien menggunakan alat yang dapat mengulang gerakan dan dapat menjaga ritme, gairah serta motivasi pasien dapat meningkat secara signifikan, sehingga membantu proses rehabilitasi. Penelitian selanjutnya membahas tentang perancangan alat untuk rehabilitasi kaki. Penelitian ini dilakukan oleh Jovana M. *et al.* (2017). Penelitian tersebut berfokus pada sistem pendukung keputusan untuk pembentukan elektroda pada *multi-pad* untuk terapi kaki. Hasil penelitian yang didapatkan adalah tercipta dua gerakan yaitu DF dan PF, di mana *multi-pad* dirancang tunggal untuk elektroda yang dapat secara selektif menginduksi gerakan DF dan PF. Gerakan tersebut diatur supaya dapat berpola dan membentuk sebuah algoritma untuk gerakan menurunkan kaki. Prosedur semi-otomatis analisis statistik kombinasi peringkat Q dan data inklusi

pada pola akhir yang dioptimalkan oleh fisioterapis dapat berfungsi sebagai langkah awal. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Di shi *et al* (2019), di mana penelitian tersebut tercipta karena kasus *stroke* di china merupakan yang tertinggi di dunia dengan perkiraan pengidap sebanyak 15 juta dengan disfungsi *lower limb*. Penelitian ini berfokus pada penelitian robot *exoskeleton* yang diintegrasikan dengan penginderaan, kontrol dan teknologi, serta mengadopsi beberapa disiplin ilmu seperti bionik, robotika, ilmu informatika, kedokteran dan bidang interdisipliner lainnya. Metode yang digunakan adalah pendekatan *gait analysis*. Hasil penelitian menghasilkan *prototype* robot *exoskeleton* yang masih dalam tahap pengujian. Penelitian lain dilakukan oleh Jiaoying J, *et al* (2018). Penelitian tersebut meneruskan topik yang diteliti sebelumnya yaitu tentang efektivitas rehabilitasi dini pasien *stroke* untuk mengembalikan fungsi motor dan persendian. Jurnal tersebut akan berfokus pada pertimbangan desain dan kebutuhan anatomi untuk pemulihan gerak fungsional, yang memungkinkan meringankan beban otot dan mempercepat pemulihan saraf melalui latihan untuk memastikan kesembuhan yang lebih cepat. Penelitian ini menggunakan pendekatan *ankle foot kinematics*. Implikasi dari robot rehabilitasi *ankle* yang pertama adalah terapi dengan robot berdampak positif pada motor atau fungsi pengembalian otot dan *neuro* rehabilitasi. Implikasi yang kedua adalah efektivitas rehabilitasi lebih awal terbukti lebih besar dan memiliki keuntungan yang lebih banyak. Implikasi yang ketiga adalah pelatihan berulang dengan fokus titik yang sama menghasilkan pemulihan motorik *stroke* kronis yang lebih baik. Implikasi yang terakhir adalah ketika dikombinasikan dengan teknologi *virtual reality*, kemungkinan akan berpengaruh pada rehabilitasi. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Nicolas A.T *et al* (2020) di mana penelitian tersebut menggunakan pendekatan psikologis serta parameter biomekanika untuk menganalisis resultan gaya yang bekerja pada pedal. Penelitian tersebut menggunakan *asesment* kepada objek manusia. Pengukuran perkembangan otot saat mengayuh sepeda dilakukan dengan alat EMG. Hasil dari penelitian tersebut adalah torsi pada *knee* yang direpresentasikan sehingga bisa diketahui torsi yang bekerja saat responden melakukan gerakan dengan sudut-sudut tertentu.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	<i>Developing Technique for Arm Movement Rehabilitation of Post Stroke Patient</i>	Kristyanto, B., Pamosoaji, A. K., dan Suyoto. (2020).	<i>Developed Technique of Movement, Prinsip Therbligh</i>	Teknik therbligh yang dipakai menunjukkan dapat merangsang otot-otot utama, serta pengukuran dengan EMG menunjukkan teknik therbligh memiliki keunggulan daripada teknik tradisional.
2	<i>Analysis of Human Arm Motions at Assembly Work as a Basic of Designing Dual Robot Arm System</i>	B. Kristyanto, B. B. Nugraha, A. K. Pamosoaji, K. A. Nugroho. (2017).	studi literatur tentang <i>human dual-arms motions</i>	Robot lengan ganda meniru bentuk serta gerakan lengan manusia. Prinsip gerakan menggunakan 7 DoF. Perlu perhitungan lebih lanjut untuk kekuatan motor penggerak.
3	<i>ChARMin: The first actuated exoskeleton robot for pediatric arm rehabilitation</i>	Urs Keller, Hubertus J. A. van Hedel, Verena Klamroth-Marganska, and Robert Riener. (2016)	<i>First feasibility test</i>	Robot exoskeleton dengan 6 DoF untuk anak-anak umur 5 sampai dengan 13 tahun. Lengan robot tersebut dilengkapi dengan virtual reality.
4	<i>Development of a whole arm wearable robotic exoskeleton for rehabilitation and to assist upper limb movements</i>	M. H. Rahman, M. J. Rahman, O. L. Cristobal, M. Saad, J. P. Kenné and P. S. Archambault (2014)	<i>7 DoF, human Eksperimental objek</i>	Lengan robot menggunakan metode ETS MARSE, dengan gerakan pasif untuk mendukung terapi gerak bahu, persendian siku, lengan bawah, dan pergelangan tangan.
5	<i>Performance-based robotic assistance during rhythmic arm exercises</i>	Leconte, Patricia., Renaud Ronsse (2016)	Asisten gerakan ritmis dengan bantuan robot rehabilitasi.	Robot asisten yang dapat membantu memulihkan gerakan ritmis dan diskrit pada pasien pasca stroke. Mengembangkan robot dengan 3 fitur gerakan, yaitu : kelancaran, kecepatan, dan amplitudo. Robot dapat mengikuti lintasan yang diberikan.
6	<i>Advances in upper limb stroke rehabilitation: a technology push</i>	Rui C. V. Loureiro, William S. Harwin, Kiyoshi Nagai, Michelle Johnson (2011)	<i>Sensorimotor control</i>	Merancang sebuah lengan robot terapi yang terkoneksi dengan otak pasien menggunakan gabungan sensorik psikofisiologis informasi untuk gairah dan pemantauan otak pasien.
7	<i>A decision support system for electrode shaping in multi-pad FES foot drop correction</i>	M. Jovana., Suzana .D.D., Andrej M.S., Ljubica.K., Aleksandra.V., Goran Bijelić, Nebojša Malešević, Thierry Keller. (2017).	<i>Decision Support System (DSS), Functional electrical stimulation (FES)</i>	DSS yang diusulkan menghasilkan sebuah alat yang dapat menimbulkan gerakan DF dan PF. Gerakan tersebut diinduksi oleh multi-pad tunggal yang dirancang khusus supaya elektroda dapat secara selektif menginduksi gerakan DF dan PF.
8	<i>A Review on Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robots</i>	Di Shi, Wuxiang Zhang, Wei Zhang & Xilun Ding	<i>Human Gait analysis</i>	Menghasilkan prototype robot exoskeleton yang mengintegrasikan penginderaan, kontrol dan teknologi serta mengadopsi dari beberapa disiplin ilmu.
9	<i>Review of anatomy-based ankle-foot robotics for mind, motor and motion recovery following stroke: design considerations and needs</i>	Jiaoying Jiang, Kok-Meng Lee, Jingjing Ji	<i>motor and motion recovery (M3R), anatomy-based ankle-foot orthoses (AFOs)</i>	Implikasi klinis robot dengan prinsip motor and motion recovery (M3R) setelah diuji coba adalah sebagai berikut: Terapi robotik memiliki efek positif pada pemulihan motorik dan saraf, rehabilitasi berjalan efektif apabila dilakukan pada awal serangan stroke, pelatihan pada titik tertentu secara berulang terbukti efektif untuk pemulihan motorik stroke kronis, teknologi <i>virtual reality</i> menunjukkan efek positif dalam rehabilitasi.

