

Pengembangan Pengenalan Gerak-Isyarat Tangan untuk operasi *Virtual Assembly* menggunakan *Motion Glove*

Gandjar Kiswanto^{1,a*}, Arya Senna Abdul Rachman^{2,b*}, Albert Koto Indardyo^{3,c}

^{1,2,3}Lab. Teknologi Manufaktur & Otomasi, Dept. Teknik Mesin, Kampus Baru UI Depok, Indonesia
email: ^agandjar_kiswanto@eng.ui.ac.id, ^barya.senna@ui.ac.id, ^calbert.koto@ui.ac.id

Abstrak

Metode *virtual assembling* atau perakitan berbasis *virtual* merupakan salah satu pengembangan teknologi dunia manufaktur yang termutakhir. *Virtual assembling* (VA) memungkinkan pelaku perakitan untuk dapat merakit suatu benda secara *virtual* menggunakan gerak-isyarat tangan yang nyata dan intuitif sebagaimana yang dilakukan saat memanipulasi benda fisik. Penelitian ini mengembangkan metode pengenalan gerak-isyarat tangan untuk keperluan operasi *virtual assembly*. Karakterisasi gerak-isyarat dilakukan menggunakan *data glove* berbasis *flex sensor* yang mengukur lekukan jari. Variasi gerak-isyarat dimodelkan dari postur *grasping* atau genggaman tangan. Pengembangan ini menghasilkan metode kalibrasi dan pengenalan tiga buah gerak-isyarat unik yang dapat dipetakan ke operasi dasar VA. Uji akurasi yang dilakukan yang melibatkan 10 subjek pengujian menunjukkan tingkat akurasi pengenalan yang konsisten di atas 60% dan bisa ditingkatkan lebih jauh lagi dengan beberapa perbaikan desain sarung tangan.

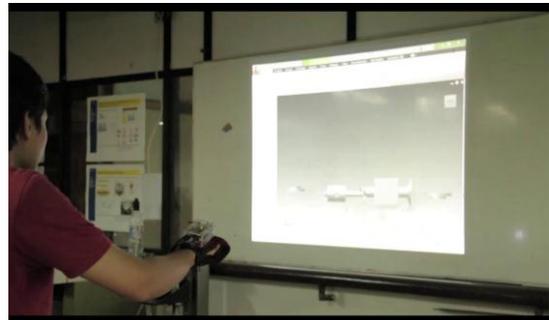
Kata kunci: Gerak-isyarat tangan, *virtual assembly*, *data glove*, *human-computer interaction*

Pendahuluan

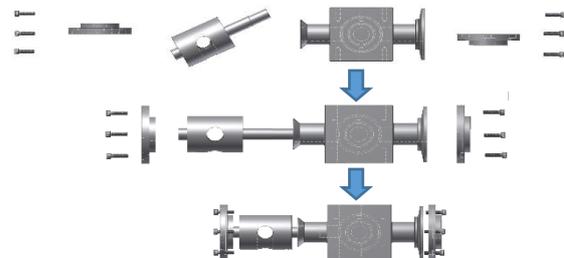
Dengan meningkatnya persaingan global Industri manufaktur selalu berusaha untuk mereduksi biaya pengembangan produk dan meningkatkan kualitas produk. Teknologi *Virtual Assembly* (VA) di sisi lain merupakan salah satu solusi yang inovatif sekaligus efektif untuk memenuhi kebutuhan industri. VA menggunakan teknologi *Virtual Reality* (VR) dan simulasi komputer untuk membuat sebuah *Virtual Environment* (VE) dimana pengguna bisa melakukan manipulasi dan perencanaan proses perakitan secara interaktif dengan bantuan alat input dan output tingkat lanjut seperti *data glove* (lihat Gambar 1) dan helm VR. VA mengijinkan pelaku industri untuk melakukan verifikasi dan evaluasi kinerja perakitan sehingga proses perencanaan perakitan yang efektif baik secara teknis maupun ekonomis bisa dibuat. Dengan demikian kualitas produk bisa meningkat dan waktu pengembangan-ke-perakitan untuk produk baru bisa lebih jauh dipangkas.[1]

