

## Development of Virtual Manufacturing Using Wearable Sensor, Image Processing and 3D CAD System

Gandjar Kiswanto<sup>1\*</sup>, Adjeng Ayu Setiani<sup>1</sup>, Dody Rakhmat Ramadhan<sup>1</sup>, Ferdiansyah Zhultriza<sup>1</sup>, Muhammad Fathin Juzar<sup>1</sup>, Rachmad Muhammad Suryantoro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia - Depok

\*Corresponding author: gandjar\_kiswanto@eng.ui.ac.id

**Abstract.** This research aims to develop virtual manufacturing technology that can read the movement and contraction of human arm muscles to allow human interact with virtual objects in a novel way. Experiments were conducted to allow users to have both kinesthetic and visual interaction with virtual objects by combining biofeedback from electromyogram (EMG), kinesthetic and visual information from hand image processing. From the results of the research, this model architecture allows virtual objects to be grasped, moved and dropped through muscle exertion classification based on physical world masses.

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi manufaktur maya yang dapat membaca gerakan dan kontraksi otot lengan manusia untuk memungkinkan pengguna berinteraksi dengan objek virtual dengan cara baru. Eksperimen dilakukan untuk memungkinkan pengguna melakukan interaksi kinestetik dan visual dengan objek virtual dengan menggabungkan *biofeedback* dari informasi kinestetik *elektromyogram* (EMG) dan visual dari pemrosesan citra tangan. Dari hasil penelitian, model ini memungkinkan objek virtual untuk digenggam, dipindahkan dan dijatuhkan melalui klasifikasi pengerahan tenaga berdasarkan massa dunia fisik.

**Keywords:** *Computer-Aided Design, Image Processing, Kontraksi otot, Virtual Manufacturing, Wearable Sensor.*

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Pada manufaktur gelombang keempat, desain dan pengembangan produk dilakukan di laboratorium simulasi dan menggunakan model yang terdigitalisasi. Jaringan mesin - mesin telah melahirkan masyarakat di industri menjadi lebih sadar akan kebutuhan teknologi yang sangat fleksibel, merespon dengan cepat, tidak hanya dengan perintah manusia namun teknologi itu juga dapat membuat persepsi dan pengarahannya sendiri [1]. Misalnya, sebuah studi oleh Slater, dkk. menemukan bahwa ketampilan dapat ditingkatkan ketika teknik interaksi yang digunakan memungkinkan pengguna untuk melibatkan indra seluruh tubuhnya [2, 4, 5]. Barfield dan Hendrix melaporkan bahwa tingkat interaktivitas antara subjek dan lingkungan virtual, yang menyerupai lingkungan nyata dimana seseorang dapat berinteraksi secara alami, intuitif dan naluriah akan meningkatkan ilusi ketampilan pengguna [3, 5].

Konsep realitas maya telah berkembang selama dua dekade terakhir. Teknologi realitas maya menggabungkan beberapa lingkungan manusia dengan komputer untuk menyediakan berbagai sensasi (visual, haptic, auditory, dll.) yang memainkan peran penting dalam simulasi interaksi antara manusia dan komputer dalam 3D dengan

menjadikan seolah-olah pengguna masuk ke dunia maya yang ditampilkan di layar komputer [6]. Pengguna saat ini sudah dapat berinteraksi dengan objek virtual dengan cara melihat, mendengar, atau memindahkannya dari suatu tempat ke tempat lain. Namun, pengguna belum dapat merasakan massa objek yang berinteraksi dengannya dilingkungan maya. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk membuat model virtual manufacturing yang dapat memenuhi kebutuhan pengguna agar bisa berinteraksi dan juga bisa merasakan massa objek virtual yang sama seperti kondisi di dunia nyata.

Teknologi yang digunakan yaitu sensor otot EMG sebagai pembacaan kontraksi otot tangan saat mengangkat atau menggerakkan objek, data yang masih berbentuk sinyal mentah selanjutnya akan di filtering lebih dahulu agar sinyal output yang ditampilkan akurat dan stabil. Selanjutnya data output di kalibrasi mengacu pada massa objek di dunia nyata. Eksperimen ini dilakukan dengan mengambil sampel data dari individu yang beragam agar kalibrasi lebih baik.

