

Penentuan Kriteria Performansi pada Eksternal Fiksator Berbasis Hexapod Menggunakan Delphi dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Durkes Herlina Apriani^{*}), Ilham Priadythama dan Lobes Herdiman

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36^a Jebres, Surakarta, 57126, Indonesia

DOI: 10.20961/performa.18.1.18968

Abstrak

Fixator eksternal adalah perangkat medis untuk mendukung tulang yang memerlukan koreksi karena cacat atau patah tulang. Fixator eksternal dengan sistem hexapod adalah perangkat yang tepat untuk koreksi deformitas kompleks karena kemampuannya untuk memperbaiki tulang dalam tiga dimensi. Ada banyak produk fixator hexapod eksternal yang dijual secara komersial dengan desain yang bervariasi. Sejauh ini, tingkat keberhasilan fiksator hanya ditinjau dari hasil akhir pada koreksi tulang dan spesifikasi kerangka untuk pengujian biomekanik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kriteria untuk fixator eksternal dan menentukan tingkat kepentingan antara kriteria. Penentuan kriteria dan peringkat kepentingan dilakukan oleh Delphi dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Hasil penelitian ini menunjukkan ada empat kriteria utama untuk fixator eksternal dari setiap penilaian kriteria. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan lebih lanjut produk fixator eksternal berbasis hexapod.

Keywords: external fixator, hexapod, performance, delphi, analytical hierarchy process

Abstract

An external fixator is a medical device to support bones that require correction due to a defect or fracture. An external fixator with a hexapod system is the right device for correction of complex deformities because of its ability to repair bone in three dimensions. There are many external hexapod fixator products that are sold commercially with varied designs. So far, the success rate of fixators has only been reviewed from the final results on bone correction and frame specifications for biomechanical testing. This study aims to determine the criteria for an external fixator and determine the level of importance between the criteria. Determination of criteria and ranking of interests is carried out by Delphi and *Analytical Hierarchy Process* (AHP). The results of this study indicate that there are four main criteria for external fixators for each criterion assessment. The benefit of this research is to further develop hexapod based external fixator products.

Keywords: external fixator, hexapod, performance, delphi, analytical hierarchy process

1. Pendahuluan

Tulang berfungsi sebagai alat gerak pasif pada manusia, meskipun tulang mempunyai karakteristik kuat dan lentur, tulang pun mengalami fraktura atau gangguan deformitas berupa kelainan yang memungkinkan bentuk tulang menjadi tidak normal (Shapiro, 2019). Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2017, rata-rata jumlah kecelakaan lalu lintas di Indonesia antara tahun 2011-2015 sebanyak 104.325 kasus dengan rata-rata penderita luka berat akibat kecelakaan tersebut sebesar 30.841 kasus. Diantara pasien luka berat ini, terdapat pasien yang mengalami fraktur berat. Fraktur ini cukup sulit untuk ditangani karena deformitas yang terjadi sudah kompleks sehingga permasalahan ini memerlukan perhatian lebih. Upaya untuk mengkoreksi tulang yang mengalami deformitas kompleks ini, hanya dapat dilakukan dengan operasi rekonstruksi tulang. Proses rekonstruksi tulang merupakan cara penarikan jaringan tulang dalam kondisi terkontrol menggunakan peralatan medis berupa alat bantu eksternal fiksator (Rozbruch, 2006; Solomin, 2012).

Masalah pada proses rekonstruksi tulang muncul pada saat pemilihan eksternal fiksator, hal ini merupakan bagian penting dalam menentukan keberhasilan operasi rekonstruksi tulang. Penanganan pasien deformitas kompleks, pemilihan eksternal fiksator yang tepat untuk mendukung proses rekonstruksi tulang pada arah tiga dimensi (Koren, Keren dan Eidelman, 2016). Fungsi eksternal fiksator tipe circular