Implementasi VA umumnya menggunakan *data glove*[2] (sarung tangan dengan sensor-sensor dan rangkaian elektronika yang terintegrasi) untuk mentranslasikan *gesture* atau gerak-isyarat serta *motion* atau pergerakan tangan menjadi operasi assembly (lihat Gambar 2) untuk memanipulasi objek di dalam VE. Sesuai peruntukan, selanjutnya

data glove tersebut dinamakan sebagai *Motion Glove*.



Gambar 1 Operasi *Virtual Assembly* menggunakan *Motion Glove* dan media proyektor



Gambar 2 Contoh Operasi *Assembly*

Penelitian ini merupakan bagian dari pengembangan sebuah purwarupa sistem *Motion Glove* yang berbasis *flex sensor*. [3] Objektif dari penelitian ini adalah membuat pemodelan

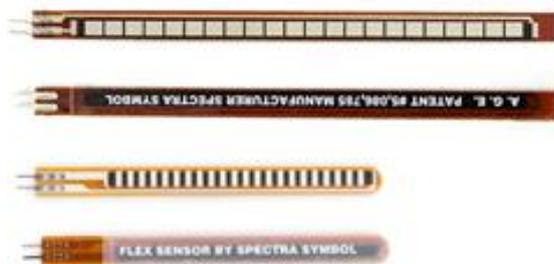
pengenalan beberapa gerak-isyarat unik berbasis karakterisasi bacaan *flex sensor* pada *Motion Glove* tersebut. Beberapa Gerak-isyarat tersebut kemudian dipetakan menjadi operasi dasar VA.

Penentuan Gerak-Isyarat tangan



Gambar 3 Purwarupa *Motion Glove* dan kantung *flex sensor* di dalam *glove*

Pemodelan gerak-isyarat disesuaikan dengan rancangan sistem *Motion Glove* dan *array sensor* yang tersedia (lihat Gambar 3). *Motion Glove* menggunakan *flex sensor* Spectra Symbol[4] masing-masing berukuran 4.5 inci dan 2.1 inci untuk mengukur lekukan jari-jari, *flex sensor* ini bekerja sebagai resistor analog yang saat terlekuh akan menghasilkan perubahan resistansi elektrik secara proporsional.



Gambar 4 *Flex sensors*

Flex sensor dalam *Motion Glove* hanya tertempel pada buku-buku jari telunjuk dan ibu jari karena diasumsikan ke empat jari lainnya bergerak secara relatif liner dengan jari telunjuk. *Microcontroller* (MCU) dihubungkan ke *flex sensor* dalam sebuah rangkaian *voltage divider* sehingga yang terukur dari perubahan lekukan *flex sensor* adalah perubahan perbedaan potensial, yang dikonversi dengan *Analog to Digital Converter* (ADC) milik MCU menjadi range 0-1024 (resolusi 8 bit).

Variasi Gerak-Isyarat

Gerak-isyarat berbasis postur *grasping* dipilih karena kesesuaiannya dengan gerak-isyarat alami manusia saat melakukan manipulasi spasial[5], sehingga operasi VA bisa dilakukan dengan lebih

intuitif. Lebih jauh lagi, gerak-isyarat yang akan dikenali idealnya mudah di ingat dan mudah direproduksi oleh pengguna.[6] Berdasarkan kriteria-kriteria di atas, dipilih tiga gerak-isyarat dasar yang berbasis pada *grasping gerak-isyarat*, yaitu (1) *Closed* (2) *Half-Open* (3) “*Thumbs-Up*”. Visualisasi ketiga gerak-isyarat ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Tiga Gerak-Isyarat Dasar, *closed*, *Half-Open* dan *Thumbs-Up*

Ketiga gerak-isyarat bisa dipetakan ke berbagai operasi dasar *assembly*, seperti translasi dan rotasi. Misalnya gerak-isyarat *Closed* bisa dipetakan menjadi operasi translasi, sehingga saat tangan bergerak dengan gerak-isyarat *Closed* maka benda *virtual* ikut bergerak mengikuti pergerakan tangan.