Data elektrik kontraksi otot yang telah melewati kalibrasi menjadi satuan gaya selanjutnya menjadi input pada 3D CAD System yang dikembangkan sebagai media interaksi pengguna nantinya. Pada 3D CAD System terdapat input kedua yakni dari hasil pengolahan citra tangan. Hal ini bertujuan agar

pengguna dapat berinteraksi secara visual, dengan memanfaatkan citra tangan yang tertangkap kamera selanjutnya tangan dideteksi dan dibaca sebagai sebuah perintah oleh sistem untuk melakukan suatu kerja tangan yang terbaca oleh kamera dan direpresentasikan melalui model tangan yang melakukan kerja tersebut di lingkungan maya dalam hal ini 3D CAD System yang dikembangkan. Dalam melakukan interaksi dengan objek maya, kontraksi otot saat menggerakkan objek virtual akan sama seperti kontraksi otot saat menggerakkan objek dikondisi nyata.

## Metode Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi empat bagian penting. Filtering dan kalibrasi sensor EMG, karakterisasi kontraksi otot *Biceps Brachii*, pengolahan citra dan sistem 3D CAD. Setiap metode penelitian akan di jelaskan sebagai berikut:

### 1. Filtering dan Kalibrasi Sensor EMG

Sinyal yang direkam oleh sensor otot tidak sepenuhnya bersih dari gangguan yang mempengaruhi keakuratan pembacaan sinyal yang umumnya disebut dengan *noise*. *Noise* dari sensor EMG difilter menggunakan filter digital. Filter digital yang optimal untuk keperluan *virtual manufacturing* adalah sinyal yang memiliki karakteristik landai dengan jumlah riak (*ripple*) yang minimum. Uji coba dilakukan dengan menggunakan filter yang sudah umum digunakan dalam pemrosesan sinyal digital. Terdapat 4 jenis filter yang diuji coba yaitu filter *Moving Average*, Chebyshev, Butterworth, dan Elliptic. Keempat filter ini akan dikomparasi untuk mendapatkan tipe filter yang paling optimum beserta parameter desain filternya.

Selanjutnya, sensor EMG dikalibrasi untuk mengukur kekuatan kontraksi otot brachii biceps sehingga nilai gayanya dapat digunakan sebagai input untuk berinteraksi dengan objek dalam aplikasi CAD virtual. Diteliti hubungan antara amplitudo sinyal EMG yang sudah difilter dengan beban dumbbell yang bervariasi. Kemudian, nilai  $R^2$  setiap pengguna akan dibandingkan untuk menentukan tren pembacaan sensor otot. Untuk menerapkannya dalam sistem *virtual manufacturing*, setiap fungsi garis pengguna dihitung dari beban akan digunakan untuk memodifikasi kode mikrokontroler yang berfungsi sebagai penerima sinyal. Ini akan memungkinkan mikrokontroler memodifikasi dan mengkalibrasi pembacaannya tergantung pada pengguna.

### 2. Karakterisasi Kontraksi Otot *Biceps Brachii*

Penelitian ini memiliki fokus lebih kepada pengamatan Kinesiological EMG, dimana pengamatan aktivitas neuromuscular dilakukan saat kondisi beraktivitas. Tentunya masing-masing karakteristik kontraksi otot per individu pun berbeda, pada penelitian ini variabel bebas dari masing-masing individu yang diuji adalah Body Mass Index, dimana BMI merupakan rasio antara tinggi tubuh terhadap berat badan. Hasil karakterisasi ini digunakan untuk menentukan batasan input dari kontraksi otot menuju aplikasi CAD yang dikembangkan.

### 3. Pengolahan Citra

Pengolahan citra ini bertujuan untuk menentukan koordinat telapak tangan dan melakukan recognition. Untuk melakukan tracking menggunakan algoritma CAMSHIFT dan untuk melakukan recognition menggunakan algoritma Contour. Apabila dijelaskan secara singkat, Algoritma CAMSHIFT memiliki penjelasan seperti berikut:

1. Memilih bagian awal yang diinginkan yakni berisi objek yang ingin dilacak, bagian ini berupa koordinat persegi dari objek itu
2. Langkah selanjutnya membuat histogram warna dari objek yang telah di pilih
3. Melakukan histogram backprojection pada frame
4. Menemukan pusat masa (*center of mass*) pada search windows menggunakan metode meanshift berdasarkan gambar distribusi probabilitas
5. Menempatkan search windows ke titik yang telah didapatkan menggunakan langkah empat dan melakukan literasi sampai ketemu titik yang paling tengah
6. Memproses frame berikutnya dengan posisi search windows dari langkah lima

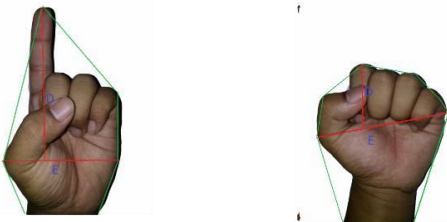
Sedangkan untuk melakukan *recognition* menggunakan algoritma Contour. Untuk *recognition* batasannya adalah hanya untuk mengidentifikasi enam macam pose telapak tangan. Telapak tangan dalam pose menggegam, pose membentuk angka satu, pose membentuk angka dua, pose membentuk angka tiga, pose membentuk angka empat, dan pose membentuk angka lima.

Tahap inilah yang menjadi jantung dari algoritma recognition ini, pada gambar 1 terdapat garis yang memiliki beda warna warna hitam menunjukkan *convex hull*, titik merah yang berada di ujung garis hitam yang disebut dengan *defect*, sedangkan garis yang berwarna hijau adalah contours. Untuk menentukan pose

tangan membentuk pose 2 sampai pose 5 cukup menggunakan algoritma sebagai berikut. Ketika citra tangan sudah didapatkan dan sudah melakukan *convex hull*, setiap nilai *convex hull* terbentuk dari cekungan pada citra tangan namun belum tentu setiap cekungan merupakan cekungan yang berasal dari jari tangan. Lihat segita yang di bentuk oleh garis ABC tersebut, untuk memastikan cekungan tersebut berasal dari jari tangan peneliti menghitung lebar sudut yang di bentuk oleh sisi b dan c, apabila sudut tersebut memiliki nilai dibawah  $90^0$  maka dianggap sebagai cekungan yang berasal dari jari tangan. Sehingga apabila didapatkan 1 sudut yang nilainya dibawah Sembilan puluh maka pose telapak tangan menunjukkan angka dua dan seterusnya. Namun algoritma ini tidak berlaku untuk menentukan pose tangan menggenggam dan menunjukkan angka satu. Untuk menentukan pose tangan tersebut dibuat algoritma baru dimana untuk menentukan pose tangan tangan menunjukkan pose satu atau menggenggam cukup hanya dengan membandingkan garis D dan E, apabila garis D memili Panjang yang melebihi garis E maka pose telapak tangan menunjukkan angka satu dan apabila garis D tidak melebihi garis E maka pose tangan menunjukkan pose menggenggam, untuk lebih jelasnya bisa melihat gambar 2.



Gambar 1 : Pose tangan membentuk angka lima



Gambar 2. Pose tangan membentuk angka satu dan menggenggam

#### 4. Pengaplikasian Sistem CAD

Pengaplikasian pada penelitian ini menggunakan bantuan perangkat lunak Unity dan Visual Studio. Pengaplikasian ini memanfaatkan data sensor dan pengolahan citra. Aplikasi CAD yang digunakan adalah Autodesk Inventor sebagai ekstensi objek

pada dunia virtual. Sedangkan, untuk membuat tangan virtual, digunakan aplikasi Autodesk Maya.

Berikut algoritma yang digunakan untuk membangun aplikasi virtual manufacturing.

#### **Initialization**

Input 1: >d1,d2,d3

Input 2: >A1

d1 = hand gesture

d2 = x-axis

d3 = y-axis

A1 = hand contraction

#### Function Received Data

Input: tmp1 as byte

data1 and avalues1 as string

tmp1 = serial.readbyte()

while tmp1 != 255

data1 += tmp1

tmp1 = serial.readbyte()

if tmp1 = '>' && data1.Length>1

avalues1 = data1

parseValues1(avalues1)

data1 = ""

end

End

end function

#### Function parseValues1(av1 as string)

split1 = av1.split(',')

d1 = int.Parse(serial.readline().split(',')[0])

d2 = int.Parse(serial.readline().split(',')[1])

d3 = int.Parse(serial.readline().split(',')[2])

end function

#### Function Received Data 1

Input: tmp2 as byte1

Data2 and avalues2 as string

Tmp2 = serial.readbyte()

while tmp2 != 255

data2 += tmp2

tmp2 = serial.readbyte()

if tmp2 = '>' && data2.Length>1

avalues2 = data2

parseValues2(avalues1)

data2 = ""

end

End

end function

#### Function parseValues2(av2 as string)

Split2 = av2.split(',')