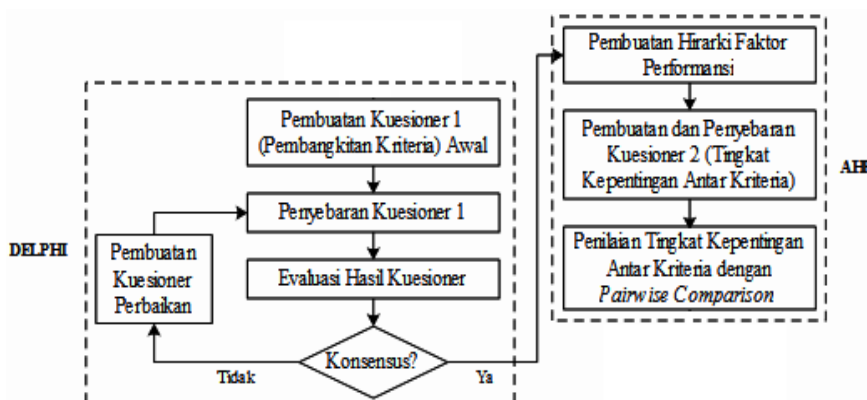
^{*}Korespondensi : durkeshherlina@gmail.com

memanfaatkan seperti sistem hexapod *stewart platform*. Beberapa produk komersial eksternal fiksator berbasis hexapod digunakan oleh dokter orthopedi seluruh mancanegara dalam mengkoreksi deformitas kompleks. Keberhasilan produk eksternal fiksator berbasis hexapod di desain agar menghasilkan performansi yang baik. Perancangan eksternal fiksator mempunyai beberapa kriteria pada performansi produk dalam mengkoreksi tulang pasien (Blondel dkk., 2009; Solomin dkk., 2014), karakteristik mekanis frame dalam pengujian biomekanik (Tan dkk., 2014; Skomoroshko dkk., 2015). Namun hingga saat ini masih belum ada penelitian lebih lanjut mengenai kriteria lain selain ke dua hal di atas. Penelitian mengenai kriteria lain ini perlu dilakukan untuk mengetahui performansi fiksator dengan pe-nilaiian dari seberapa penting satu kriteria terhadap kriteria yang lain. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menentukan kriteria performansi dan tingkat kepentingan antar kriteria yang mem-berikan pengaruh pada pasien yang diperlukan dalam proses rekonstruksi tulang.

Penentuan kriteria dengan tingkat kepentingan pada penelitian ini menggunakan Delphi dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode Delphi digunakan dalam penentuan kriteria yang berpengaruh dari performansi fiksator berdasarkan masukan dari kelompok pakar melalui serangkaian iterasi kuesioner hingga *feedback* untuk mencapai hasil konsensus. Metode Delphi digunakan untuk menghindari dominansi anggota dari tim pakar dan memberikan waktu yang cukup dalam mempertimbangkan faktor performansi fiksator (Marimin, 2004). Sedangkan metode AHP digunakan untuk menguraikan berbagai kriteria dalam satu hirarki performansi, kemudian dilakukan penilaian seberapa penting satu faktor terhadap faktor lain dalam suatu nilai konkrit. Penilaian ini penting karena dapat berpengaruh pada prioritas tiap elemen faktor (Saaty, 2008). Penentuan kriteria performansi fiksator beserta tingkat kepentingannya ini dapat digunakan untuk menilai seberapa besar keberhasilan antar produk satu dengan produk lain dan untuk menilai desain fiksator baru. Oleh karena itu penelitian ini berguna untuk pengembangan produk eksternal fiksator berbasis hexapod.

2. Metodologi

Metodologi dalam menentukan kriteria performansi dan tingkat kepentingan antar kriteria dari eksternal fiksasi dilakukan secara sistematis, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi untuk Menentukan Kriteria Performansi dan Tingkat Kepentingan Antar Kriteria

2.1 Metode Delphi Dalam Menentukan Kriteria Performansi Eksternal Fiksator

Pembangkitan kriteria performansi menggunakan metode Delphi yang berguna untuk me-ngumpulkan pendapat dari tim pakar sebagai responden melalui serangkaian pertanyaan berupa kuesioner, di mana mekanisme *feedback* melalui iterasi pertanyaan yang dilakukan hingga *feedback* yang dihasilkan untuk mencapai hasil konsensus (Masser dan Foley, 1986). Kuesioner awal dibuat berupa kriteria dan sub kriteria performansi berdasarkan studi literatur yang disampaikan pada responden sebagai kuesioner iterasi ke-1. Kuesioner yang sudah diisi oleh responden dikembalikan pada peneliti untuk diolah dan diringkaskan agar dihasilkan kuesioner iterasi ke-2 dan kemudian akan diisi kembali oleh responden. Menurut Fink dkk. (1984) menyatakan bahwa proses iterasi ini dilakukan hingga *feedback* yang dihasilkan mencapai hasil yang konsensus atau tidak ada perubahan kriteria dan sub kriteria dari setiap responden yang dirujuk sebagai tim pakar.