Karakterisasi dan Kalibrasi *Flex sensor*

Lekukan jari bisa dikuantifikasi secara diskrit berdasarkan bacaan analog *flex sensor* oleh MCU. Postur jari yang berbeda akan menghasilkan bacaan analog yang berbeda pula. Bacaan analog akan meningkat/menurun sesuai lekukan jari secara linear. Dengan demikian kombinasi antara bacaan *flex sensor* di jari telunjuk dan ibu jari akan menghasilkan suatu gerak-isyarat yang unik.

Nilai kombinasi dari bacaan kedua *flex sensor* kemudian dijadikan basis dari karakterisasi gerak-isyarat. Dengan mencatat kedua bacaan *flex sensors* di saat tangan melakukan gerak-isyarat yang ingin dikenali, maka karakterisasi gerak-isyarat berbasis *flex sensor* menjadi bisa dilakukan.

Adapun untuk mengakomodasi lekukan jari yang tidak akan selalu sama pada setiap gerak-isyarat dibuat maka karakterisasi *flex sensor* tidak didasarkan pada satu nilai angka analog tertentu, melainkan dengan sebuah rentang yang ditentukan sebagai interval minimum-maksimum (\pm) dari nilai yang dicatat saat gerak-isyarat dilakukan. Nilai yang kita catat ini disebut *threshold*. Sebagai contoh, apabila saat tangan dalam gerak-isyarat *Closed*, bacaan *flex sensor* menunjukkan *threshold* 500 untuk telunjuk dan *threshold* 700 untuk ibu jari, maka dengan interval 10, rentang nilai untuk gerak-isyarat *closed* yang tercatat adalah 495-505 untuk telunjuk dan 695-705 untuk ibu jari.

Nilai bacaan *flex sensor* bersesuaian dengan radius lekukan jari. Sehingga dapat diasumsikan terdapat korelasi antara variasi bacaan *flex sensor* dengan ukuran tangan pemakai glove. Sehingga nilai *threshold* yang telah dicatat untuk satu orang tidak akan selalu dapat digunakan untuk orang lain dengan ukuran tangan yang berbeda, bahkan bahkan walaupun ukuran tangan tidak berbeda secara signifikan. Maka daripada itu harus dilakukan proses penentuan ulang nilai-nilai *threshold* yang selanjutnya disebut sebagai kalibrasi. Kalibrasi perlu dilakukan untuk setiap pengguna *Motion Glove* agar proses pengenalan gerak-isyarat tetap akurat.

Prosedur Kalibrasi

Tujuan dilakukannya kalibrasi ialah untuk menentukan rentang pembacaan *flex sensor* dengan hasil yang diharapkan pada program Berikut adalah prosedurnya.

1. Pengguna mengenakan *Motion Glove* dan mengaktifasi seluruh sistem perangkat MCU dan *flex sensor*.
2. Untuk “*Half-Open*” pengguna menggenggam kalibrator (akan dijelaskan di bagian berikutnya)
3. Untuk “*Closed*”, pengguna cukup dengan melakukan gerakan kepalan tangan sempurna.
4. Untuk “*Thumbs-Up*”, pengguna membuat gerak-isyarat tangan seperti yang tergambar dengan resistansi maksimal pada telunjuk dan meminimalisir resistansi pada ibu jari. Menggunakan kalibrator berupa tiang sebagai *resting point*.
5. Pada setiap kalibrasi di atas, data dibiarkan terbaca selama sepuluh detik. Kemudian bacaan *flex sensor* yang ditimbulkan dari setiap gerak-isyarat pada masing-masing jari dicatat.
6. Angka *threshold* disimpan ke *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM) pada MCU untuk dijadikan referensi oleh program pengenalan di MCU.

