

## Perancangan Lutut Buatan untuk Kemudahan Gerak pada Siklus Berjalan dan Jongkok bagi Penderita Cacat Amputasi

Masrizal<sup>1,a</sup>, Syamsul Huda<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat, Indonesia  
Email: <sup>a</sup> masrizal.labkom@gmail.com, <sup>b</sup> syamsulhuda@ft.unand.ac.id

### Abstrak

Lutut buatan adalah alat bantu kesehatan yang dirancang dan dibuat untuk mengatasi keterbatasan gerak bagi penderita amputasi pada kaki. Rancangan lutut buatan ini merupakan sebuah pengembangan konsep berdasarkan konsep rancangan yang diadopsi dengan menggunakan metode *variant design*. Pengembangan rancangan lutut buatan ini bertujuan untuk menghasilkan lutut buatan yang lebih murah, ringan, dan pengoperasian yang lebih mudah. Perancangan yang dilakukan meliputi perancangan kinematik dan perancangan komponen mekanik. Pada perancangan kinematik meliputi penentuan dimensi yang optimum untuk setiap batang pada struktur lutut buatan. Sintesis kinematika dalam mekanisme ini menerapkan *path generation method*. Kemudian dilanjutkan dengan analisis kinematika terkait mekanisme yang terbentuk yang meliputi sudut dan area gerak batang. Pada tahapan perancangan komponen mekanik ditentukan dimensi yang tidak terkait dengan konstanta kinematik berupa ketebalan batang, kekuatan struktur, dan diameter pin. Perhitungan dan simulasi tersebut dilakukan untuk siklus gerakan kaki pada saat berjalan dan jongkok. Kondisi gerak hasil rancangan akan dibandingkan dengan kondisi gerak normal. Lutut buatan ini akan dilengkapi dengan sistem penguncian pada *control link* untuk sudut tekukan 0°, 90°, dan 120°, dan sistem peredaman pada bagian *support link*. Dari hasil simulasi diperoleh pola gerakan lutut buatan yang telah mendekati lutut normal.

**Kata kunci :** Lutut buatan, *path generation method*, siklus berjalan dan siklus jongkok, *variant design*

### Latar Belakang

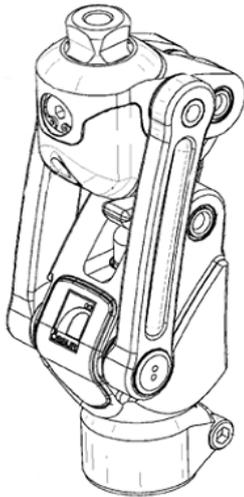
Peningkatan jumlah kendaraan bermotor setiap tahun tidak sebanding dengan pembangunan infrastruktur jalan, sehingga tingkat keamanan beraktifitas di jalan raya sangat rendah. Dalam survei Dinas Perhubungan tahun 2012, tercatat jumlah kendaraan sekitar 55.250.000 unit dan meningkat 12% yaitu sekitar 57.881.250 unit pada tahun 2013<sup>[1]</sup>. Peningkatan tersebut tidak sejalan dengan pembangunan infrastruktur jalan, sehingga menyebabkan banyaknya kasus kecelakaan, baik bagi pengguna sendiri maupun masyarakat sekitarnya. Di wilayah Sumatera Barat sendiri hingga akhir tahun 2013, telah tercatat sekurang-kurangnya 1.321 kasus kecelakaan<sup>[1]</sup>.

Kecelakaan tersebut menyebabkan berbagai kerugian, salah satunya adalah kehilangan fungsi anggota tubuh, seperti kaki, sehingga tidak memungkinkan lagi penggunaan kaki secara normal. Di Indonesia tercatat tidak kurang dari 1.250.780 orang penyandang cacat dan 20,04% diantaranya menyandang cacat pada kaki<sup>[2]</sup>. Sehingga alat bantu lutut buatan berperan penting dan sangat dibutuhkan untuk menggantikan fungsi lutut normal dalam bergerak. Pada paper ini diusulkan sebuah rancangan lutut buatan yang

seederhana, mudah dalam pengoperasian, dan dengan biaya pembuatan yang lebih murah.