Marimin (2004) menjelaskan bahwa penentuan responden pada metode Delphi adalah sekelompok ahli, di mana pengisian kuesioner diadakan sambil menjaga anonimitas tanggapan ahli dan mencegah pengaruh besar satu anggota dengan lainnya. Oleh karena itu, responden yang dilibatkan yaitu dua orang praktisi dalam bidang perancangan fiksator eksternal. Respon-den lain berjumlah dua orang dengan alasan bahwa penentuan responden dilakukan dari pe-mahaman responden mengenai pengoperasian eksternal fiksator secara mekanis.

Peneliti tidak memasukkan calon responden yang tidak memenuhi persyaratan untuk menghindari kesalahan dalam pengisian kuesioner.

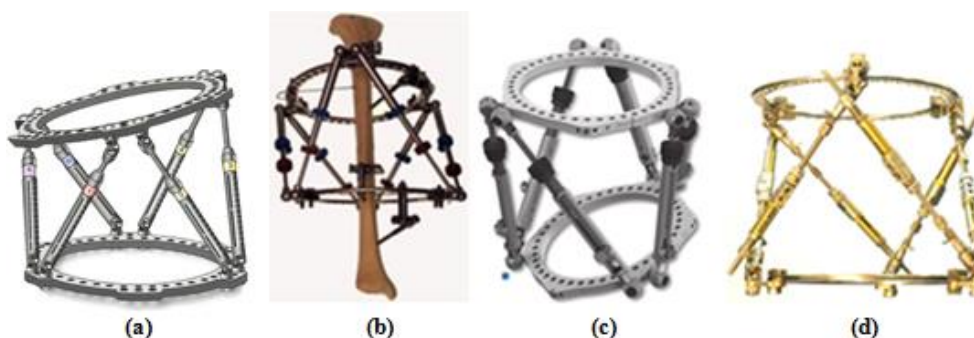
2.2 Metode AHP Dalam Penilaian Tingkat Kepentingan Antar Kriteria

Kriteria yang telah dibangkitkan selanjutnya dinyatakan dalam bentuk hirarki performansi pada eksternal fiksator. Hirarki ini merupakan representasi dari sebuah masalah yang kompleks dalam suatu struktur multi level, di mana level pertama adalah tujuan dan diikuti oleh level faktor dengan kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternatif (Saaty, 2000). Pembuatan hirarki dalam diagram keputusan dilakukan agar masalah menjadi lebih terstruktur dan sistematis dan memudahkan dalam melakukan penilaian tingkat kepentingan antar kriteria (Saaty, 1990). Setelah pembuatan hirarki, selanjutnya adalah menghitung bobot kriteria performansi menggunakan *pairwise comparison* untuk mengetahui tingkat kepentingan antar kriteria dalam satu hirarki. Menurut Saaty (1993) menyatakan untuk langkah-langkah perhitungan bobot kriteria dalam metode AHP sebagai berikut:

- a. Melakukan penilaian berdasarkan tingkat-tingkat kepentingan suatu kriteria dibandingkan kriteria lainnya menggunakan kuesioner perbandingan berpasangan. Skala penilaian pada kuesioner ini menggunakan skala 1 sampai 9, karena skala ini merupakan skala terbaik dalam mengekspresikan pendapat.
- b. Responden ditentukan berdasarkan pemahamannya mengenai eksternal fiksator dan ber-lokasi di Surakarta dan sekitarnya, penentuan responden terdiri dari dokter orthopedi dari Rumah Sakit Dr. Oen Surakarta dan dua ahli dalam perancangan eksternal fiksator dari Jurusan Teknik Industri UNS Surakarta.
- c. Menghitung rataan geometrik karena responden ataupun pembuat keputusan berjumlah lebih dari satu orang.
- d. Membentuk matriks perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap masing-masing kriteria yang setingkat di atas.
- e. Menghitung nilai *eigenvector*, diawali dengan menghitung kuadrat matrik perbandingan berpasangan dengan operasi perkalian matrik.
- f. Menjumlahkan setiap baris dan melakukan normalisasi matrik.
- g. Menormalkan data yaitu dengan membagi nilai dari setiap elemen di dalam matrik yang berpasangan dengan nilai total dari setiap kolom.
- h. Menghitung selisih *eigenvector* antara iterasi pertama dan ke dua.
- i. Apabila selisih ke dua iterasi lebih dari 0,0001 maka perhitungan *eigenvector* dilanjutkan hingga mencapai hasil optimal.
- j. Menghitung nilai *eigenvector* maksimal (λ_{max}), dengan menjumlahkan baris hasil perkalian matriks perbandingan berpasangan dengan *eigenvector* iterasi optimal.
- k. Menguji konsistensi dari penilaian responden dengan menghitung nilai CI (*Consistency Index*) dan CR (*Consistency Ratio*).
- l. Nilai CR dipengaruhi oleh nilai CI dan RI (*Random Index*), jika tidak memenuhi dengan $CR \leq 0,1$ maka pengambilan data (preferensi) perlu diulangi kembali.
- m. Mengulangi langkah b hingga h untuk seluruh tingkat hirarki.