Ilustrasi kalibrasi untuk setiap gerak isyarat bisa dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kalibrasi *Motion Glove*, dari kiri ke bawah, *Half-Open*, *Closed* dan *Thumbs-Up*

Pada proses kalibrasi di atas, kalibrator yang digunakan adalah plastisin dengan memperhitungkan bahwa bahan ini memenuhi dua syarat sebagai berikut:

1. Bahan ini pada awalnya dapat dideformasi secara leluasa mengikuti gestur tangan manusia secara sempurna pada setiap kategori
2. Setelah dideformasi sesuai dengan gestur tangan, plastisin ini akan mengeras sehingga dapat meminimalisir deformasi lanjutan.

Dengan demikian plastisin cukup kokoh dijadikan kalibrator namun penyesuaian masih dapat dilakukan saat plastisin telah mencapai wujud akhir. Terdapat dua kalibrator yang dibuat untuk dua kategori yakni *Half-Open* dan *Closed*. Kedua kategori ini membutuhkan kalibrator karena perwujudan gesturnya memiliki kemiripan. Oleh karena itu, dibutuhkan kalibrator yang handal yang dapat membedakan hasil pengambilan data *analog reading* dari masing masing gerak-isyarat

Uji Akurasi Pengenalan Gerak-Isyarat

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengetahui keakurasian pengenalan yang telah dilakukan berbasis karakterisasi masing-masing gerak-isyarat. Pada pengujian ini 10 subjek pengujian yang telah melalui prosedur kalibrasi diminta untuk melakukan satu set *sequence* kombinasi gerak-isyarat yang terdiri dari semua gerak-isyarat yang akan dikenali, yaitu: *Open*, *Closed*, *Half-Open*, *Closed*, dan *Thumbs-Up*. Gerak isyarat ini dilakukan secara *sequential* untuk mensimulasikan operasi VA dimana operasi yang dilakukan berbeda namun berulang-ulang. (contoh *sequence*: *Open*, kemudian *Half*, kemudian *Closed* dan terakhir *Thumbs-Up*). *Open* merupakan posisi *idle* saat tangan tidak melakukan gerak isyarat apapun, *Open* ikut di ukur dalam pengujian namun

tidak di-perhitungkan dalam perhitungan akurasi karena bukan merupakan gerak-isyarat. Urutan dan frekuensi *sequence* diasumsikan tidak mempengaruhi pengujian.

Terdapat jeda selama tiga detik dari setiap gerak-isyarat untuk meminimalisir kesalahan fluktuasi saat terjadi perubahan gerak-isyarat. Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk menjamin *repeatability*. Berhasil atau tidaknya *flex sensor* dalam membaca masing-masing gerak-isyarat dengan benar kemudian dicatat untuk selanjutnya diolah untuk mengetahui tingkat akurasi dari pengenalan untuk masing-masing karakteristik gerak-isyarat.

Hasil dan Pembahasan

Hasil uji akurasi direpresentasikan dengan simbol centang (☐) untuk mengindikasikan gerak-isyarat tersebut dikenali dengan benar, ataupun (X) digunakan untuk mengindikasikan bahwa gerak-isyarat tidak terbaca atau salah dikenali. Ketiga pengujian ditabulasikan masing-masing pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 dimana keberhasilan pengenalan untuk gerak-isyarat untuk setiap subjek pengujian dapat dilihat.