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
10	<i>Cycling Biomechanics and Its Relationship to Performance</i>	Nicolas A. Turpin , and Bruno Watier	<i>Assesment, biomechanical</i>	Melihat kinerja dan teknik pesepeda untuk melihat sejauh mana otot bekerja. Pemantauan otot menggunakan EMG. Pendekatan yang digunakan menggunakan biomekanika.

Penelitian tentang alat terapi gerak dapat dilihat pada Tabel 2.1. Jurnal Referensi. Tabel tersebut menunjukkan bahwa penelitian didominasi pada area lengan atau tangan saja, sedangkan data dari Kemenkes RI pada tahun 2018, berdasarkan diagnosis dokter yang dilakukan pada penduduk umur lebih dari 14 tahun sebesar 10,9% dan diperkirakan sebanyak 2.120.362 penderita *stroke* yang ada di Indonesia (Kemenkes RI, 2018). *Stroke* menyerang fungsi mobilitas tubuh termasuk gerak kaki. Manusia dapat melakukan gerak fungsional seperti jongkok, berdiri dan berjalan dengan lancar apabila kekuatan dan keseimbangan kaki mencukupi.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Fisioterapi

Bidang kesehatan fisioterapi dewasa ini terus mengalami perkembangan baik dari sisi prosedur pengaplikasian maupun peralatan yang dipakai. Tuntutan untuk proses penyembuhan yang efektif, aman serta efisien menjadi faktor utama perkembangan tersebut. Berbagai macam terobosan serta modifikasi terhadap alat-alat pendukung fisioterapi semakin berkembang pesat. Mulai dari sistem manual mekanika sampai dengan alat otomatis.

Menurut Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.778 Tahun 2008 tentang pedoman pelayanan fisioterapi di sarana kesehatan, fisioterapi adalah suatu pelayanan kesehatan yang ditujukan untuk individu dan atau kelompok dalam upaya mengembangkan, memelihara, memulihkan gerak serta fungsi gerak dan mekanis manusia. Fisioterapi menerapkan metode pelatihan olahraga khusus dengan berbagai macam teknik dengan bantuan alat-alat yang mendukung pergerakan anggota badan yang hendak dipulihkan (Sudarsini.,2017).

2.2.2. Analytic Hierarchy Process (AHP)

Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat model analitik keputusan. Model keputusan

tersebut dapat menguraikan permasalahan multi kriteria yang kompleks dengan proses pembobotan hierarki . Hierarki adalah suatu representasi berdasarkan suatu permasalahan yang kompleks pada struktur multilevel. Urutan level hierarki yaitu tujuan lalu diikuti oleh level faktor,kriteria, subkriteria dan alternatif (Saaty.,1993).

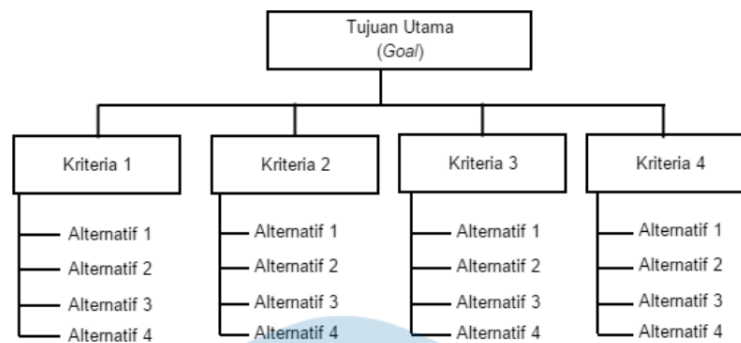
Analytic Hierarchy Process (AHP) memiliki struktur hierarki mulai dari faktor utama sampai dengan alternatif-alternatif yang tersedia. Struktur tersebut dapat disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan. AHP mendukung multi kriteria dan multifaktor.

Nilai intensitas kepentingan dari skala fundamental dimulai dari 1 yang berarti kedua elemen yang dibandingkan adalah sama penting , 3 berarti elemen yang satu sedikit lebih penting dari elemen lainnya, 5 berarti elemen yang satu lebih penting dari elemen lainnya, 7 berarti elemen yang satu sangat penting dari elemen lainnya, sampai dengan 9 yang berarti elemen yang satu mutlak sangat penting dari elemen lainnya. Nilai-nilai antar dua nilai kepentingan, yaitu nilai 2,4,6,8 berarti nilai-nilai tersebut dipertimbangkan. Terdapat kebalikan dari nilai kepentingan tersebut, yaitu jika aktivitas x mendapat satu angka dibandingkan dengan aktivitas y, maka nilai y memiliki nilai kebalikan dengan nilai x.

Penyusunan AHP memiliki tiga prinsip utama menurut Saaty, yaitu *Decomposition*, *Comparative Judgement*, dan *Logical Consistency*, berikut adalah langkah-langkah penyusunan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) :

a. *Decomposition* masalah

Dekomposisi merupakan langkah pertama dalam penyusunan AHP. Langkah pertama adalah dengan menentukan tujuan utama atau faktor utama dari struktur yang dibuat. Tujuan utama tersebut yang nantinya akan didekomposisi atau dipecahkan ke dalam sub-subfaktor dan akhirnya ditemukan alternatif-alternatif yang nantinya alternatif tersebut diuji kembali untuk mendapatkan alternatif terbaik dari keseluruhan alternatif.



Gambar 2.1. Struktur Hierarki

(Sumber: Saaty,1993)

b. Penilaian / pembobotan

Apabila proses dekomposisi telah selesai dan hierarki telah tersusun dengan baik. Selanjutnya dilakukan penilaian perbandingan berpasangan (pembobotan) pada tiap-tiap Hierarki berdasarkan tingkat kepentingan relatifnya. Pada contoh di atas, maka perbandingan dilakukukan pada Hierarki III (antara alternatif), dan pada Hierarki II (antara kriteria).

Penilaian atau pembobotan pada Hierarki III, dimaksudkan untuk membandingkan nilai atau karakter pilihan berdasarkan tiap kriteria yang ada. Misalnya antara pilihan 1 dan pilihan 2, pada kriteria 1, lebih penting pilihan 1, selanjutnya antara pilihan 1 dan pilihan 3, lebih penting pilihan 3 dan seterusnya hingga semua pilihan akan dibandingkan satu-persatu (secara berpasangan). Hasil dari penilaian adalah nilai/bobot yang merupakan karakter dari masing-masing alternatif.

Penilaian atau pembobotan pada Hierarki II, dimaksudkan untuk membandingkan nilai pada masing-masing kriteria guna mencapai tujuan. Sehingga nantinya akan diperoleh pembobotan tingkat kepentingan masing-masing kriteria untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

Prosedur penilaian perbandingan berpasangan dalam AHP, mengacu pada skor penilaian yang telah dikembangkan oleh Thomas L Saaty, sebagai berikut:

Intensity of importance on an absolute scale	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective
3	Moderate importance of one over another	Experience and judgment strongly favor one activity over another
5	Essential or strong importance	Experience and judgement strongly favor one activity over another
7	Very strong importance	An activity is strongly favored and its dominance demonstrated in practice
9	Extreme importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate values between the two adjacent judgments	When compromise is needed
Reciprocals	If activity i has one of the above numbers assigned to it when compared with activity j , then j has the reciprocal value when compared with i	
Rationals	Ratios arising from the scale	If consistency were to be forced by obtaining n numerical values to span the matrix

Gambar 2.2. Skala Fundamental

(Sumber : Saaty,1990)

Dalam pembobotan tingkat kepentingan atau penilaian perbandingan berpasangan ini berlaku hukum aksioma reciprocal, artinya apabila suatu elemen A dinilai lebih esensial (5) dibandingkan dengan elemen B, maka B lebih esensial 1/5 dibandingkan dengan elemen A. Apabila elemen A sama pentingnya dengan B maka masing-masing bernilai = 1.

c. Penyusunan Matriks

Penyusunan matriks dapat dilakukan apabila pembobotan telah selesai dilaksanakan. Proses penyusunan dilakukan dengan memasukkan nilai kepentingan ke dalam matriks selanjutnya dilakukan kebalikan diagonal. Lebar matriks ditentukan dengan melihat atribut atau kriteria yang ditentukan dari proses dekomposisi.