3. Hasil dan Pembahasan

Kriteria performansi dibangkitkan mulai dari studi literatur mengenai eksternal fiksator melalui studi-studi mengenai kriteria yang berpengaruh pada koreksi tulang. Produk eksternal fiksator komersial di pasaran, seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Taylor Spatial Frame, (b) Ilizarov Hexapod, (c) TL-Hex, (d) Ortho-SUV

Setelah dilakukan kajian melalui studi literatur didapatkan kriteria awal untuk desain eksternal fiksator, seperti yang dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Awal untuk Performansi Eksternal Fiksator

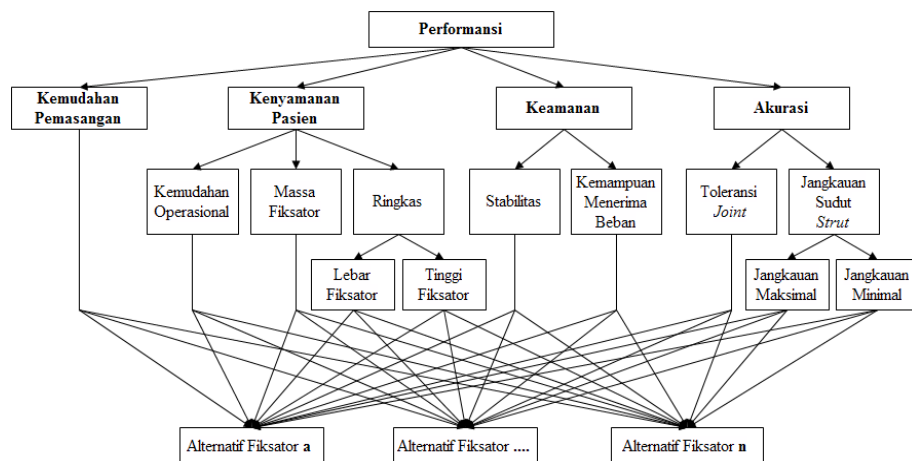
Kriteria Performansi Eksternal Fiksator
1. Toleransi <i>Joint</i>
2. Kekuatan Total Fiksator
3. Jumlah Komponen
4. Massa Fiksator
5. Kemudahan Pemasangan Fiksator
6. Kemudahan Operasional

Kriteria awal dikirimkan ke responden untuk dievaluasi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kriteria eksternal fiksator yang akan dibuat dari dua responden masih berbeda atau belum ada konsensus, sehingga perbaikan kuesioner berdasarkan dari evaluasi ini. Kuesioner hasil perbaikan disebar kembali ke responden untuk mendapatkan evaluasi dari kriteria performansi. Hasil evaluasi dinyatakan konsensus pada penyebaran kuesioner iterasi yang ke empat, sehingga kriteria pada kuesioner iterasi ke empat menjadi kriteria performansi untuk eksternal fiksator sudah dapat disebut final, seperti yang dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Penentuan Secara Final Pada Kriteria Performansi Eksternal Fiksator

