

Pemilihan Desain Prosthetic Jari Tangan Berdasarkan Mekanisme Sistem Penggerak Cross Bar dan Cross Cable terhadap Besar Gaya Tarik Dinamis Prosthetic Jari Tangan

Susy Susmartini*, Ilham Priadythama, dan Lobes Herdiman

Laboratorium Perencanaan dan Perancangan Produk
Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126, Telp/Fax. (0271) 632110

Abstract

The absence of the hand causes the disruption of organ function, this problem later emerged prosthetic as a tool for replacement of missing body parts. Basically prosthetic hand has two functions: as cosmetics and as a functional tool. The most important functional aspects of prosthetic hands is the ease of operation that can be seen from the magnitude of tensile force required by prosthetic hand while doing the a movement. The mechanism of motion system that is widely used by prosthetic hand is a cross cable system and cross bar system. Cross cable systems using cable to connect components that act as links knuckles on hand, when the withdrawal event of the cable happened, the cable will be tightened and the movement of the fingers may occur. Cross bar systems uses bar (rigid link) as a puller, so when withdrawal event of the rope at the end of the lever happened, the bar that connects the components with a finger lever puller will push or pull bar so that the finger will open or close. Prosthetic design significantly influence the magnitude of the dynamic tensile strength that makes it necessary to make an experiments to compare the design of motion mechanisms of cross cable systems and cross bar system, and evaluate the influence on the magnitude of the dynamic tensile force at the time of movement, so it can represent the natural movement of normal human fingers.

Keywords: cross cable, cross bar, dynamic tensile.

1. Pendahuluan

Ketiadaan tangan menyebabkan terganggunya fungsi organ tubuh, sehingga muncul alat bantu pengganti bagian tubuh yang hilang yang disebut dengan *prosthetic*. Pada dasarnya, *prosthetic* tangan memiliki dua fungsi yaitu sebagai kosmetik dan sebagai alat fungsional. *Prosthetic* tangan yang berfungsi sebagai kosmetik bentuknya menyerupai tangan asli, namun tidak dapat berfungsi sebagaimana tangan normal (Weir dkk., 2001). *Prosthetic* tangan sebagai alat fungsional, diharapkan mampu menjalankan enam model gerakan dasar tangan manusia, yaitu *cylindrical*, *lateral*, *palmar*, *hook*, *tip*, dan *spherical* (Martell dan, 2007).

Aspek fungsional *prosthetic* tangan yang paling penting adalah kemudahan dalam pengoperasiannya. Kemudahan pengoperasian tersebut dapat dilihat dari besarnya gaya tarik yang dibutuhkan *prosthetic* tangan ketika melakukan gerakan. Gaya tarik merupakan gaya yang terjadi pada sistem gerak *prosthetic* tangan agar tangan tersebut dapat bekerja. Gaya tarik tersebut terdiri dari gaya tarik dinamis dan gaya tarik statis. Gaya tarik statis merupakan gaya yang dibutuhkan tangan *prosthetic* untuk menekan objek benda yang dipegang, sedangkan gaya tarik dinamis merupakan gaya yang dibutuhkan *prosthetic* tangan untuk menggerakkan jari-jari *prosthetic* tangan sesuai dengan model gerakan tangan manusia (Sanjaya, 2010).

Persyaratan umum dalam pembuatan desain *prosthetic* jari tangan antara lain, *prosthetic* jari tangan diharapkan memiliki berat yang ringan tetapi cukup kuat, jari-jari *prosthetic* memungkinkan untuk berada pada kondisi diam ataupun saat melakukan gerakan, ukuran

* Correspondance : susmartini@uns.ac.id

prosthetic jari tangan serupa dengan ukuran jari tangan manusia normal (dalam ukuran panjang maupun lebarnya), serta desain jari mampu mengirimkan kekuatan tertentu untuk melakukan gerakan (Dechev dkk., 1999).