### Konsep Rancangan dan Model

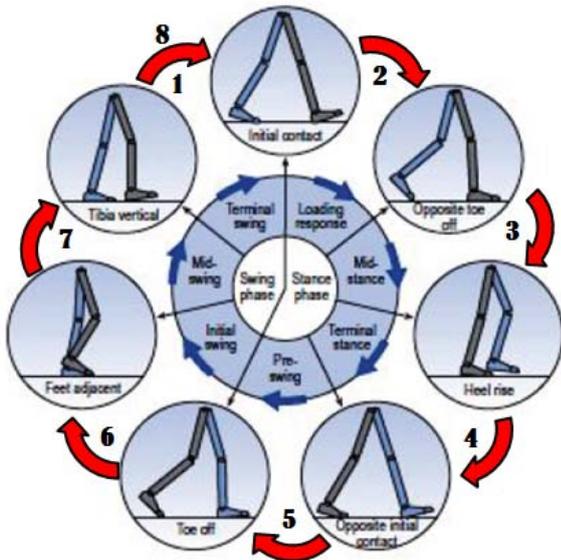
Metode rancangan yang digunakan dalam skema rancangan lutut buatan ini adalah metode *variant design*, yaitu pengembangan rancangan dengan beberapa modifikasi yang diberikan terhadap rancangan yang diadopsi. Konsep rancangan diadopsi dari *patent no. US 2012/0310372AI* oleh Bjorn Omarsson tahun 2012. Lutut buatan ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian atas sebagai tempurung lutut, dan bagian bawah sebagai sambungan engkel. Bagian tersebut dihubungkan oleh tiga batang penghubung, dua buah *support link* (batang penghubung samping) sebagai penyangga utama beban pengguna dan satu *control link* (batang penghubung belakang) sebagai pengontrol keseimbangan gerakan, dengan dimensi panjang masing-masing 105 mm dan 52 mm. Batang penghubung tersebut ditumpu menggunakan pin sebagai engsel. Kontrol gerak pada lutut buatan Bjorn Omarsson menggunakan sistem hidrolik yang ditempatkan pada komponen bawah. Model lutut buatan Bjorn Omarsson diperlihatkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Lutut buatan Bjorn Omarson<sup>[3]</sup>

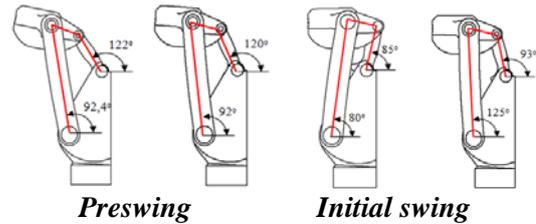
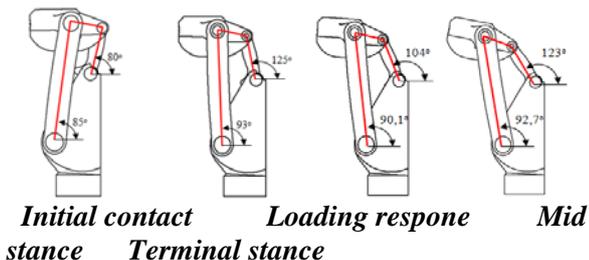
**Siklus Berjalan dan Siklus Jongkok**

Siklus Berjalan terbagi atas tujuh tahapan (fase) utama, yaitu fase *Initial contact*, *Loading response*, *Mid stance*, *Terminal stance*, *Preswing*, *Initial swing*, *Midswing*, dan kembali ke fase pertama. Fase-fase tersebut diperlihatkan pada gambar 2 secara skematik.



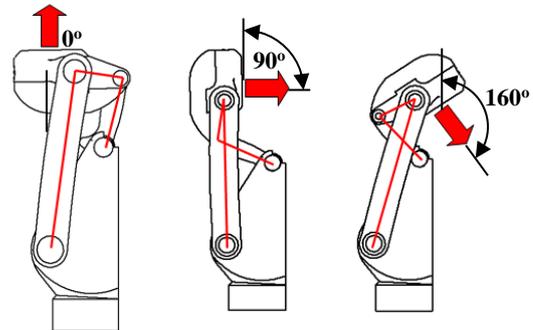
**Gambar 2.** Siklus berjalan<sup>[4]</sup>

Selanjutnya konfigurasi dari lutut buatan terkait dengan delapan fase gerak berjalan diperlihatkan pada gambar 3.