Tabel 1 Hasil uji Akurasi Percobaan 1

Subj.	Percobaan ke -1						% Akurasi
	O	H-O	C	H-O	C	T	
1	☐	☐	X	☐	☐	☐	83.33
2	X	☐	☐	☐	X	X	50
3	X	X	☐	☐	X	☐	50
4	☐	X	☐	X	X	X	33.33
5	☐	X	☐	X	☐	☐	66.67
6	☐	☐	☐	☐	☐	☐	100
7	☐	☐	☐	X	☐	X	66.67
8	☐	X	☐	X	☐	☐	66.67
9	☐	☐	☐	☐	X	☐	83.33
10	☐	☐	X	☐	☐	X	67.67

Tabel 2 Hasil uji Akurasi Percobaan 2

Subj.	Percobaan ke -2						% Akurasi
	O	H-O	C	H-O	C	T	
1	☐	X	☐	☐	☐	X	66.67
2	☐	☐	X	☐	X	X	50
3	☐	X	☐	X	X	☐	50
4	☐	X	X	☐	☐	☐	67.67
5	X	☐	☐	☐	☐	X	67.67
6	☐	☐	☐	X	☐	☐	83.33
7	☐	☐	X	☐	☐	☐	83.33
8	X	X	☐	☐	☐	X	50
9	☐	☐	☐	X	X	☐	67.67
10	☐	☐	X	X	X	☐	50

Tabel 3 Hasil uji Akurasi Percobaan 3

Subj.	Percobaan ke -3						% Akurasi
	O	H-O	C	H-O	C	T	
1	X	☐	X	X	X	☐	33.33
2	☐	X	☐	X	☐	☐	67.67
3	X	☐	☐	X	☐	X	50
4	☐	☐	X	☐	☐	☐	83.33
5	☐	☐	☐	☐	☐	X	83.33
6	X	☐	☐	X	☐	☐	67.67
7	☐	☐	X	☐	☐	☐	83.33
8	☐	X	☐	☐	X	☐	67.67
9	X	X	☐	X	☐	X	33.33
10	X	☐	☐	☐	☐	☐	83.33

Secara akumulatif, terdapat lima belas kali kombinasi gerak-isyarat yang dilakukan subjek pengujian yang terdiri atas tiga kali *Open*, enam kali *Half Open*, dan enam kali *Closed*. Setelah dilakukan pendataan, keberhasilan dari masing-masing Gerak-isyarat dari seluruh subjek pengujian setelah dirata-ratakan dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Persentase Akurasi Kumulatif Seluruh Percobaan

Resp	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	Rata-rata (%)	Std Deviasi
1	83,33	67,67	33,33	61,44333	20,8818
2	50	50	67,67	55,89	8,32971
3	50	50	50	50	0
4	33,33	67,67	83,33	61,44333	20,8818
5	66,67	66,67	83,33	72,22333	7,85359
6	100	83,33	67,67	83,66667	13,2008
7	66,67	83,33	83,33	77,77667	7,85359
8	66,67	50	67,67	61,44667	8,1043
9	83,33	67,67	33,33	61,44333	20,8818
10	67,67	50	83,33	67	13,6151

Tabel 5 Persentase Akurasi Per Gerak-Isyarat

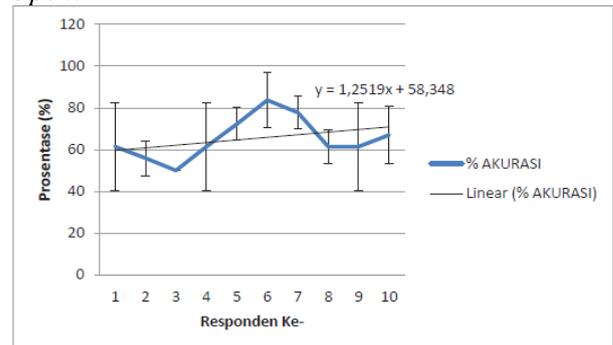
Gerak isyarat	Jumlah Akurat dikenali	Jumlah percobaan	% akurasi
<i>Closed</i>	40	60	66.67
<i>Half-Open</i>	36	36	60
<i>Thumbs-Up</i>	19	30	63.33