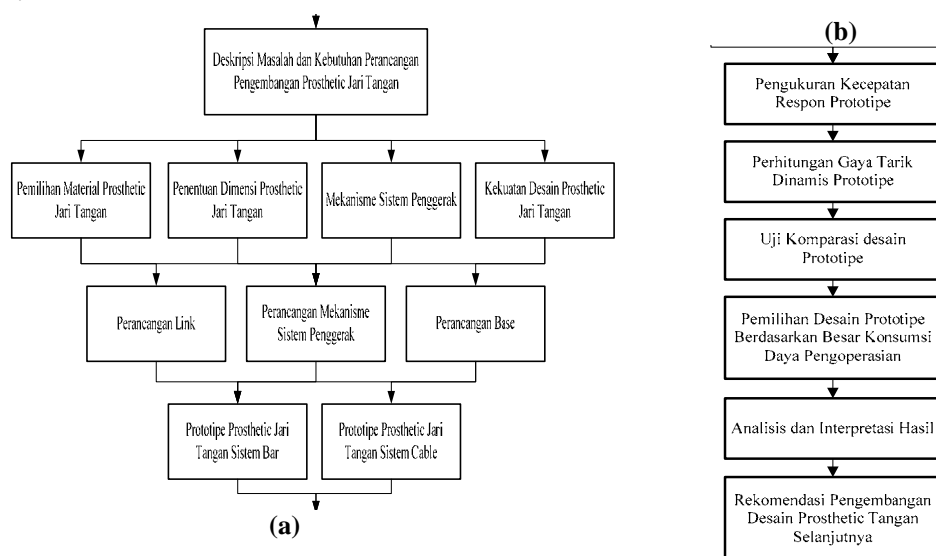
Desain *prosthetic* jari yang dibahas dalam penelitian ini menggunakan dua mekanisme sistem gerak berupa sistem *cable* dan *bar*. Sistem *cable* menggunakan kabel untuk menghubungkan komponen *link* yang berperan sebagai ruas-ruas jari pada tangan sehingga pada saat terjadi penarikan kabel, maka kabel akan menegang sehingga gerakan jari tangan dapat terjadi. Sistem *bar* menggunakan *bar (rigid link)* sebagai penarik, sehingga pada saat terjadi penarikan tali pada ujung tuas penarik, *bar* yang menghubungkan antara komponen tuas penarik dengan jari akan mendorong atau menarik *bar* sehingga jari akan membuka atau menutup. Desain *prosthetic* berpengaruh signifikan terhadap besarnya gaya tarik dinamis (Sanjaya, 2010) sehingga perlu dilakukan eksperimen untuk membandingkan desain mekanisme gerak sistem *cable* dan sistem *bar*, serta mengevaluasi pengaruh mekanisme sistem gerak *prosthetic* jari tangan tersebut terhadap besarnya gaya tarik dinamis pada saat melakukan gerakan, sehingga dapat merepresentasikan gerakan alamiah jari tangan manusia normal.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tangan *prosthetic*, yaitu menghasilkan data pengukuran besar gaya tarik dinamis yang dibutuhkan oleh desain *prosthetic* jari tangan yang menggunakan mekanisme sistem penggerak *cross cable* dan *cross bar*, serta tercipta suatu sistem penggerak *prosthetic* jari tangan yang sesuai dengan aspek fungsional *prosthetic*.

Untuk proses penyederhanaan faktor desain tersebut serta menyederhanakan kompleksitas permasalahan yang diteliti, diperlukan beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian. Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu : (i) pengukuran gaya tarik dan waktu respon *prosthetic* jari tangan dilakukan terhadap jari telunjuk, (ii) kedua desain *prosthetic* jari tangan menggunakan material yang sama yaitu PVC (*Polivinil klorida*), (iii) dimensi desain *prosthetic* jari tangan mengacu pada ukuran tangan manusia normal dengan usia 21 tahun, (iv) pengukuran aktual gaya tarik dinamis *prosthetic* jari tangan tanpa memperhitungkan berat segmen desain *prosthetic* jari tangan, dan (v) pengukuran aktual gaya tarik dinamis *prosthetic* jari tangan tanpa memperhitungkan gaya gesek yang terdapat pada sistem penarik.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian menggambarkan langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam pemecahan masalah. Adapun langkah-langkah penyelesaian masalah adalah seperti dalam Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi penelitian