**Gambar 3.** Posisi lutut buatan pada siklus berjalan

Khusus untuk siklus jongkok, lutut buatan dirancang mampu bergerak dari sudut 0° (berdiri tegak) hingga sudut maksimal 160° (jongkok). Dalam siklus jongkok lutut bergerak dalam dua tahap (fase), yaitu fase 1 lutut buatan berputar berlawanan arah jarum jam 0° – 90°, dan fase 2 dimana perputarannya searah jarum jam 90° – 160° dan batang penghubung saling berpotongan. Konfigurasi lutut buatan dalam siklus jongkok diperlihatkan pada gambar 4.



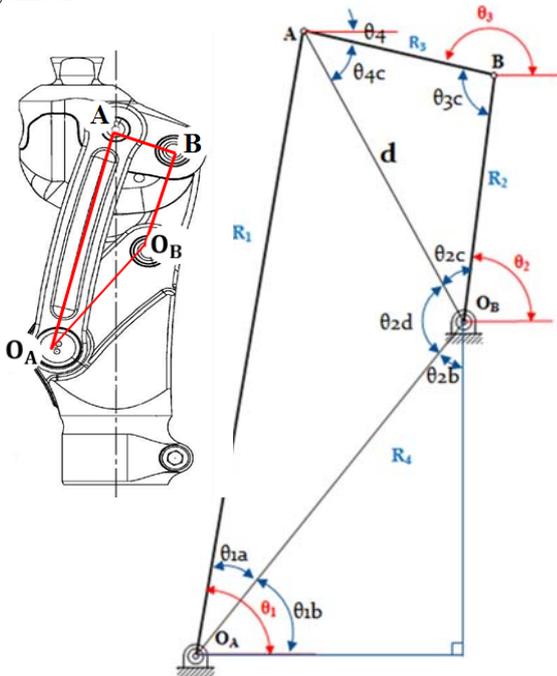
**Berdiri (0°) Duduk (90°) Jongkok(160°)**  
**Gambar 4.** Posisi lutut buatan pada siklus jongkok

**Sintesis Kinematika**

Sintesis kinematika dilakukan dengan penerapan *path generation method*. Langkah awal adalah penentuan tiga posisi pergerakan batang bebas (tempurung lutut), masing-masing ditandai dengan titik A-B, A'-B', A''-B''. Masing-masing titik dihubungkan, dan didapatkan garis A-A', A'-A'', B-B', dan B'-B''. Kemudian tarik garis tegak lurus. Titik perpotongan dari garis-garis tegak lurus adalah titik O<sub>A</sub> dan O<sub>B</sub>. Panjang batang penghubung didapatkan berdasarkan pengukuran garis O<sub>A</sub>-A dan O<sub>B</sub>-B<sup>[5]</sup>.

**Analisis Kinematika**

Analisis kinematika yang dilakukan meliputi evaluasi sudut, area gerakan, dan pembebanan. Hubungan antar sudut batang penyusun lutut buatan dinyatakan dengan persamaan (1) – (3) berikut berdasarkan diagram kinematik pada gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram kinematik lutut buatan

Pada diagram kinematika di atas, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, dan R<sub>4</sub> berturut-turut merupakan *support link*, *control link*, tempurung lutut, dan *tibia*. Dan sudut yang terbentuk pada batang R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, dan R<sub>3</sub>, masing-masing dinyatakan dengan  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ , dan  $\theta_3$ .

$$\theta_2 = 270 - (\theta_{2b} + \theta_{2c} + \theta_{2d}) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

$$\theta_{2b} = 90 - \theta_{1b}$$

$$\theta_{2c} = \sin^{-1} \left( \frac{r_3 \sin(\theta_{3c})}{d} \right)$$

$$\theta_{2d} = \cos^{-1} \left( \frac{(d^2) + (r_4^2) - (r_1^2)}{2dr_4} \right)$$

Evaluasi area gerak menggunakan persamaan 2 berikut.

$$(X_A, Y_A) = (R_1 \cos \theta_1, R_1 \sin \theta_1) \dots\dots\dots(2)$$

$$(X_B, Y_B) = (X_B + R_2 \cos \theta_2, Y_B + R_2 \sin \theta_2)$$

Dan untuk kondisi pembebanan digunakan persamaan 3.