Analisis Uji Akurasi

Berdasarkan Tabel 5, ditemukan bahwa gerak-isyarat yang tingkat keberhasilannya paling tinggi ialah *Closed*, sedangkan yang tingkat keberhasilannya paling rendah ialah *Half-Open* dengan persentase akurasi 60%. Secara proses kalibrasi, karakteristik *Closed* memiliki cara yang paling sederhana yakni hanya dengan mengepalkan tangan. Sedangkan dua karakteristik lainnya yakni *Half-Open* dan *Thumbs-Up* dilakukan dengan menggunakan kalibrator tertentu.

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa subjek pengujian (“responden”) dengan rata-rata akurasi

yang tinggi (80%) maupun rendah (50%) memiliki standar deviasi yang kecil, sementara itu subjek pengujian dengan akurasi rata-rata (60%) di antaranya memiliki standar deviasi yang cukup besar, hal ini bisa menjadi indikator bahwa terdapat salah satu gerak-isyarat yang secara signifikan gagal dikenali oleh para subjek pengujian dan mempengaruhi bobot akurasi akumulatif dari pengenalan gerak-isyarat *Motion Glove*. Sesuai yang telah di didiskusikan sebelumnya, gerak-isyarat tersebut adalah *Half-Open*.



Gambar 7 Grafik Akurasi Seluruh Subjek pengujian

Half-Open dianggap sebagai gerak-isyarat yang cukup ‘menjebak’ di antara gerak-isyarat-gerak-isyarat lainnya. Pasalnya, secara pergerakan tangan, gerak-isyarat ini memiliki rentang nilai yang kecil dan berdekatan dengan *threshold* gerak-isyarat *Open* dan *Closed* apabila jari tangan terlalu rapat menekuk maka akan berpotensi dikenali sebagai gerak-isyarat *closed*, sementara apabila jari tangan kurang menekuk, maka gerak-isyarat *Open* yang akan terbaca.

Gerak-isyarat *Thumbs-Up* di sisi lain ternyata terkadang sulit di reproduksi tanpa kalibrator dan memiliki variasi lekukan jari yang cukup besar, dalam gerak-isyarat ini bacaan *flex sensor* untuk ibu jari dapat berubah-ubah karena dalam gerak-isyarat *Thumbs-Up*, ibu jari bisa berotasi secara bebas dan setiap orang memiliki kebiasaan berbeda untuk sejauh mana meluruskan ibu jari dalam gerak-isyarat *Thumbs-Up*.

Permasalahan umum yang ditemui pada seluruh gerak-isyarat adalah dengan gerak-isyarat sedemikian rupa, resistansi pasti terjadi pada kedua *flex sensor* karena keduanya ditekuk oleh masing-masing jari itu sendiri. Masalah muncul saat terjadi persilangan atau *overlapping* pada *analog reading numbers* yang menyebabkan kesalahan pembacaan karakteristik. Indikator kegagalan pembacaan nampak bila gerak-isyarat yang diberikan berbeda dengan seharusnya

muncul. Berbicara sekilas mengenai karakteristik *analog reading numbers* pada masing-masing gerak-isyarat ialah bahwa syarat terpenuhinya karakteristik bersifat kombinasi. Artinya gerak-isyarat tidak akan terpenuhi apabila prasyarat nilai minimum dan maksimum pada masing-masing jari tidak terpenuhi. Dengan begitu, salah satu penyebab kegagalan ialah ketidaksesuaian prasyarat seperti yang telah disebutkan di atas. Adapun untuk mencegah *overlap tersebut*, nilai parameter interval *threshold* dapat dikurangi.