Dalam pengambilan data, misalnya dengan menggunakan kuisioner, prosedur perbandingan berganda dapat dilakukan dengan menggunakan kuisioner berupa matriks atau semantik difrensial.

Tabel 2.2. Matriks Pembobotan

	Kriteria 1	Kriteria 2	Kriteria 3	Kriteria 4	Kriteria n
Kriteria 1	SK 1	SK 2	SK 1	SK 4	SK 1n
Kriteria 2	SK 11	SK 1	SK 13	SK 23	SK 2n
Kriteria 3	SK 21	SK31	SK 1	SK 34	SK 3n
Kriteria 4	SK 22	SK 32	SK43	SK 1	SK 4n
Kriteria n	SKn1	SKn2	SKn3	SKn4	SK1

(Sumber : Saaty,1990)

d. Penentuan Prioritas dan uji konsistensi

Kriteria yang telah ditentukan selanjutnya dilakukan perbandingan berpasangan. Nilai-nilai tersebut diolah untuk menemukan peringkat dari keseluruhan alternatif. Kriteria terbagi menjadi dua, yaitu kualitatif dan kuantitatif. Dalam menentukan prioritas, kedua jenis kriteria dapat diolah untuk menemukan peringkat dari seluruh kriteria. Kriteria tersebut selanjutnya dilakukan pengujian konsistensi untuk mengetahui apakah nilai tersebut konsisten atau tidak.

e. Pengambilan keputusan

Setelah mendapatkan peringkat dari alternatif-alternatif tersebut, kemudian dilakukan kalkulasi untuk mengetahui nilai terbesar atau peringkat teratas dari alternatif yang dianalisis. Keputusan akhir tersebut yang menjadi dari metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

2.2.3. Value Engineering

Value engineering adalah teknik untuk mengidentifikasi cara kerja atau berbagai fungsi yang dibutuhkan dari suatu produk, menetapkan nilainya, dan akhirnya menciptakan fungsi-fungsi tersebut dengan biaya serendah mungkin.

Value engineering terdiri atas lima tahap pokok berikut.

- a. pemilihan barang yang akan dianalisis
- b. pengumpulan informasi dan penetapan fungsi barang
- c. pengembangan alternatif
- d. pengujian dan verifikasi
- e. pengajuan usul dan tindak lanjut

Berdasarkan informasi ini kemudian ditentukan fungsi-fungsi pokok yang diperlukan, dengan melakukan pengujian atas nilai fungsi sebagai berikut.

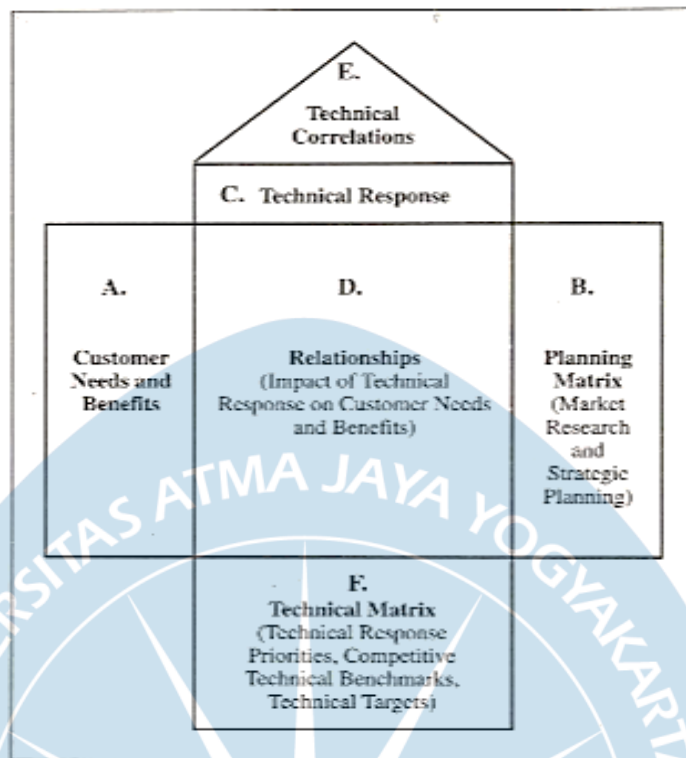
- a. Apakah fungsi ini memberikan kontribusi?
- b. Apakah kegunaannya sepadan dengan biayanya?
- c. Apakah bentuk atau sifatnya yang ada sekarang ini memang diperlukan?
- d. Apakah alternatif lain yang mungkin lebih baik?
- e. Apakah suku cadang yang sekarang dipakai dapat diproduksi dengan biaya yang lebih rendah?

Penting bahwa industri memahami hal ini sebagai konsep yang lebih luas daripada kemampuan membangun dan itu bukan hanya metode pemotongan biaya. Value Engineering didasarkan pada metodologi yang tepat dan memiliki track record mapan keberhasilan. Hal ini, dan terus menawarkan kesempatan yang penting

untuk industri konstruksi untuk meningkatkan layanan kepada klien. Mereka semakin mencari industri konstruksi untuk mengurangi biaya dan menunjukkan bahwa nilai uang sedang dicapai. Value engineering menawarkan cara untuk industri konstruksi memuaskan kebutuhan klien mereka. Pendekatan *Value Engineering* ini berbeda dari manajemen proyek tradisional di dalamnya berkonsentrasi demi kebutuhan dan hanya memberikan nilai uang daripada kontrol waktu dan biaya.

2.2.4. Quality Function Deployment (QFD)

Quality Function Deployment (QFD) adalah pendekatan berorientasi pelanggan untuk inovasi produk. QFD memiliki panduan untuk desainer melalui proses konseptualisasi, penciptaan dan realisasi produk baru. QFD mendukung tim desain untuk mengembangkan produk secara terstruktur yang menghubungkan permintaan pasar melalui spesifikasi teknik dengan spesifikasi suku cadang dan produksi variabel proses dan dengan demikian untuk perencanaan operasi produksi (Govers.,1996). QFD adalah metode untuk perencanaan dan pengembangan produk terstruktur yang memungkinkan tim pengembangan untuk menentukan dengan jelas keinginan dan kebutuhan pelanggan, dan kemudian mengevaluasi setiap kapasitas produk atau layanan yang diusulkan secara sistematis dalam hal dampaknya terhadap pemenuhan kebutuhan tersebut. Proses QFD melibatkan pembuatan satu atau lebih matriks (kadang-kadang disebut "tabel kualitas"). Bagian pertama dari matriks ini disebut "House of Quality". HOQ menampilkan keinginan dan kebutuhan pelanggan ("suara pelanggan") di sebelah kiri, dan respons teknis tim pengembangan untuk memenuhi keinginan dan kebutuhan tersebut di bagian atas. Matriks terdiri dari beberapa bagian atau submatriks bergabung bersama dalam berbagai cara, masing-masing berisi informasi yang berkaitan dengan yang lain (Cohen.,1995).