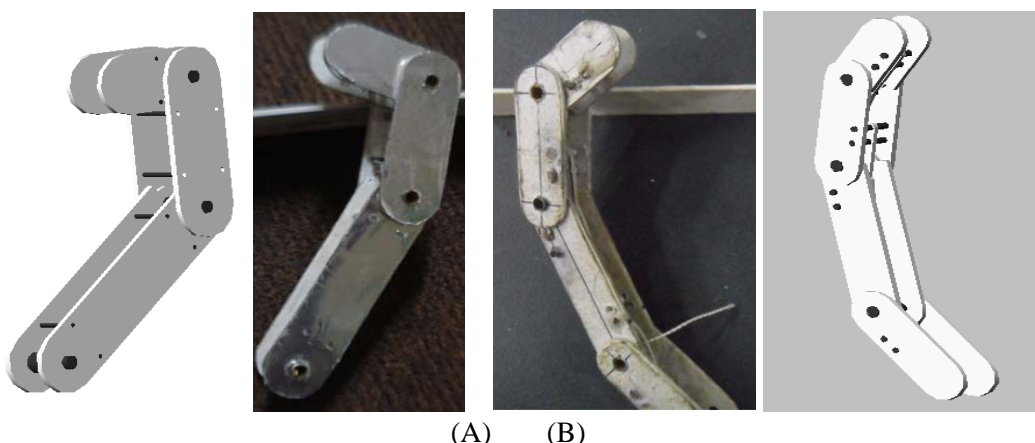
3. Hasil dan Pembahasan

Prosthetic jari tangan yang baik harus memberikan gaya tarik dinamis yang minimum ketika dioperasikan. Gaya tarik dinamis merupakan gaya yang dibutuhkan oleh *prosthetic* tangan dalam kaitannya untuk menggerakkan jari-jari pada *prosthetic* tangan (Sanjaya, 2010). Desain jari tangan yang ada pada umumnya masih menggunakan dua jenis mekanisme sistem penggerak pada penerapannya, yaitu sistem *cable* dan sistem *bar*. Kriteria dasar dalam perancangan *prosthetic* jari tangan (Dechev dkk., 1999) antara lain:

- Prosthetic* jari tangan diharapkan memiliki beban yang ringan, tetapi cukup kuat.
- Jari-jari memungkinkan untuk berada pada kondisi diam ataupun saat melakukan gerakan.
- Ukuran *prosthetic* jari tangan harus serupa dengan ukuran jari tangan manusia normal, baik dalam ukuran panjang maupun lebarnya.
- Desain jari tangan harus mampu mengirimkan kekuatan tertentu dalam melakukan gerakan.

3.1 Desain Prosthetic Jari Tangan

Mekanisme sistem penggerak yang banyak digunakan dalam desain jari tangan adalah sistem *cable* dan sistem *bar*. Berdasarkan kriteria dasar dalam perancangan *prosthetic* jari tangan [2] dan dengan referensi dari penelitian-penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini desain *prosthetic* jari tangan sistem digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.