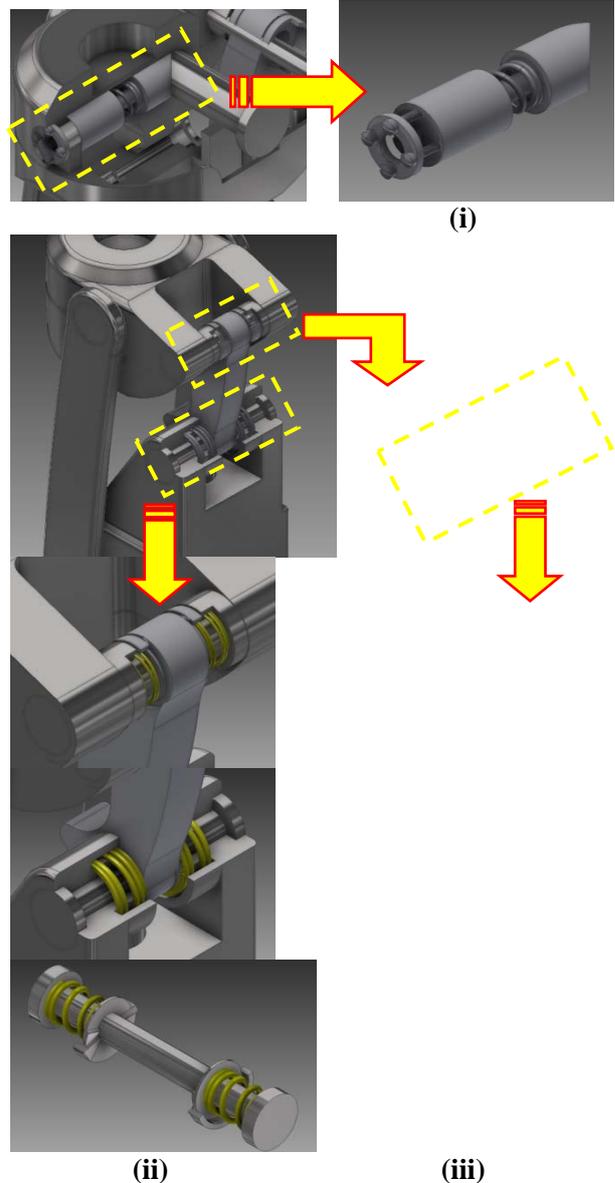
$$F_x = F \sin (90 - \theta)$$

$$F_y = F \cos (90 - \theta) \dots\dots\dots(3)$$

**Modifikasi Lutut Buatan**

Modifikasi terhadap konsep rancangan yang diadopsi dilakukan dengan penambahan skema penguncian pada *control link* untuk sudut tekukan 0° (berdiri tegak), 90° (duduk), dan 160° (jongkok). Pengatur redaman ayunan lutut yang dapat diatur sesuai dengan kenyamanan gerak ditambahkan

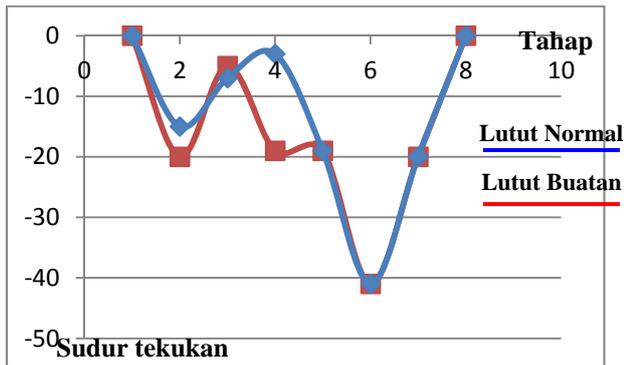
pada bagian *support link*. Hal ini bertujuan untuk memberikan kehalusan gerakan saat penggunaan lutut buatan. Modifikasi yang dilakukan tersebut terlihat pada gambar 6.