Gambar 2.3. Struktur Utama QFD

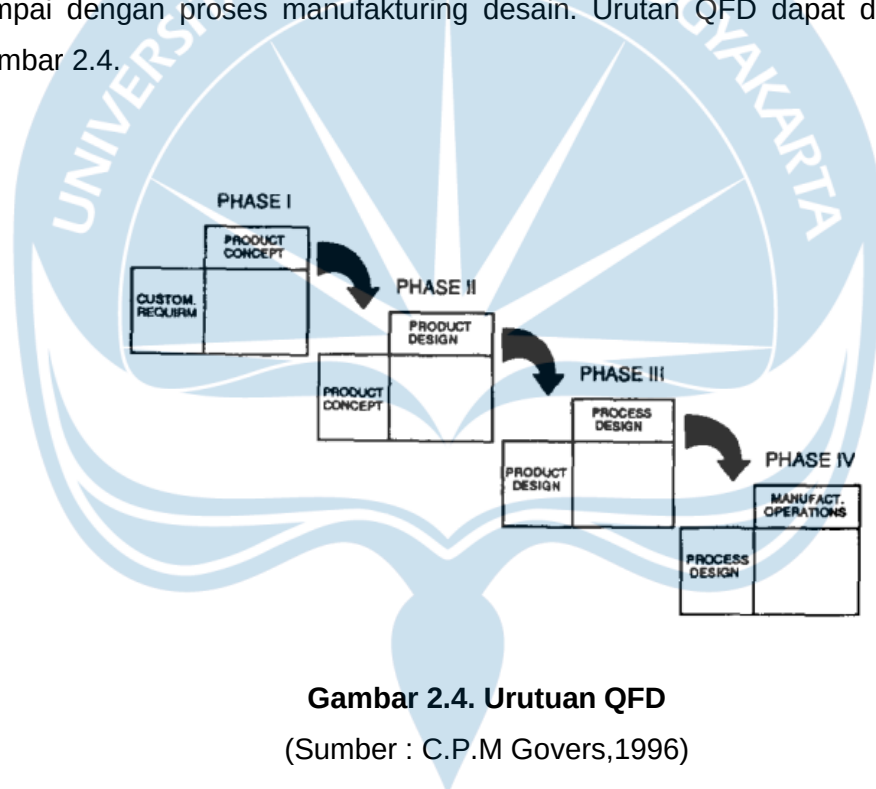
(Sumber :Cohen,1995:12)

Setiap bagian berlabel, A sampai E, adalah ekspresi terstruktur dan sistematis dari pemahaman tim pengembangan produk atau proses tentang aspek keseluruhan proses perencanaan untuk produk, layanan, atau proses baru. Urutan let-tering menyarankan satu urutan logis untuk mengisi matriks. Bagian A berisi daftar terstruktur keinginan dan kebutuhan pelanggan. Struktur biasanya ditentukan oleh riset pasar kualitatif. Bagian B berisi tiga jenis informasi utama yaitu data pasar kuantitatif, menunjukkan kepentingan relatif dari keinginan dan kebutuhan kepada pelanggan, dan tingkat kepuasan pelanggan dengan organisasi dan penawaran pesaingnya saat ini. Penetapan tujuan strategis untuk produk atau layanan baru. Perhitungan untuk peringkat memesan keinginan dan kebutuhan pelanggan. Bagian C berisi, dalam bahasa teknis organisasi, deskripsi tingkat tinggi tentang produk atau layanan yang mereka rencanakan untuk dikembangkan. Biasanya deskripsi teknis ini dihasilkan (digunakan) dari keinginan dan kebutuhan pelanggan di Bagian A. Bagian D berisi penilaian tim pengembangan tentang kekuatan hubungan antara setiap elemen respons teknis mereka dan setiap keinginan dan kebutuhan pelanggan. Bagian E (Korelasi Teknis) adalah setengah

dari matriks persegi, terbagi sepanjang diagonal dan diputar 45 °. Karena menyerupai atap rumah, istilah "House of Quality" (HOQ) telah diterapkan pada seluruh matriks dan telah menjadi sebutan standar untuk struktur matriks. Bagian E berisi penilaian tim pengembangan tentang keterkaitan implementasi antara elemen-elemen respons teknis.

Otoritas QFD berbeda dalam terminologi yang terkait dengan bagian-bagian House of Quality. Bagian F berisi tiga jenis informasi, yaitu urutan peringkat yang dihitung dari tanggapan teknis, berdasarkan urutan peringkat keinginan dan kebutuhan pelanggan dari Bagian B dan hubungan di bagian D, informasi komparatif tentang kinerja teknis kompetisi, dan target kinerja teknis.

Penyusunan QFD memiliki beberapa langkah mulai dari membuat konsep desain sampai dengan proses manufaktur desain. Urutan QFD dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Urutan QFD
(Sumber : C.P.M Govers,1996)

Berdasarkan Gambar 2.3. dapat diamati bahwa proses pertama pada pembuatan QFD adalah dengan membuat konsep produk apa yang akan diusung untuk dihubungkan langsung dengan VoC (*Voice of Customer*). Konsep yang ditemukan kemudian direalisasikan ke dalam sebuah *product design* dengan pertimbangan dari sisi desainer. Desain yang telah ada kemudian dilanjutkan sampai dengan desain akhir yang siap untuk dilakukan proses manufaktur. Desain akhir tersebut kemudian masuk pada tahap manufaktur atau tahap realisasi desain.

2.2.5. Standar dan Kode Etik yang Digunakan dalam Perancangan

Perancangan idelanya memiliki standar-standar yang harus dipatuhi serta kode etik yang harus diperhatikan ketika bersangkutan dengan suatu pihak atau instansi. Standar tersebut dapat berupa peraturan-peraturan yang bertujuan agar suatu produk atau jasa yang dirancang dapat berjalan dengan baik sesuai dengan tujuan utamanya. Standar pertama yang digunakan adalah ISO 13485:2016. Standar ISO 13485:2016 memberikan landasan praktis bagi produsen untuk menangani arahan, peraturan, dan tanggung jawab perangkat medis serta menunjukkan komitmen terhadap keselamatan dan kualitas perangkat medis. ISO 13485 bermanfaat bagi produsen perangkat medis menyangkut legalitas serta sertifikasi produk.

ISO 13485:2016 umumnya diselaraskan dengan ISO 9001 dan perbedaan dasarnya adalah bahwa ISO 9001 mengharuskan produsen untuk menunjukkan peningkatan berkelanjutan, sedangkan ISO 13485:2016 mengharuskan perusahaan untuk menunjukkan sistem manajemen mutu untuk perangkat medis yang diterapkan dan dipertahankan secara efektif. Standar ISO 13485:2016 didasarkan pada pendekatan model proses ISO 9001:2015. Standar ISO 13485:2016 adalah pendekatan berbasis proses yang mendefinisikan, menerapkan, dan meningkatkan efektivitas sistem manajemen mutu yang diharapkan oleh pelanggan dan persyaratan peraturan. Tujuan utama ISO 13485:2016 adalah untuk memfasilitasi persyaratan peraturan perangkat medis yang selaras untuk sistem manajemen mutu.

Kode etik yang dipakai dalam perancangan adalah UU ITE Pasal 45 Ayat 1 dan Ayat 2, penyebaran berita bohong dan pemaksaan. Segala kegiatan pengambilan data tidak dilakukan secara memaksa dan terpaksa atas persetujuan pihak - pihak yang bersangkutan. Waktu dan tempat pengambilan data juga seturut persetujuan pihak yang bersangkutan, sehingga tidak ada unsur keterpaksaan dalam proses pengambilan data.

2.2.6. Biomekanika

Secara umum, biomekanik berkaitan dengan penerapan mekanika klasik untuk berbagai masalah biologis. Biomekanik menggabungkan bidang mekanika teknik dengan bidang biologi dan fisiologi. Pada dasarnya, biomekanik berkaitan dengan tubuh manusia. Dalam biomekanik, prinsip-prinsip mekanika diterapkan pada konsepsi, desain, pengembangan, serta analisis peralatan dan sistem dalam

biologi dan kedokteran. Pada dasarnya, biomekanik adalah ilmu multidisiplin yang berkaitan dengan penerapan prinsip-prinsip mekanik pada tubuh manusia yang bergerak dan diam (Nihat Özkaya *et al*, 2017).