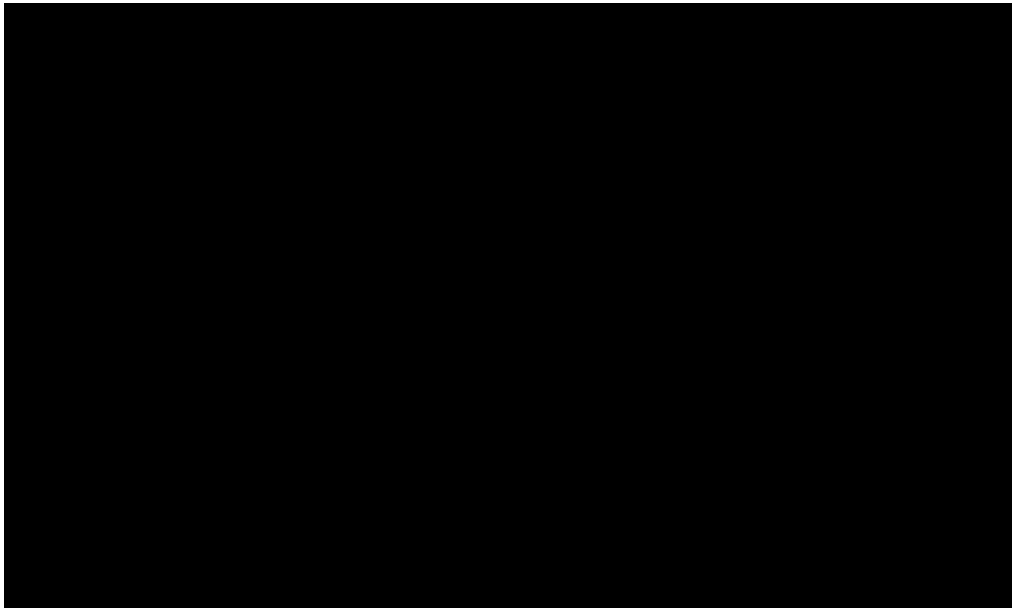


Gambar 2. Desain Prosthetic Jari Tangan (A) Sistem Cable (B) Sistem Bar

Desain *prosthetic* jari tangan sistem *cable* dan *bar* bekerja dengan sistem *voluntary closing device*, dimana kondisi normal *prosthetic* jari tangan dalam keadaan terbuka. Sistem penarikan yang diterapkan pada *prosthetic* jari tangan sistem *cable* menggunakan sistem kabel yang menghubungkan antar link pada *prosthetic* jari tangan, sehingga pada saat terjadi penarikan pada ruas pangkal jari dengan besar gaya tertentu, maka kabel pada setiap link akan menegang dan menarik link atau ruas jari yang lain. Sistem penarikan yang diterapkan pada *prosthetic* jari tangan sistem *bar* berbeda dengan sistem penarikan pada *prosthetic* jari tangan sistem *cable*, mekanisme penggerak *prosthetic* jari tangan pada desain ini menggunakan *bar* atau bisa disebut *rigid link* sehingga pada saat terjadi penarikan pada ruas pangkal jari dengan besar gaya tertentu, maka bar pada setiap link akan menarik bar yang terpasang pada link atau ruas jari yang lain.

3.2 Pengujian Prosthetic Jari Tangan

Dari kedua desain *prosthetic* jari tangan sistem *cable* dan *bar* kemudian dilakukan eksperimen untuk menguji gaya tarik dinamis jari tangan *prosthetic*.

Tabel 1. Kecepatan Respon Pergerakan *Prosthetic* Jari Tangan

Tabel 2. Percepatan Pergerakan *Prosthetic* Jari Tangan

DATA HASIL PENGUJIAN		t (detik)	v (m/s)	a (m/s ²)
Desain prototype prosthetic jari tangan	sistem cable	0.0333	0.0013	0.0136
		0.0333	0.0019	0.0007
		0.0333	0.0017	0.0006
		0.0333	0.0010	0.0004
		0.0333	0.0024	0.0008
		0.0333	0.0012	0.0004
		0.0333	0.0018	0.0007
		0.0333	0.0018	0.0007
		0.0333	0.0041	0.0031
	sistem bar	0.0333	0.0017	0.0011
		0.0333	0.0020	0.0005
		0.0333	0.0021	0.0009
		0.0333	0.0022	0.0014
		0.0333	0.0027	0.0013
		0.0333	0.0014	0.0009
		0.0333	0.0029	0.0026
		0.0333	0.0025	0.0017
		0.0333	0.0047	0.0030

Dari kedua data tersebut, selanjutnya dapat dihitung gaya tarik dinamis dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F = m (g - a) \quad (1)$$

Dimana diketahui :

F: Gaya tarik dinamis,

a : percepatan,

m : massa pendulum,

g: kecepatan gravitasi

Tabel 3. Gaya Tarik Dinamis yang Dibutuhkan dalam Pergerakan *Prosthetic* Jari Tangan

DATA HASIL PENGUJIAN		Pembebanan	a (m/s ²)	F (N)
Desain prototype prosthetic jari tangan	sistemable	500 gram	0.014	4.893
			0.001	4.900
			0.001	4.900
		550 gram	0.000	5.390
			0.001	5.390
			0.000	5.390
		600 gram	0.001	5.880
			0.001	5.880
			0.003	5.878
	sistembar	500 gram	0.001	4.899
			0.001	4.900
			0.001	4.900
		550 gram	0.001	5.389
			0.001	5.389
			0.001	5.389
		600 gram	0.003	5.878
			0.002	5.879
			0.003	5.878