**Gambar 6.** Modifikasi Lutut Buatan (i) sistem peredaman (ii) pegas *swing* (iii) sistem penguncian

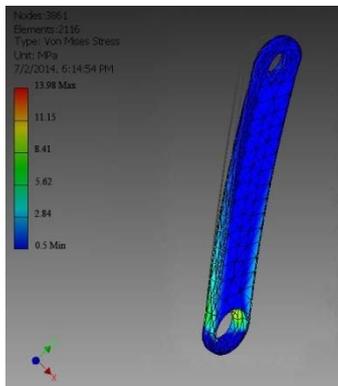
**Hasil dan Pembahasan**

Berdasarkan perhitungan dan simulasi gerak yang dilakukan, maka didapatkan grafik perbandingan pola gerak berdasarkan sudut tekukan lutut antara lutut buatan dan lutut normal. Grafik perbandingan tersebut diperlihatkan dalam gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik perbandingan sudut tekukan lutut antara lutut normal dan lutut buatan

Kekuatan batang penghubung dihitung berdasarkan simulasi tegangan dalam *software Autodesk Inventor 2013*, sehingga didapatkan tegangan maksimum 13,98 MPa yang terjadi pada *support link* dalam siklus jongkok. Hasil simulasi tegangan *Autodesk Inventor 2013* diperlihatkan pada gambar 8.



**Gambar 8.** Analisis tegangan *Autodesk Inventor* Untuk kondisi pembebanan tersebut dipilih material *poliethylen* (jenis termoplastik) sebagai material utama yang digunakan. Pemilihan dilakukan berdasarkan kekuatan bahan yang mampu menahan pembebanan maksimum, ketersediaan di pasaran, harga relatif murah, dan memiliki bobot massa yang lebih ringan.