Meskipun biomekanik adalah bidang yang relatif muda dan dinamis, sejarahnya dapat ditelusuri kembali ke abad kelima belas, ketika Leonardo da Vinci (1452-1519) mencatat pentingnya mekanika dalam studi biologinya. Sebagai hasil dari kontribusi para peneliti di bidang biologi, kedokteran, ilmu dasar, dan teknik, bidang interdisipliner biomekanik telah berkembang dengan mantap dalam lima dekade terakhir.

Berbagai aspek biomekanik menggunakan konsep dan metode mekanika terapan yang berbeda. Sebagai contoh, prinsip-prinsip statika diterapkan untuk menentukan besarnya dan sifat gaya yang terlibat dalam berbagai sendi dan otot sistem muskuloskeletal. Prinsip-prinsip dinamika digunakan untuk deskripsi gerak dan memiliki banyak aplikasi dalam mekanika olahraga. Prinsip-prinsip mekanika deformasi. Pendahuluan 5 badan menyediakan alat yang diperlukan untuk mengembangkan lapangan dan persamaan konstitutif untuk bahan dan sistem biologis, yang pada gilirannya digunakan untuk mengevaluasi perilaku fungsional mereka dalam kondisi yang berbeda. Prinsip-prinsip mekanika fluida digunakan untuk menyelidiki aliran darah dalam sistem peredaran darah manusia dan aliran udara di paru-paru.

Mekanika teknik didasarkan pada mekanika Newton di mana konsep dasarnya adalah panjang, waktu, dan massa. Ini adalah konsep absolut karena mereka independen satu sama lain. Panjang adalah konsep untuk menggambarkan ukuran secara kuantitatif. Waktu adalah konsep untuk mengatur alur peristiwa. Massa adalah sifat semua materi dan merupakan ukuran kuantitatif inersia. Inersia adalah resistensi terhadap perubahan gerak materi. Inersia juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan tubuh untuk mempertahankan keadaan istirahat atau gerak seragam. Biomekanik didefinisikan sebagai studi tentang pergerakan makhluk hidup dengan menggunakan ilmu mekanika (Hatze, 1974). Mekanika adalah cabang fisika yang berkaitan dengan deskripsi gerak dan bagaimana gaya menciptakan gerak. Kekuatan yang bekerja pada makhluk hidup dapat menciptakan gerakan, menjadi stimulus yang sehat untuk pertumbuhan dan perkembangan, atau membebani jaringan, menyebabkan cedera. Biomekanik menyediakan alat konseptual dan matematika yang diperlukan untuk memahami

bagaimana makhluk hidup bergerak dan bagaimana profesional kinesiologi dapat meningkatkan gerakan atau membuat gerakan lebih aman.

Bagian tubuh *Columna vertebralis region lumbal* membentuk sudut lumbosakral joint atau disebut juga dengan sudut *furgison*. Sudut tersebut adalah sudut yang terbentuk oleh *vertebra lumbal* lima terhadap *vertebra sacral*. Sekitar 1,75% gerakan punggung yaitu fleksi dan ekstensi terjadi pada lingkup sudut tersebut. Berdasarkan sudut mekanika, *vertebra lumbal* merupakan unit struktural dalam berbagai sika tubuh dan gerakan. Sudut normal *lumbo sakral joint* yaitu 30°, semakin besar sudut maka semakin besar pula gaya luncur yang dihasilkan. *Joint* tersebut memiliki gerakan fleksi-ekstensi, lateral fleksi, dan rotasi (Oliveira, 2012). Berikut merupakan gerakan yang terjadi pada *lumbo sacral joint* :

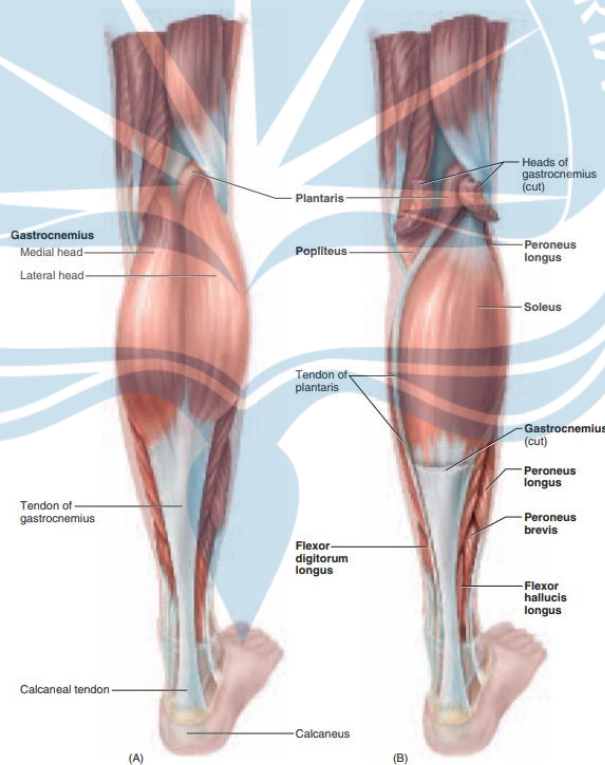
- a. Gerakan *fleksi vertebra* , gerakan tersebut terbentuk di bidang *sagital*. Ukuran sudut normal dari gerakan gerakan tersebut berikisar pada 80°. Grup otot yang menjadi motor penggerak utamanya yaitu *m.rectus abdominis*, dibantu oleh *m.obliquus externus abdominis*, *m. obliquus internus abdominis*, *m. psoas mayor*, dan *m. psoasminor* (Wiliam, 2011).
- b. Gerakan *ekstensi* terbentuk pada gerakan bidang *sagital*. Ukuran sudut normal yang terbentuk pada gerakan ini adalah 25°, didukung oleh otot utama sebagai penggerak yaitu grup otot *ekstensor* yang terdiri dari *m.lliocostalis* dan *m.longismus thoracalis*. Gerakan ini mengakibatkan *corpus* dari *vertebra* terangkat dan bergerak ke *posterior* mengakibatkan bertambahnya ketebalan diskus bagian *anterior* dan berkurangnya ketebalan bagian *posterior*. Gerakan ini dibatasi oleh *ligament longitudinal anterior* (Neuman, 2013).
- c. Gerakan lateral *fleksi* adalah gerakan yang terjadi pada *corpus* di sisi *lateral* yang mendekat dan menjauh pada sisi kontralateral. Gerakan rotasi daerah lumbal terjadi sekitar 2° persegmen karena dibatasi oleh *facet anticularis* dan *vertebra*, *ligament intertransversum*, dan *ligament flavum*. Gerakan tersebut terbentuk di bidang *sagital*, dengan normal yang terbentuk sekitar 25° (Sidharta, 2012).
- d. Gerakan rotasi, gerakan tersebut terbentuk saat ROM panggul keatas, sehingga menghasilkan gerakan yang relatif pada *vertebra superior* ke kiri, dan prosus spinosus ke kanan sebaliknya dengan rotasi kekanan, pada saatrotasi terutama gerakan osteokinematik dari *vertebra* sekitar sumbu serviks yang digabungkan dengan sisi *ipsilateral* yang membungkuk (Dutton, 2016).