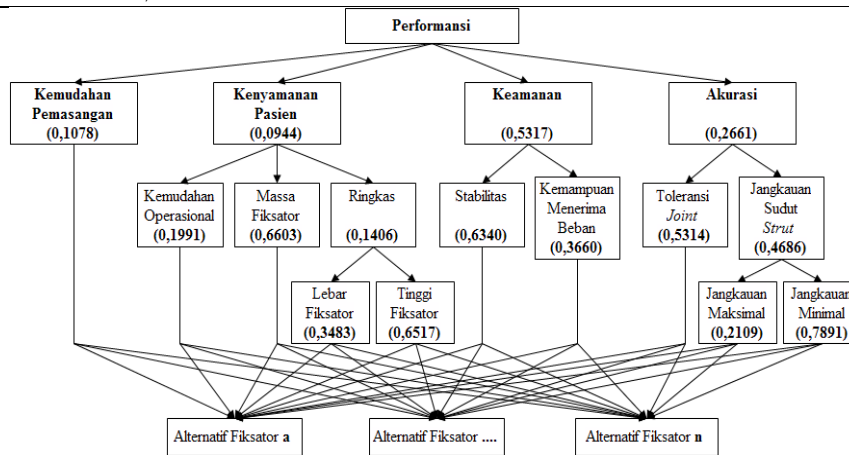
Kriteria	Subkriteria	Sub Subkriteria
1. Kemudahan Pemasangan		
2. Kenyamanan Pasien	a. Massa Fiksator b. Kemudahan Operasional c. Ringkas	- Lebar Fiksator - Tinggi Fiksator
3. Keamanan Penggunaan	a. Stabilitas b. Kemampuan Menerima Beban	
4. Akurasi Pemasangan	a. Toleransi <i>Joint</i> b. Jangkauan Sudut Strut	- Jangkauan Maksimal - Jangkauan Minimal

Kriteria performansi yang telah mencapai konsensus, kemudian dinyatakan dalam bentuk hirarki kriteria performansi, seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hirarki Kriteria Performansi Pada Eksternal Fiksator

Pembobotan kriteria performansi dilakukan untuk mengetahui tingkat kepentingan antar kriteria (Thompson dkk., 2004). Langkah awal dengan melakukan penyebaran kuesioner per-bandingsan berpasangan (*pairwise comparison*) mengenai tingkat kepentingan antar kriteria performansi. Hasil rekapitulasi kuesioner, dilakukan penilaian tingkat kepentingan antar kriteria, subkriteria dan sub subkriteria. Perhitungan matrik dilakukan terhadap tiap tingkat hirarki untuk mengetahui bobot tiap kriteria secara spesifik. Pembobotan mulai dari kriteria utama, sub-kriteria dan sub subkriteria, hasilnya seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pembobotan Kriteria Performansi Pada Eksternal Fiksator

Hasil *pairwise comparison* menunjukkan bahwa kriteria “keamanan” memiliki peranan lebih besar pada performansi eksternal fiksator. Selanjutnya kriteria “akurasi”, “kemudahan pemasangan” dan “kenyamanan pasien”. Keamanan menjadi bagian penting karena eksternal fiksator merupakan perangkat eksternal yang dipasang pada anggota tubuh pengguna hanya dengan menggunakan kawat (*wire*). Mengingat pasien diharapkan dapat berjalan atau melakukan berbagai aktivitas selama masa penggunaan frame (Schiedel dkk., 2012), maka frame berpotensi untuk terbentur benda di sekitar pasien. Frame harus memiliki keamanan yang tinggi dalam mengantisipasi terjadinya perubahan yang tidak diinginkan.

Pada kriteria “keamanan”, subkriteria “stabilitas” memiliki peran lebih besar dibanding “kemampuan menerima beban”. Kestabilan memegang peranan penting karena proses koreksi tulang dilakukan secara terkontrol pada waktu yang telah ditentukan dengan tingkat ketelitian frame hingga 1 mm. Adanya potensi benturan dapat mengubah posisi frame sehingga hasil koreksi tulang menjadi tidak sesuai target. Oleh karena itu, frame diharapkan memiliki kestabilan tinggi sehingga tidak mengalami pergeseran yang tidak diinginkan. Subkriteria “kemampuan menerima beban” juga menjadi hal yang dipertimbangkan karena frame harus mampu menahan beban dari berat rata-rata pengguna (Tan dkk., 2014).

Pertimbangan kriteria setelah “keamanan” adalah “akurasi”. Menurut Glissan (1949) menjelaskan bahwa untuk memperoleh sambungan tulang yang padat dan sempurna, diperlukan persyaratan dalam pemasangan permukaan dengan sambungan dekat dan akurat, posisi yang optimal pada *joint* tulang. Proses perawatan tidak terganggu hingga sambungan tulang dapat tercapai. Dalam mencapai syarat keakuratan pemasangan ini, maka dibutuhkan eksternal fiksator yang memiliki tingkat akurasi dengan toleransi ukuran yang tinggi. Eksternal fiksator dengan tingkat akurasi yang tinggi diharapkan resiko kesalahan koreksi tulang dapat dihindari.