A1

float.Parse(serial.readline().split(',')[0])

end function

#### Function Loop

try

hand.Xaxis = d2

hand.Yaxis = d3

if d1=0 then

do grabhand

else if d1=1 then

```

do pointing
else if dl = 2 then
do peace
else if dl=3 then
do threefingers
else if dl=4 then
do fourfingers
else if dl=5 then
do openhand
end

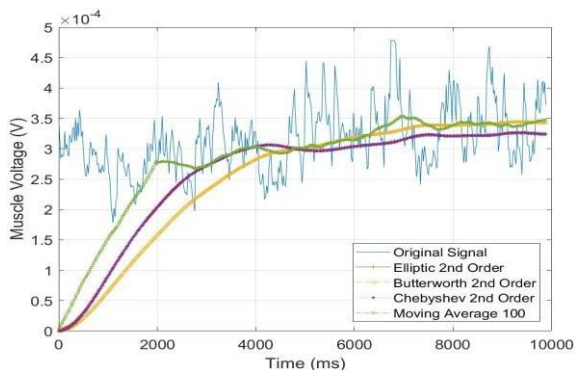
if A1 > threshold then
do grab
else
do release

catch
end
end function
    
```

### Hasil dan Pembahasan

1) Hasil Filtering dan Kalibrasi Sensor EMG Filter dilakukan dengan menggunakan filter domain waktu dan filter domain frekuensi. Dalam domain waktu, uji coba filter *Moving Average* didesain dengan cara uji coba jumlah titik yang dirata-rata. Ketika jumlah titik meningkat, filter membutuhkan waktu lebih lama untuk menampilkan data yang dikalibrasi karena data yang dibutuhkan untuk dirata-rata lebih banyak. Seiring dengan bertambahnya jumlah titik yang dirata-rata, grafik akan memiliki lebih sedikit *ripple*.

Jumlah titik yang optimal dari filter *Moving Average* diuji coba menggunakan nilai *Sum Absolute Difference* antara jumlah titik dengan nilai sinyal *raw* dan didapatkan bahwa jumlah titik 100 cukup optimal untuk memfilter sinyal EMG. Nilai melebihi 100 titik memiliki respons yang kurang lebih sama terhadap data.



Gambar 3. Perbandingan filter Moving average, Elliptic, Chebyshev dan Butterworth

Untuk Filter dalam domain frekuensi, dilakukan transformasi *Fast Fourier* (FFT) pada sinyal, dan hasilnya frekuensi rendah antara  $0 - 0.005\pi$  memiliki komponen sinyal yang diperlukan. Dalam tahap ini dapat ditentukan tipe sinyal dan frekuensi *cut-off* yaitu filter *low-pass* dan frekuensi *cut-off*  $0.005\pi$ .

Parameter filter lain dilakukan uji coba hingga didapatkan nilai orde yang optimum yaitu orde 2. Seluruh filter yang telah didesain dengan parameter optimalnya masing-masing ditampilkan dalam satu grafik untuk dibandingkan performanya.

Perbandingan filter menunjukkan bahwa filter berfungsi lebih baik dalam domain frekuensi. Filter *Moving Average* berfluktuasi lebih dari tiga filter lainnya.

Secara umum, filter Elliptic dan Chebyshev memiliki kurva yang sama tetapi ketika diperiksa pada skala yang diperbesar, tampak bahwa filter Elliptic memiliki lebih banyak riak di sepanjang kurvanya.

Untuk menentukan filter optimal, fluktuasi atau variasi dalam sinyal dibandingkan. Ini dapat diwakili oleh standar deviasi. Jika standar deviasinya besar, itu berarti banyak *ripple* dalam sinyal, dan sebaliknya. Standar deviasi akan diukur dari titik ketika sinyal di filter stabil: rentang data antara detik 9 dan 10. Nilai ini dibandingkan untuk semua filter filter uji.