2.2.7. Anatomi Sistem Gerak Kaki Manusia

Manusia mengandalkan otot dan tulang untuk melakukan gerak fungsional serta dukungan saraf untuk melakukan gerak seperti duduk dan berdiri serta berjalan dan berlari. Gerak tersebut menghasilkan kecepatan dari kerjasama antara tulang, otot dan persendian tulang. Kecepatan adalah hasil kecepatan gerakan dari kontraksi otot secara cepat dan kuat (*powerfull*) melalui gerakan yang halus (*smooth*) dan efisien (*efficient*). Berdasarkan fungsi saat melakukan gerak fungsional, otot dapat dibagi menjadi tiga kelompok berbeda yang bekerja secara berkesinambungan (Zafar,2010). Berikut adalah tiga otot tersebut :

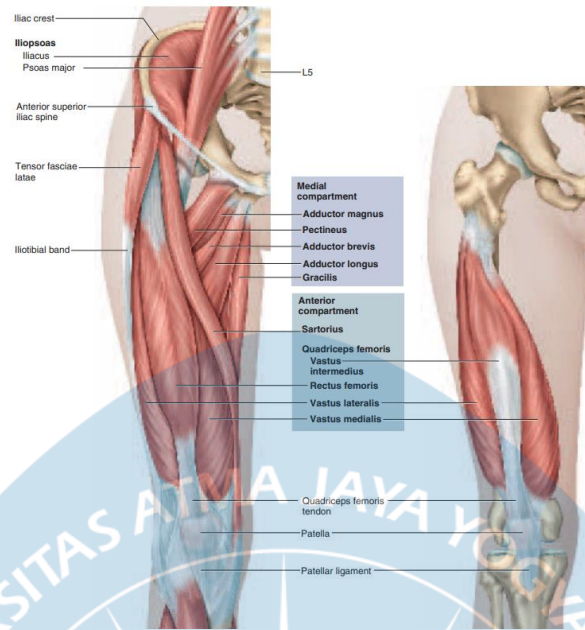
a. Otot Primer

Otot primer merupakan otot utama yang digunakan saat melakukan gerak fungsional,otot tersebut meliputi yaitu: *Tibialis anterior,biceps femoris,gastrocnemius medialis,rectus femoris,vastus lateralis*, dan *gluteus maximus* (Rodrigo,2014).

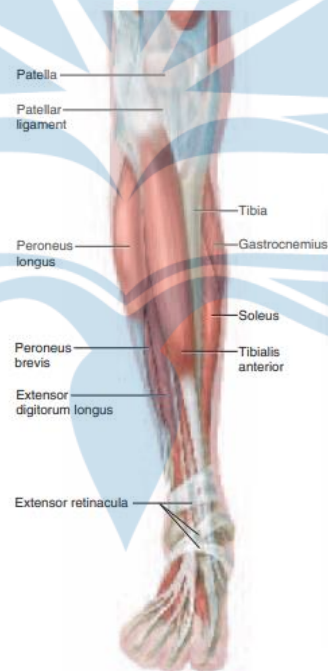


Gambar 2.5. Otot Gastrocnemius

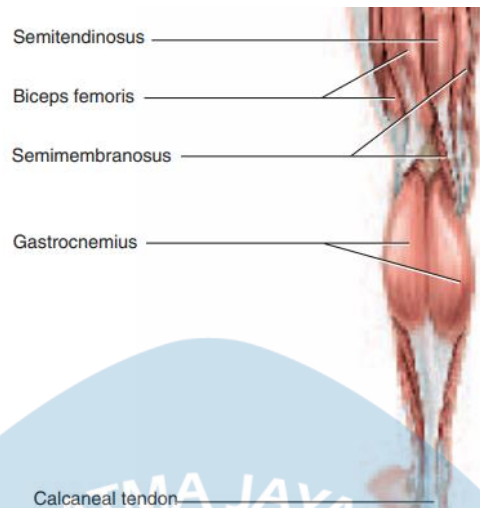
(Sumber :Eder *et al*, 2003:93)



Gambar 2.6. Otot *Rectus Femoris* dan *Vastus Lateris*
(Sumber :Eder et al, 2003:89)

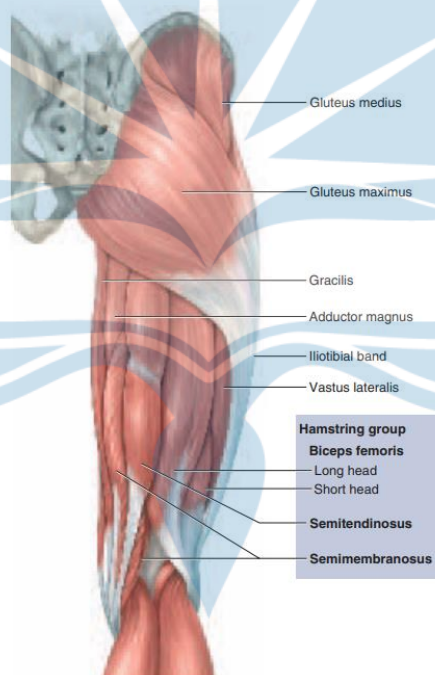


Gambar 2.7. Otot *Tibialis Anterior*
Sumber :Eder et al, 2003:92)



Gambar 2.8. Otot *Biceps Femoris*

(Sumber :Eder *et al*, 2003:73)



Gambar 2.9. Otot *Gluteus*

(Sumber :Eder *et al*, 2003:91)

b. Otot Pendukung

Otot pendukung adalah otot yang dapat membantu gerak otot primer sehingga menghasilkan gerakan yang lebih efisien, yaitu: otot biceps dan abdominal. Posisi

tangan yang ditekuk hingga 90 derajat saat mengayun akan meningkatkan kecepatan lari. Kemudian posisi otot perut yang aktif akan membuat postur tubuh saat berlari sejajar dengan kaki. Postur tubuh yang tepat akan memengaruhi kecepatan dan keamanan saat berlari.

c. Otot Tambahan

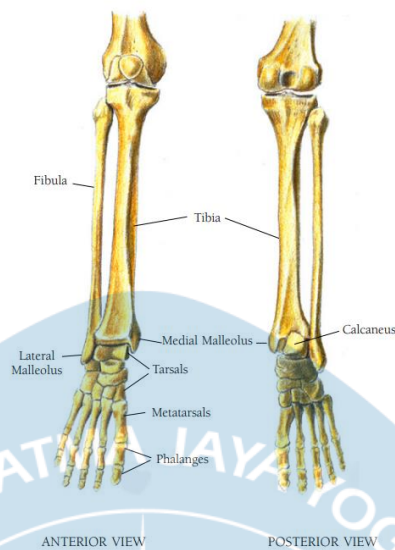
Otot tambahan adalah otot yang menunjang kerja otot utama dan pendukung agar dapat berfungsi lebih baik lagi, yaitu otot *intercostalis* eksternal dan internal. Otot-otot ini bekerja saat tubuh melakukan proses respirasi. Pengaturan pernapasan saat melakukan aktivitas seperti gerak fungsional berjalan atau berlari sangat berpengaruh pada perform. Sebagai contoh ketika seorang pelari mulai terengah-engah (kelelahan) akibat oksigen yang tersedia tidak tercukupi, maka performa pelari akan menurun.



Gambar 2.10. Otot Tambahan

(Sumber :Eder *et al*, 2003:81)

Selain otot yang mendukung kekuatan penggerak tubuh manusia, susunan tulang dan rangka juga sangat berpengaruh pada sistem gerak terlebih gerak fungsional. Terdapat berbagai tulang dalam tubuh manusia, salah satunya adalah tulang kering atau yang dikenal sebagai tulang tibia, merupakan tulang kedua terbesar pada bagian tungkai kaki. Beberapa fungsi tulang tibia adalah sebagai penyambung lutut dan pergelangan kaki, sebagai penyangga otot tungkai kaki, sebagai penyangga berat badan, untuk menjaga keseimbangan tubuh, serta menjadi penggerak pergelangan kaki (Healthline, 2017). Gambar tulang kaki dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Tulang Kaki Manusia

(Sumber : Virginia C.,1999:158)