Penilaian kriteria “akurasi” terdiri dari subkriteria “toleransi *joint*” dan “jangkauan sudut strut”. Subkriteria ini memiliki peran penting karena memiliki nilai yang tidak berbeda jauh. Sub-kriteria “toleransi *joint*” menjadi pertimbangan karena sistem sambungan *joint* memiliki pengaruh terhadap pergerakan strut pada frame. Penggunaan *joint* dengan toleransi antar sambungan dengan jumlahnya banyak dan ukurannya besar, kondisi ini dapat meningkatkan resiko kekocakan (*backlash*). Kejadian ini akan menimbulkan pergeseran posisi frame yang tidak diinginkan, akurasi frame dapat menurun dari posisi awal. Subkriteria “jangkauan sudut strut” menjadi pertimbangan karena jangkauan strut diharapkan dapat mengakomodasi seluruh posisi frame dalam menangani deformitas tulang. Agar mengakomodasi posisi frame yang dibutuhkan, maka “jangkauan maksimal” pada strut dijadikan pertimbangan. Sub subkriteria “jangkauan minimal” lebih dipertimbangkan karena jangkauan strut diharapkan memiliki putaran poros yang merata tanpa terhalang komponen lain yang membangun sebuah frame fiksasi.

Kriteria “kemudahan pemasangan” oleh dokter ortopedi dan “kenyamanan pasien” memiliki nilai dengan selisih sedikit dan memiliki nilai terkecil. Kriteria ini menunjukkan peran performansi frame dari kedua kriteria ini meskipun tidak besar. Pertimbangan kriteria “kemudahan pemasangan” karena dokter ortopedi, diharuskan memahami eksternal fiksator. Dokter ortopedi akan mengoperasikan fiksator baik sebelum, saat, maupun sesudah operasi (Rozbruch dan Ilizarov, 2007). Rancangan eksternal fiksator tidak menyulitkan dalam pengoperasian sehingga tidak merugikan dokter dari waktu dan meminimalkan rasa sakit pasien.

Pengembangan eksternal fiksator perlu memperhatikan pasien sebagai pengguna. Pasien berpotensi mengalami ketidaknyamanan dan keterbatasan mobilitas sebagai efek samping penggunaan eksternal fiksator. Oleh karena itu, kriteria “kenyamanan pasien” perlu dipertimbangkan. Subkriteria “massa fiksator” memiliki peran yang lebih besar dibanding subkriteria lain. Kriteria ini diperlukan karena fiksator dipasang

secara eksternal sehingga anggota tubuh pasien harus menerima beban dari berat fiksator. Fiksator diharapkan memiliki massa yang ringan supaya rasa sakit yang dialami pasien dapat diminimalkan.

Subkriteria “kemudahan operasional” dan “ringkas” memiliki peran yang sama penting karena memiliki nilai yang tidak berbeda jauh. Subkriteria “kemudahan operasional” menjadi pertimbangan karena pasien harus mampu mengoperasikan fiksator pasca operasi untuk koreksi tulang secara berkala dengan lama koreksi 3 sampai 4 bulan (Rozbruch, dan Ilizarov, 2007). Kemudahan operasional atau pemasangan oleh pasien menjadi penting untuk menghindari ter-jadinya kesalahan pemutaran strut maupun perawatan pada eksternal fiksator agar mendukung koreksi tulang secara baik. Subkriteria frame yang “ringkas” dipertimbangkan karena berpotensi pada pasien mengalami keterbatasan mobilitas sebagai efek samping penggunaan eksternal fiksator dengan dimensi cukup besar (Schiedel dkk., 2012). Oleh karena itu “lebar fiksator” dan “tinggi fiksator” yang minimum menjadi pertimbangan untuk fiksator yang lebih ringkas.

Penilaian kriteria perlu dilakukan menurut tipe, apakah kriteria bersifat subjektif atau objektif (Triantaphyllou dan Mann, 1995). Kriteria performansi eksternal fiksator diperlukan dalam penentuan penilaian kriteria. Kriteria pada produk eksternal fiksator yang berhasil dibangun memiliki tingkat kepentingan berbeda-beda terhadap performansi. Beberapa kriteria yang lebih dominan menjadi pertimbangan lebih untuk menghasilkan eksternal fiksator yang lebih baik. Kriteria dengan nilai yang lebih kecil juga perlu dijadikan pertimbangan karena tetap berpengaruh pada performansi fiksator meskipun pengaruh tidak besar.