3.3 Pengolahan Data Statistik

Teknik desain eksperimen yang dipilih yaitu *Factorial Experiment* karena eksperimen ini terdiri dari dua faktor, yaitu faktor pembebanan dan faktor desain tangan *prosthetic*. Pada tahap pengolahan data statistik dilakukan uji asumsi dasar, uji Anova, dan uji setelah Anova untuk mengetahui tingkat signifikansi variabel respon. Setelah itu dilakukan pemilihan desain *prosthetic* jari tangan berdasarkan nilai gaya tarik dinamis *prosthetic* jari tangan. Hipotesis yang diajukan dalam analisis variansi, adalah:

$$H_{01} : \sigma_A^2 = 0,$$

perbedaan pembebanan tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap gaya tarik dinamis.

$$H_{02} : \sigma_B^2 = 0,$$

perbedaan desain *prosthetic* jari tangan tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya gaya tarik dinamis.

$$H_{03} : \sigma_{AB}^2 = 0,$$

perbedaan interaksi desain *prosthetic* jari tangan dan pembebanan tidak menimbulkan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya gaya tarik dinamis.

Model matematik yang dipakai dalam analisis ini, adalah:

$$Y_{ijkm} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{m(ijk)} \quad (2)$$

dengan;

Y_{ijkm} : variabel respon

A_i : faktor pembebanan

B_j : faktor desain *prosthetic* jari tangan

AB_{ij} : interaksi faktor A dan faktor B

$\varepsilon_{m(ijk)}$: random error

i : jumlah faktor pembebanan, (A) $i = 1, 2, 3$

j : jumlah faktor desain tangan *prosthetic* (B), $j = 1, 2$

m : jumlah observasi $m = 1, 2, 3$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Anova Gaya Tarik Dinamis

Sumber variansi	df	SS	MS	F hitung	F tabel	H0
Pembebanan	2	3.021	1.511	609985.111	6.927	terima
Desain	1	0.0000	0.000	0.279	9.330	tolak
Interaksi AxB	2	0.004	0.002	807.660	6.927	terima
Error	12	0.003	0.000			
Total	17	3.029				

Tabel 5. Hasil Perhitungan SPSS Anova Gaya Tarik Dinamis**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: Besar Gaya

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.026 ^a	5	.605	2.083E3	.000
Intercept	514.446	1	514.446	1.771E6	.000
Pembebanan	3.021	2	1.511	5.200E3	.000
Desain	.000	1	.000	1.134	.308
Pembebanan * Desain	.004	2	.002	7.516	.008
Error	.003	12	.000		
Total	517.475	18			
Corrected Total	3.029	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

Diterima atau ditolaknyanya H_0 adalah dengan melihat nilai-nilai pada kolom sig (signifikansi) pada Tabel 5. Dari Tabel 5. Dapat dilihat bahwa nilai signifikansi hitung lebih kecil dari pada signifikansi yang ditetapkan $\alpha = 0,01$, maka tolak H_0 yang berarti bahwa variabel faktor berpengaruh signifikan pada variabel respon. F_{hitung} memberikan kesimpulan tentang hasil uji hipotesis analisis variansi. Keputusan yang diambil terhadap hasil analisis variansi data eksperimen untuk gaya tarik dinamis, yaitu:

1. Ditinjau dari faktor pembebanan (faktor A), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan disimpulkan bahwa pengaruh pembebanan terhadap gaya tarik dinamis yang dihasilkan berbeda secara signifikan untuk setiap level yang di uji.
2. Ditinjau dari faktor desain *prosthetic* jari tangan (faktor B), nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, sehingga terima H_0 dan disimpulkan bahwa pengaruh desain *prosthetic* jari tangan terhadap gaya tarik dinamis yang dihasilkan tidak berbeda secara signifikan untuk setiap level yang di uji.
3. Ditinjau dari interaksi antara faktor pembebanan (faktor A) dan *prosthetic* desain jari tangan (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga tolak H_0 dan disimpulkan bahwa pengaruh interaksi antara faktor pembebanan (faktor A) dan *prosthetic* desain jari tangan (faktor B) terhadap gaya tarik dinamis yang dihasilkan berbeda secara signifikan untuk setiap level yang di uji.