Penyebab selanjutnya ialah terjadinya pergeseran *flex sensor* pada kantong tempat *flex sensor* diletakkan yang menyebabkan perbedaan pembacaan. Akan tetapi hal ini dianggap bukan sebagai penyebab utama, karena pergeseran ini terjadi hanya pada sebagian hasil pengambilan data saja. Hasil yang dipengaruhi oleh faktor ini mayoritas ditimbulkan oleh tangan yang berukuran lebih kecil dibandingkan tangan lainnya. Dengan ukuran tangan yang lebih kecil, khususnya ukuran jari telunjuk dan ibu jari, menyebabkan sarung tangan yang dilengkapi dengan *flex sensor* tidak terpergunakan secara erat sehingga kemungkinan *flex sensor* bergeser masih ada. Lain halnya dengan yang terpel langsung pada tangan yang memastikan seluruh *flex sensor* menempel dengan postur lekukan jari secara sempurna.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis yang telah dilakukan maka penelitian ini memiliki beberapa kesimpulan, yang pertama *Flex sensor* merupakan pilihan yang efektif yang berperan sebagai pengambil data gerak-isyarat tangan dalam konteks *Motion Glove*. Hal ini dapat dikorelasikan dengan beberapa hal, yakni keakurasian *flex sensor* terbilang tinggi dalam membaca tiga kategori gerak-isyarat tangan manusia yakni terbuka, setengah terbuka, dan tertutup. Untuk gerak isyarat tertinggi keakurasiannya adalah *Open-state* dengan 73.33%, sedangkan yang terendah ialah *Half-Open* dengan 60%. Namun demikian, keakurasian yang tinggi ini hanya bisa ditemukan konsisten pada beberapa subjek pengujian dengan ukuran tangan yang sesuai dengan *Motion Glove* yang digunakan.

Kedua, karakter fisik *flex sensor* yang dapat menyesuaikan dengan keadaan sarung tangan atau berbagai jenis sarung tangan sehingga cukup adaptif dalam aplikasi serupa, khususnya *Motion Glove*. Daur pakai *flex sensor* yang tinggi, hingga mencapai seribu kali tekukan, juga menjadi faktor penunjang keandalan yang baik sehingga dapat

digunakan dalam jangka waktu yang relatif panjang.

Terakhir, keakurasian pengenalan gerak-isyarat menggunakan *flex sensor* dipengaruhi paling besar oleh seberapa baik *flex sensor* tersebut menempel pada sarung tangan dan mampu mengikuti piston lekukan jari, sehingga dengan desain sarung tangan *best-fit* yang bisa menyokong *flex sensor* sedemikian rupa untuk berbagai ukuran tangan maka akurasi dari metode pengenalan yang di usulkan dalam penelitian ini bisa ditingkatkan lebih jauh.

Referensi

- [1] Y. D. Lang, Y. X. Yao, and P. J. Xia, "A survey of virtual assembly technology," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 10, pp. 711–716, 2008.
- [2] L. Dipietro, A. M. Sabatini, and P. Dario, "A Survey of Glove-Based Systems and Their Applications," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 38, no. 4, pp. 461–482, Jul. 2008.
- [3] A. S. Abdul Rachman, "Perancangan, Pengembangan dan Komunikasi Antarmuka *Motion Glove* dengan Sistem CAD 3D untuk *Virtual Assembly*," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2014.
- [4] Spectra Symbol, Inc, "*Flex sensors* Datasheet."
- [5] I. M. Bullock, J. Z. Zheng, S. D. L. Rosa, C. Guertler, and A. M. Dollar, "Grasp Frequency and Usage in Daily Household and Machine Shop Tasks," *IEEE Trans. Haptics*, vol. 6, no. 3, pp. 296–308, Jul. 2013.
- [6] T. S. Huang and V. I. Pavlovic, "Hand Gesture Modeling, Analysis, and Synthesis," *Proc IEEE Int. Workshop Autom. Face Gesture Recognit. 1995 Pp 73-79 Key Citeulike3766896*, pp. 73–79, 1995.