Tulang utama tungkai bawah adalah tibia dan fibula. Tibia adalah tulang yang sering disebut tulang kering. Bentuknya pada penampang segitiga, dengan sisi posterior menjadi dasar segitiga. Tulang kering tidak terlindungi oleh otot, itulah sebabnya tendangan di tulang kering sangat menyakitkan. Fibula adalah tulang yang lebih kecil dan itu adalah tulang lateral atau luar dari keduanya. Ujung distalnya, yang disebut malleolus lateral, membentuk tulang pergelangan kaki. Kaki bagian bawah tidak dapat berputar seperti lengan bawah. Gerakan kaki dari sisi ke sisi dan rotasi di tungkai bawah jauh lebih terbatas daripada di lengan. Gerakan utama semuanya dalam satu baris, secara komparatif. Fungsi kaki berkaitan dengan berdiri, menstabilkan tubuh, dan memungkinkan penggerak. Orang-orang yang kehilangan penggunaan lengan dan tangan mereka atau yang tidak pernah memilikinya, mampu mengembangkan ketangkasan yang luar biasa dengan kaki dan kaki mereka, tetapi itu tidak datang secara alami. Selain otot dan tulang, terdapat syaraf yang mendukung pergerakan tubuh manusia termasuk kaki. Secara umum, peran saraf tepi adalah untuk menghubungkan respons dari sistem saraf pusat ke organ tubuh dan bagian lain di tubuh. Saraf ini membentang dari pusat saraf ke bagian eksternal tubuh, menjadi jalur untuk mengirimkan serta menerima rangsangan dari dan ke otak. Masing-masing dari dua bagian dalam susunan saraf tepi, yakni somatik dan otonom, memiliki fungsi yang berbeda.

Berikut adalah penjelasan mengenai peran komponen-komponen dalam sistem saraf tepi:

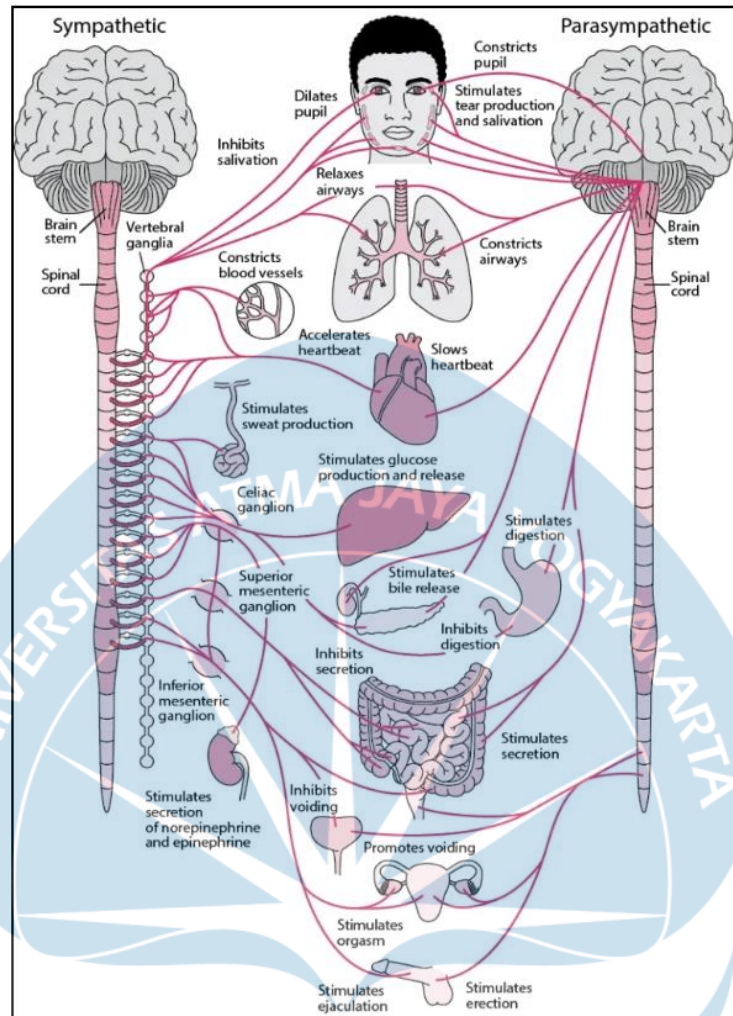
a. Sistem saraf somatik

Sistem saraf somatik berperan dalam mengontrol hal-hal yang sadar dan secara sadar memengaruhi respon tubuh, seperti menggerakkan lengan, kaki, dan bagian tubuh lainnya. Fungsi saraf ini mengirimkan informasi sensorik dari kulit, organ indera, atau otot ke pusat saraf. Selain itu, saraf somatik juga membawa tanggapan dari otak untuk menghasilkan respon berupa gerakan.

Misalnya, saat Anda menyentuh permukaan panas, saraf sensorik membawa informasi ke otak bahwa itu adalah sensasi panas. Setelahnya, saraf motorik membawa instruksi dari otak ke tangan untuk segera menghindari dengan menggerakkan, melepas, atau menarik tangan dari permukaan yang panas tersebut. Keseluruhan proses ini terjadi dalam hitungan detik.

b. Sistem saraf otonom

Sebaliknya, sistem saraf otonom mengendalikan aktivitas yang terjadi tanpa sadar atau tanpa perlu kesadaran. Sistem ini selalu aktif untuk mengatur berbagai aktivitas seperti pernapasan, detak jantung, dan proses metabolisme tubuh. Dua bagian dari sistem ini, pertama adalah saraf simpatik, yang mengatur respons perlawanan dalam tubuh saat ada ancaman. Sistem ini juga mempersiapkan tubuh untuk mengeluarkan energi dan menghadapi potensi ancaman di lingkungan. Misalnya, saat merasa cemas atau takut, saraf simpatik akan merespons dengan mempercepat detak jantung, meningkatkan laju pernapasan, meningkatkan aliran darah ke otot, mengaktifkan kelenjar keringat, dan melebarkan pupil mata. Semua ini memungkinkan tubuh untuk merespons cepat dalam situasi darurat. Bagian kedua adalah sistem saraf parasimpatik, yang bertujuan menjaga fungsi normal tubuh setelah ancaman berlalu. Setelah ancaman hilang, sistem ini akan memperlambat detak jantung, memperlambat pernapasan, mengurangi aliran darah ke otot, dan menyempitkan pupil mata. Ini membantu mengembalikan tubuh ke kondisi normal. Sistem saraf *otonom* dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Sistem Saraf Otonom

(Sumber : Microbiologynote)

2.2.8. Metode Penanganan Fisioterapi Kaki

Fisioterapi memiliki berbagai macam metode dengan penyesuaian tertentu sesuai dengan kebutuhan terapi atau kelainan tubuh yang akan diperbaiki sistem motoriknya. Berikut adalah beberapa metode penanganan fisioterapi dengan kelainan kaki :

a. Terapi listrik berbasis TENS (*Trancutaneous Electrical Nerve Stimulation*)

TENS adalah metode fisioterapi yang menggunakan listrik berdaya kecil untuk menstimulasi saraf-saraf motorik di otot agar kembali aktif. Terapi ini juga dapat mengurangi rasa nyeri pada otot-otot paska trauma. Terapi listrik dilakukan dengan menghubungkan kabel daya dari mesin ke kulit. Namun, pastikan daya listriknya tidak terlalu tinggi. Alih-alih bermanfaat, daya listrik yang terlalu besar malah dapat merusak saraf-saraf kecil. Risiko terapi listrik lainnya yang dapat

terjadi adalah iritasi kulit akibat adanya luka bakar kecil. Pengaturan frekuensi dan intensitas yang tepat pada metode TENS dapat memberikan stimulasi mulai dari tingkat seluler sampai dengan ketingkat sistemik (Patel *et al*,2016).