Tabel 6. Rata-rata Gaya Tarik Dinamis Eksperimen Dikelompokkan Berdasarkan Treatment Faktor A dan Faktor B

Interaksi A dan B	Rata - rata
a1b1	4.898
a1b2	4.900
a2b1	5.390
a2b2	5.389
a3b1	5.879
a3b2	5.879

3.4 Pemilihan Desain Tangan Prosthetic Berdasarkan Nilai Gaya Tarik Dinamis

Pemilihan desain tangan *prosthetic* dilakukan dengan mempertimbangkan nilai gaya tarik dinamis. Desain *prosthetic* jari tangan yang dipilih adalah desain *prosthetic* jari tangan dengan nilai gaya tarik dinamis minimum. Dengan mempertimbangkan besarnya rata-rata nilai gaya tarik dinamis yang dihasilkan pada masing-masing *prosthetic* jari tangan, maka desain *prosthetic* jari tangan yang dapat dijadikan rekomendasi untuk pengembangan desain *prosthetic* tangan selanjutnya adalah desain *prosthetic* jari tangan sistem *cable*.

4. Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian mengenai eksperimen komparasi *prosthetic* jari tangan berdasarkan mekanisme sistem penggerak *cross bar* dan *cross cable* terhadap besar gaya tarik dinamis *prosthetic* jari tangan dapat disimpulkan bahwa besarnya besar gaya tarik dinamis yang dibutuhkan oleh desain *prosthetic* jari tangan yang menggunakan mekanisme sistem penggerak *cross cable* adalah sebesar 4,898 N (pembebanan 500 g), 5,390 N (pembebanan 550 g), dan 5,879 N (pembebanan 600 g), sedangkan untuk mekanisme sistem penggerak *cross bar* adalah sebesar 4,900 N (pembebanan 500 g), 5,389 N (pembebanan 550 g), dan 5,879 N (pembebanan 600 g). Dengan mempertimbangkan besarnya rata-rata nilai gaya tarik dinamis yang dihasilkan pada masing-masing *prosthetic* jari tangan, maka desain *prosthetic* jari tangan yang dapat dijadikan rekomendasi untuk pengembangan desain *prosthetic* tangan selanjutnya adalah desain *prosthetic* jari tangan sistem *cable*.

Daftar Pustaka

- Agung, S. (2009). *Pengembangan Telapak Tangan Prosthetic Dalam Mengakomodasi Enam Model Gerakan Dasar Tangan Manusia*. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Dechev, N, et.al. (1999). *Multi-Segmented Finger Design of an Experimental Prosthetic Hand*. Department of Mechanical & Industrial Engineering, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada, M5S 3G8.
- Hamill, J. dan Kathleen, M.K. (2009). *Biomechanical Basis of Human Movement, 3rd edition*. Massachusetts: Lippincott Williams & Wilkins.
- Herr, H. et.al. (2001). *Cyborg Technology - Biomimetic Orthotic and Prosthetic Technology*. AI Lab, MIT, 200 Technology Square, Room 820, Cambridge.
- Hicks, C. R. (1993). *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. New York: Oxford University Press.
- Martell, J.W.S. dan Giuseppina, G. (2007). *Robotic Hands: Design Review and Proposal of New Design Process*. World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Papaioannou, Y. dan Yeni, Y.N. (2000). *Joints, Biomechanics Of*. Washington DC: The Catholic University of America.
- Saliba, M. A dan Axiak, M. (2007). *Design of a compact, dexterous robot hand with remotely located actuators and sensors*. Department of Manufacturing Engineering, University of Malta, Msida, Malta.
- Sanjaya, G. E. (2010). *Eksperimen Komparasi Prosthetic Tangan Berdasarkan Pengaruh Desain Metacarpal Dan Phalanx Phalangeal*. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Sudjana (1995). *Desain dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Tarsito.
- Tosberg, W. A. (1992). *Upper and Lower Extremity Prosthesis*. Illinois: Charles C Thomas Publisher.

Ulrich, K.T. dan Eppinger, S. D. (1995). *Product Design and Development*. McGraw-Hill International.

Weir, R.F., et.al. (2001). A New Externally Powered, Myoelectrically Controlled Prosthesis for Persons with Partial-Hand Amputations at the Metacarpals. *Journal of Prosthetics and Orthotics*, Vol. 13, No. 2.

Wijaya (2000). *Analisis Statistik dengan Program SPSS 10.0*. Bandung: Alfabeta.