Kriteria bersifat subjektif akan dinilai menggunakan hasil kuesioner *pairwise comparison* terhadap responden terhadap pembobotan kriteria. Kriteria bersifat objektif akan dinilai menggunakan normalisasi (Saaty, 1994) dari frame komponen fiksator (dua *ring* dan enam strut) pada posisi *zero* yang dibuat pada *software CAD (Computer Aided Design)*. Perhitungan normalisasi dilakukan bergantung pada nilai yang paling diinginkan (*most desirable value*), apakah itu nilai terbesar (*maximum value*) atau nilai terkecil (*minimum value*). Menurut Akarte dkk., 2001) menjelaskan bahwa normalisasi *maximum value* dilakukan terhadap tiap nilai dalam suatu kriteria sedangkan normalisasi *minimum value* dilakukan terhadap invers dari setiap nilai pada suatu kriteria, seperti yang dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penilaian Kriteria Performansi Eksternal Fiksator

No	Kriteria – SubKriteria	Tipe	Penilaian
1.	Kemudahan Pemasangan	Subjektif	Kuesioner perbandingan berpasangan
2.	Kenyamanan Pasien		
	○ Kemudahan Operasional	Subjektif	Kuesioner perbandingan berpasangan
	○ Massa Fiksator	Objektif (<i>Min. Value</i>)	Menghitung massa frame fiksator utama
	○ Ringkas		
	● Lebar Fiksator	Objektif (<i>Min. Value</i>)	Mengukur lebar frame dalam posisi 0
	● Tinggi Fiksator	Objektif (<i>Min. Value</i>)	Mengukur tinggi frame dalam posisi 0
3.	Keamanan		
	○ Stabilitas	Objektif (<i>Min. Value</i>)	<i>Displacement</i> desain hasil evaluasi analisis <i>Finite Element</i>
	○ Kemampuan menerima beban	Objektif (<i>Max. Value</i>)	<i>Safety Factor</i> desain hasil evaluasi analisis <i>Finite Element</i>
4.	Akurasi		
	○ Toleransi <i>Fitting Joint</i>	Objektif (<i>Min. Value</i>)	Data <i>internal clearance</i> produk sistem <i>joint</i> atau akumulasi manual <i>clearance</i> antar komponen sistem <i>joint</i>
	○ Jangkauan Sudut Strut		
	● Jangkauan minimum	Objektif (<i>Min. Value</i>)	Men-set “sudut <i>ring-strut</i> ” pada sudut minimum tanpa adanya benturan terhadap komponen frame
	● Jangkauan maksimum	Objektif (<i>Min. Value</i>)	Men-set “sudut <i>ring-strut</i> ” pada sudut maksimal yang dapat dihasilkan <i>strut</i>

Pembangkitan kriteria performansi pada produk fiksator eksternal untuk mengetahui kriteria yang memberikan pengaruh terhadap performansi. Penilaian performansi dari kriteria keamanan desain eksternal fiksator memberikan konstrubusi dibandingkan dengan kriteria lain dalam satu level. Kriteria kenyamanan pasien perlu dilakukan dikaji lebih mendalam dalam pengembangan eksternal fiksator. Besaran performansi desain eksternal fiksator dapat diketahui dari nilai *real* sehingga dokter ortopedi dapat menentukan eksternal fiksator mana yang akan digunakan untuk kasus deformitas.

4. Simpulan

Kriteria yang diperlukan dalam membuat mendesain eksternal fiksator berbasis hexapod terdiri dari kriteria utama yaitu kemudahan pemasangan, kenyamanan pasien, keamanan dan akurasi. Kriteria pendukung mendesain eksternal fiksator yaitu kenyamanan pasien meliputi kemudahan operasional, massa fiksator, dan ringkas. Kriteria ringkas yaitu lebar fiksator dan tinggi fiksator. Sedangkan kriteria keamanan yaitu stabilitas dan kemampuan menerima beban. Kriteria akurasi yaitu toleransi *joint* dan jangkauan sudut strut, di mana jangkauan sudut strut meliputi jangkauan maksimal dan jangkauan minimal.