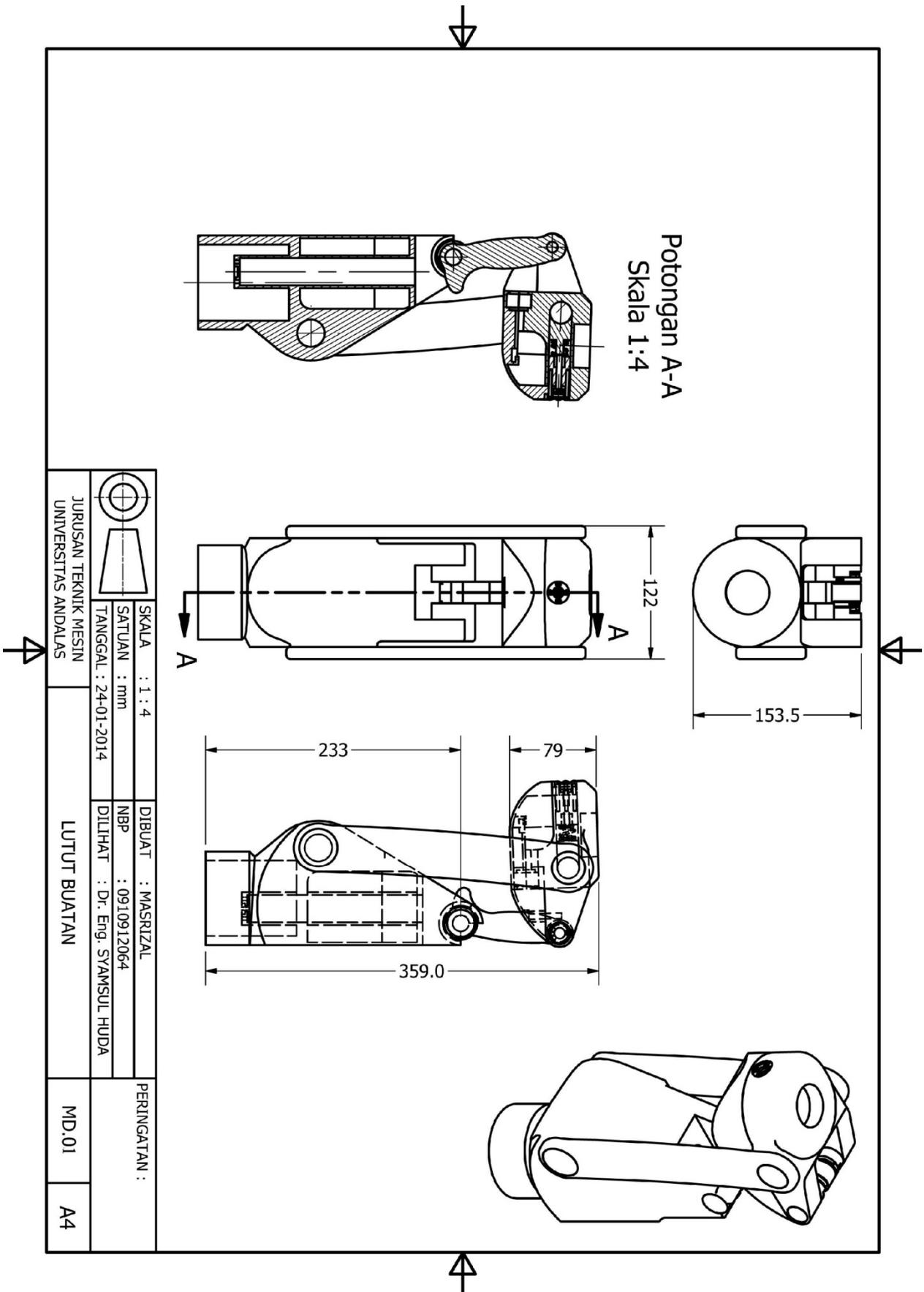
### Kesimpulan

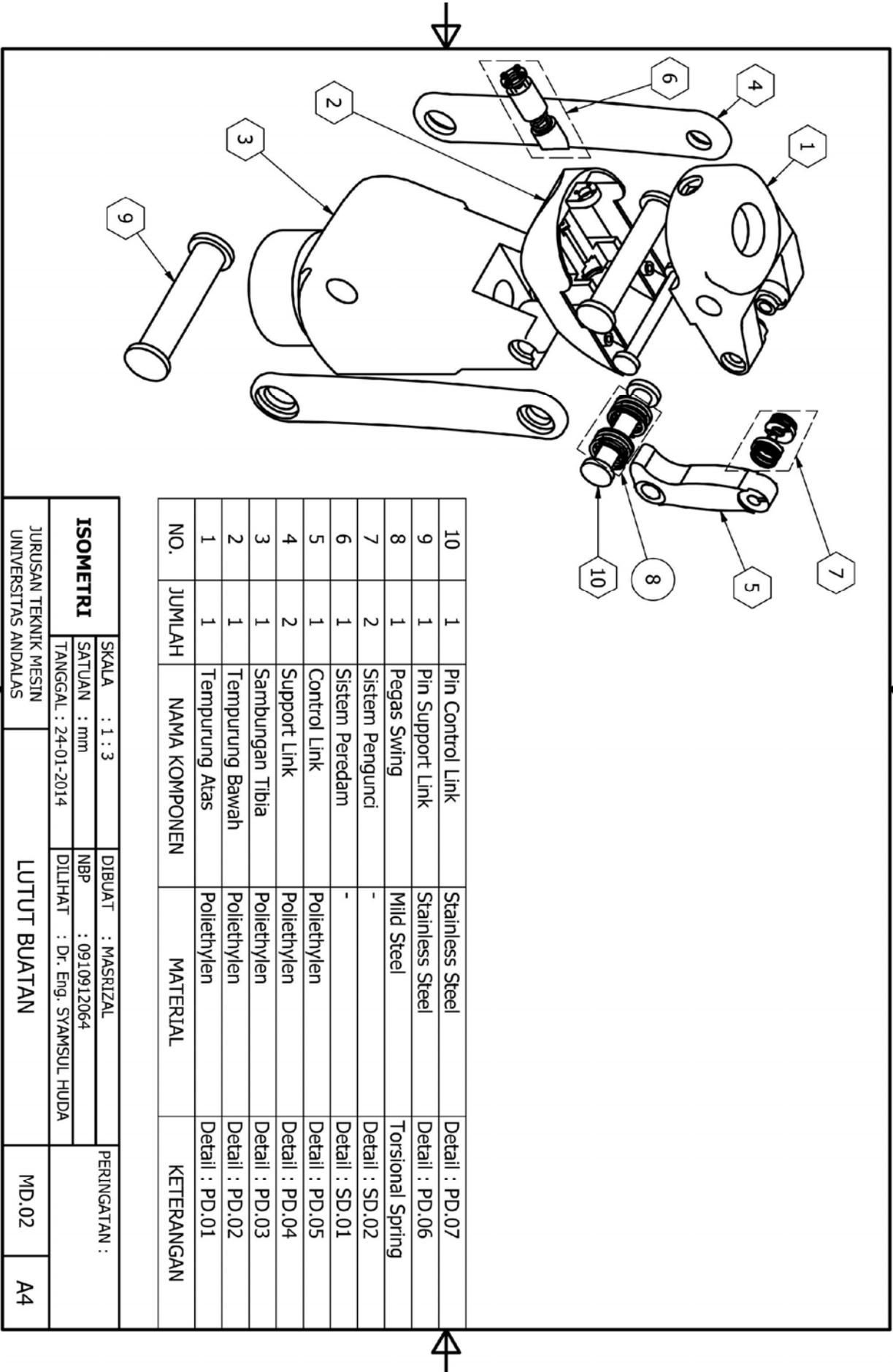
Pada penelitian ini diperoleh dimensi optimum tempurung lutut, *support link*, *control link*, dan sambungan *tibia* dengan panjang masing-masing dalam mm adalah 70; 228,25; 92; 15,4. Berdasarkan hasil simulasi, rancangan ini telah memenuhi kriteria karena pola gerakannya telah menyerupai pola gerak lutut normal, terutama untuk siklus berjalan dan jongkok.