b. Terapi *Infrared*

Infrared adalah radiasi elektromagnetik berasal dari panjang gelombang yang lebih panjang dari gelombang cahaya tampak. Gelombang tersebut lebih pendek dari radiasi gelombang radio. *Infrared* berasal dari kata *infra*, dalam bahasa latin artinya “bawah”, jadi *infrared* artinya “bawah merah”. Merah merupakan warna dari cahaya tampak dengan panjang gelombang terpanjang. Sinar *infrared* untuk terapi dapat menggunakan sinar matahari dan sinar buatan (Maria Rosa E, 2021). Mekanisme pengurangan nyeri lokal terjadi dengan modalitas infrared pada *posterior cervical* (leher belakang) juga daerah yang mengalami parastesis. Efek *terapeutik infrared* berupa relaksasi otot, mengurangi nyeri, dan meningkatkan suplai darah. Sehingga sisa-sisa metabolisme yang merupakan zat penyebab nyeri akan ikut terbuang (Al Mahdi, 2016).

c. Terapi Robot *Exoskeleton*

Robot rehabilitasi merupakan robot yang secara langsung melayani manusia, memiliki prospek aplikasi yang luas dalam terapi rehabilitasi dengan persyaratan profesional yang tinggi. Robot *exoskeleton* rehabilitasi *lower limb* mengintegrasikan penginderaan, kontrol, dan teknologi. Robot tersebut juga mengadopsi karakteristik bionik, robotika, ilmu informatika, kedokteran, dan bidang interdisipliner lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan luar biasa telah dicapai dalam desain mekanis dan desain sistem kontrol, berdasarkan itu, beberapa produk telah dikomersialkan. Namun, masih ada kesenjangan penelitian yang besar sehubungan dengan integrasi manusia-robot (Di Shi *et al*,2019:8). Rehabilitasi berbasis robot belum banyak diterapkan karena terhalang biaya pengadaan alat yang sangat tinggi. Robot ini juga masih dalam tahap penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil terbaik.

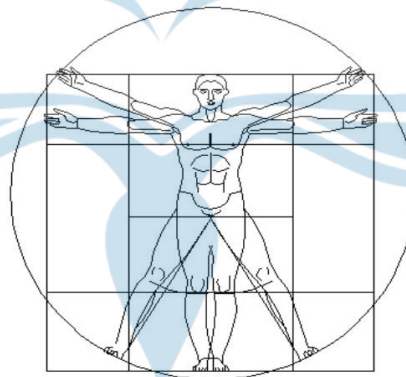
Berdasarkan ketiga metode fisioterapi di atas, masih banyak celah kekurangan kaitannya dengan proses terapi. Pasien diklasifikasikan sesuai dengan terapi yang dibutuhkan. Terapi pemulihan *soft motoric* seperti pasca *stroke*, biasanya memerlukan terapi pemulihan *gross motoric* untuk melatih gerak fungsional seperti jongkok, berdiri lalu berjalan. Pelatihan dilakukan berulang-ulang sampai mendekati fungsi tubuh manusia normal. Penggunaan alat bantu seperti sepeda

statis dapat membantu pemulihan fungsi *gross motoric* pasien serta dapat melatih daya otot kaki (Sang-I Lin *et al*,2012).

2.2.9. Antropometri

Antropometri berasal dari kata Latin "anthropos" yang berarti manusia, dan "metron" yang berarti pengukuran. Oleh karena itu, antropometri memiliki makna sebagai pengukuran dimensi tubuh manusia (Bridger, 1995). Dalam perspektif yang lain, Pulat (1992) mendefinisikan antropometri sebagai ilmu yang mempelajari dimensi tubuh manusia. Lebih lanjut, Tayyari dan Smith (1997) menjelaskan bahwa antropometri merupakan studi yang erat kaitannya dengan dimensi serta karakteristik fisik spesifik dari tubuh manusia, seperti berat, volume, pusat gravitasi, sifat inersia segmen tubuh, dan kekuatan kelompok otot.

Sanders dan Mc.Cormick (1987) juga mengemukakan bahwa antropometri adalah pengukuran dimensi tubuh atau atribut fisik lainnya yang relevan dalam perancangan objek yang digunakan oleh manusia. Dengan memahami dimensi tubuh pekerja, memungkinkan perancangan peralatan kerja, stasiun kerja, serta produk sesuai dengan ukuran tubuh pekerja, dengan tujuan menciptakan kenyamanan, menjaga kesehatan, dan meningkatkan keselamatan kerja. Berikut Gambar 2.13, proporsi tubuh manusia pada posisi tangan dan kaki merentang.



Gambar 2.13. Proporsi Tubuh Manusia

(Sumber: Panero dan Zelnik, 1979)

Pengukuran antropometri untuk mendekati dimensi suatu komponen produk atau alat ditetapkan berdasarkan penggunaan persentil. Tayyari dan Smith (1997) menjelaskan bahwa persentil merupakan angka yang mencerminkan proporsi tertentu dari individu yang memiliki dimensi kurang dari atau setara dengan nilai tersebut. Dalam konteks perancangan, penggunaan persentil penting untuk

menetapkan kisaran dimensi yang diterapkan dalam rancangan produk. Ini memungkinkan produk disesuaikan dengan dimensi tubuh manusia sesuai dengan nilai persentil yang diacu dan ukuran yang berada di bawahnya. Cara menghitung persentil diterangkan dalam Tabel 2.3. (Nurmianto, 1998).

Tabel 2.3. Perhitungan Persentil

Persentil	Perhitungan
1	$\bar{x} - 2,325 \times \sigma$
2,5	$\bar{x} - 1,960 \times \sigma$
5	$\bar{x} - 1,645 \times \sigma$
10	$\bar{x} - 1,280 \times \sigma$
50	$\bar{x}$
90	$\bar{x} + 1,280 \times \sigma$
95	$\bar{x} + 1,645 \times \sigma$
97,5	$\bar{x} + 1,960 \times \sigma$
99	$\bar{x} + 2,325 \times \sigma$

Persentil adalah nilai yang dihasilkan dari membagi sejumlah observasi menjadi seratus (100) segmen yang setara. Persentil dinyatakan sebagai P1, P2, P3, P4, ... P99, yang menunjukkan bahwa 1% dari keseluruhan data berada di bawah P1, 2% di bawah P2, dan seterusnya (Purnomo H.,2013).

2.2.10. Keunikan Penelitian

Metode yang digunakan untuk membuktikan bahwa alat bantu terapi gerak kaki yang dirancang dapat menstimulasi gerak fungsional kaki adalah dengan pengujian berbasis simulasi dengan pendekatan biomekanika. Pengujian dilakukan dengan menghitung gaya serta torsi yang bekerja pada pedal ketika diberi beban berskala mulai dari 1 sampai 10 kg dengan sudut-sudut istimewa. Pengujian juga dilakukan pada kaki pasien yang akan menggunakan alat dengan cara menghitung resultan gaya serta torsi yang bekerja pada kaki dengan sudut-sudut istimewa. Perhitungan gaya dan torsi pada pedal serta kaki pasien dapat menjadi parameter apakah alat dapat menstimulasi kaki dan seberapa jauh dapat menstimulasi kaki pasien.

Berdasarkan penelitian terdahulu, pengujian dengan simulasi biomekanika belum pernah dilakukan. Pengujian yang digunakan pada penelitian terdahulu rata-rata menggunakan pengujian secara langsung pada pasien dengan menggunakan alat.

Penelitian yang dilakukan oleh M.H. Rahman *et al.* (2014) merancang sebuah alat untuk latihan lengan yang dirancang *wearable* untuk mendukung latihan pasien. Pengujian alat dilakukan dengan menguji langsung pada calon pasien. Robot tersebut dinamakan Motion Assistive Robotic-Exoskeleton for Superior Extremity (ETS-MARSE). Penelitian selanjutnya Jiaoying J, *et al* (2018) di mana penelitian tersebut membahas tentang terapi berbasis robot dengan bantuan *virtual reality*. Pengujian yang dilakukan pada penelitian tersebut adalah dengan melatih secara berulang-ulang pada titik vital yang dituju. Hasil dari latihan secara berulang tersebut menunjukkan pasien dapat sembuh lebih cepat, akan tetapi pada *golden period*,