Daftar Pustaka

- Akarte, M. M, Surendra, N. V., Ravi, B. dan Rangaraj, N. (2001), Web Based Casting Supplier Evaluation Using Analytical Hierarchy Process, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 52, pp. 511-522.
- BPS (2017), *Jumlah Kecelakaan, Koban Mati, Luka Berat, Luka Ringan, dan Kerugian Materi yang Diderita Tahun 1992-2016*. Diakses Desember 2017, dari <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1134>.
- Blondel, B., Launay, F., Glard, Y., Jacopin, S., Jouve, J. L. dan Bollini, G. (2009), Limb Lengthening And Deformity Correction in Children Using Hexapodal External Fixation: Preliminary Results for 36 Cases, *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, Vol. 95(6), pp. 425-430.
- Fink, A., Kosecoff, A., Chassin, M., dan Robert H. Brook, R. H. (1984), Consensus Methods: Characteristics and Guidelines for Use, *American Journal of Public Health*, Vol. 74(9), pp. 979-983.
- Glissan, D. J. (1949). The Indications for Inducing Fusion at The Ankle Joint by Operation with Description of Two Successful Techniques. *Australian and New Zealand Journal of Surgery*, Vol. 19, pp. 64-71.
- Koren, L., Keren, Y., dan Eidelman, M. (2016). Multiplanar Deformities Correction Using Taylor Spatial Frame in Skeletally Immature Patients. *The Open Orthopaedics Journal*, Vol 10, pp. 71-79.
- Marimin (2004), *Teknik dan Aplikasi Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk*. Jakarta: Grasindo.
- Masser, I. dan Foley, P. (1987), Delphi Revisited: Expert Opinion In Urban Analysis, *Urban Studies Journal*, Vol. 24, pp. 217-225.
- Rozbruch, S. R. (2006). Correction of Tibial Deformity With Use of The Ilizarov-Taylor Spatial Frame. *The Journal of Joint and Bone Surgery*, Vol. 88, pp. 156-175.
- Rozbruch, S. R. dan Ilizarov, S. (2007), *Limb Lengthening and Reconstruction Surgery*, New York: Informa Healthcare Inc.
- Saaty, T. L. (1990), How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, pp. 9-26.
- Saaty, T. L. (1993). *The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting, Resource Allocation*, Pittsburgh: University of Pittsburgh Pers.
- Saaty, T. L. (1994), Highlights and critical points in the theory and application of the Analytical Hierarchy Process. *European Journal of Operation Research*, Vol. 74, pp. 426-447.
- Saaty, T. L. (2000), *Fundamentals of Decision Making and Priorty Theory with the Analytic Hierarchy Process*, Pittsburg: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2008), Decision Making with the Analytic Hierarchy Process, *International Journal Services Sciences*, Vol. 1(1), pp. 83-98.
- Schiedel, F., Vogt, B., Wacker, S., Popping, J., Bosch, K., Rodl, R. dan Rosenbaum, D., (2012), Walking Ability of Children With A Hexapod External Ring Fixator (TSF®) and Foot Plate Mounting at The Lower Leg, *Gait & Posture Journal*, Vol. 36, pp. 500-505.
- Shapiro, F. (2019). *Pediatric Orthopedic Deformities, Volume 2: Developmental Disorders of the Lower Extremity: Hip to Knee to Ankle and Foot*, Switzerland: Springer International Publishing.
- Skomoroshko, P.V., Vilensky, V.A., Hammouda, A.I., Fletcher, M.D.A., dan Solomin, L.N. (2015), Mechanical Rigidity of The Ortho-SUV Frame Compared to The Ilizarov Frame in The Correction of Femoral Deformity, *Strat Traum Limb Recon J*, Vol 10(1), pp. 5-11.
- Solomin, L. N. (2012). *The Basic Principles of External Skeletal Fixation Using the Ilizarov and Other Devices* 2nd edition, Italia: Springer.
- Solomin, L. N., Paley, D., Shchepkina, E. A., Vilensky, V. A. dan Skomoroshko, P. V. (2014), A Comparative Study of The Correction of Femoral Deformity between The Ilizarov Apparatus and Ortho-SUV Frame. *International Orthopaedics Journal*, Vol. 38(4), pp. 865-872.
- Tan, B. B., Shanmugam, R., Chua, Y. P., Hossain, G., Saw, A. (2014), A Biomechanical Comparison between Taylor Spatial Frame & Ilizarov External Fixator, *Malaysia Orthopaedic Journal*, Vol. 8(2), pp. 35-39.
- Thompson, B., MacAuley, D., McNally, O, dan Neill, S. O., (2004), Defining The Sports Medicine Specialist in The United Kingdom: a Delphi Study, *Br J Sports Med*, Vol. 38, pp. 214-217.
- Triantaphyllou, E. dan Mann, S. H. (1995), Using The Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: Some Challenges, *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice*, Vol. 2(1), pp. 35-44.