Rancangan lutut buatan ini dilengkapi dengan skema penguncian pada *control link* untuk sudut tekukan 0° (berdiri), 90° (duduk), dan 160° (jongkok). Penambahan skema ini dinilai lebih efektif saat lutut dalam keadaan diam pada posisi tertentu.

### Referensi

- [1] <http://www.dephub.go.id/eproc/> (Diakses tanggal 07 Mei 2014, 08:15 WIB)
- [2] <http://www.kemsos.go.id/modules/> (Diakses tanggal 07 Mei 2014, 09:00 WIB)
- [3] Omarsson, Bjorn. 2012. *Prosthetic Knee, United States Patent No. 0310372A1*. <http://www.freepatentsonline.com> (Diakses pada tanggal 07 Mei 2014)
- [4] Rihs, Daniel. 2001. *Prosthetic Foot Design*. Victorian University of Technology : Australia
- [5] Sandor, G. K. 1984. *Advanced Mechanism Design: Analysis and Synthesis*. Prentice Hall





NO.	JUMLAH	NAMA KOMPONEN	MATERIAL	KETERANGAN
10	1	Pin Control Link	Stainless Steel	Detail : PD.07
9	1	Pin Support Link	Stainless Steel	Detail : PD.06
8	1	Pegas Swing	Mild Steel	Torsional Spring
7	2	Sistem Pengunci	-	Detail : SD.02
6	1	Sistem Peredam	-	Detail : SD.01
5	1	Control Link	Poliethylen	Detail : PD.05
4	2	Support Link	Poliethylen	Detail : PD.04
3	1	Sambungan Tibia	Poliethylen	Detail : PD.03
2	1	Tempurung Bawah	Poliethylen	Detail : PD.02
1	1	Tempurung Atas	Poliethylen	Detail : PD.01

ISOMETRI		SKALA	DIBUAT	PERINGATAN :
JURUSAN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS ANDALAS		: 1 : 3	MASRIZAL	
		SATUAN : mm	NBP	
		TANGGAL : 24-01-2014	DILIHAT : Dr. Eng. SYAMSUL HUDA	
		LUTUT BUATAN		
		MD.02	A4	