Tabel 1: Standar Deviasi Filter dalam Kondisi Sinyal Stabil (9s – 10s)

Filter	Standard Deviation
Butterworth	$5.243 \times 10^{-7}$
MA100	$36.03 \times 10^{-7}$
Chebyshev	$8.619 \times 10^{-7}$
Elliptical	$6.219 \times 10^{-7}$

Setelah dibandingkan, nilai Butterworth memiliki standar deviasi terkecil dengan selisih yang kecil. Sementara itu, untuk kalibrasi, hasil kalibrasi kontraksi otot dilakukan terhadap 5 responden dan hasilnya tren dari 5 garis dalam grafik mendekati fungsi eksponensial.

Nilai R Kuadrat dari tabel menunjukkan pembacaan sensor semua responden dengan variasi beban memiliki hubungan eksponensial mendekati 1 atau 100%.

Tabel 2: Standar Deviasi Tren Eksponensial Kontraksi Otot

Respondent No.	Standard Deviation
1	0,96
2	0,99
3	0,96
4	0,85
5	0,79
Total Average	0,91

### 2) Hasil Karakterisasi Otot Biceps Brachii

**Tabel 3:** Berat dan Tinggi Individu

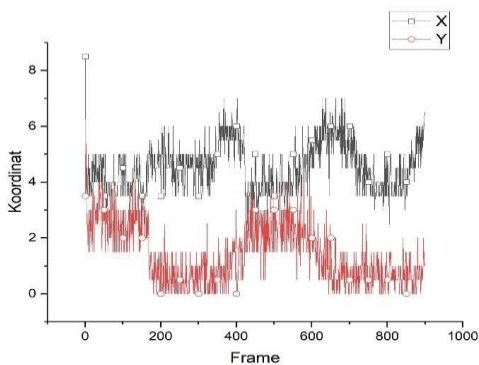
No	Initial	Age	Gender	Height (cm)	Weight (kg)	BMI	Classification
1	A	22	Male	168	79.5	28.2	Over
2	B	23	Male	175	57	18.6	Normal
3	C	22	Male	175	79.1	25.8	Over
4	D	22	Male	168	57.6	20.4	Normal
5	E	22	Male	176	87	28.1	Over
6	F	22	Male	174	98	32.4	Obesity
7	G	22	Male	174	95	31.4	Obesity
8	H	26	Male	172	72	24.3	Normal
9	I	22	Male	167	61.2	21.9	Normal
10	J	22	Male	161	66.4	25.6	Over

**Tabel 4:** Kontraksi Otot Tiap Individu

No	Initial	mili Volt(mV) Value Per Load Variable					
		0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	4 kg	5 kg
1	A	0,014	0,025	0,104	0,097	0,118	0,126
2	B	0,033	0,058	0,083	0,142	0,220	0,211
3	C	0,018	0,047	0,076	0,089	0,134	0,120
4	D	0,043	0,070	0,095	0,127	0,173	0,216
5	E	0,027	0,036	0,051	0,071	0,122	0,156
6	F	0,045	0,049	0,067	0,114	0,092	0,137
7	G	0,019	0,032	0,039	0,077	0,073	0,068
8	H	0,026	0,040	0,042	0,054	0,095	0,104
9	I	0,028	0,048	0,086	0,134	0,211	0,203
10	J	0,052	0,080	0,088	0,069	0,102	0,150

Terjadi perbedaan yang cukup signifikan antara besaran BMI terhadap besaran kontraksi otot, dimana hubungannya berbanding terbalik antara kenaikan BMI terhadap kontraksi.

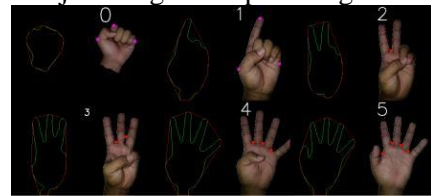
1) Hasil Pengolahan Citra



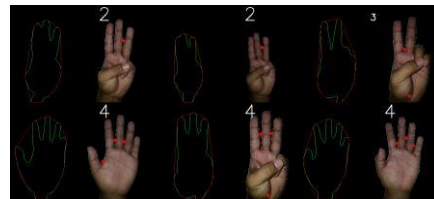
Gambar 4. Deviasi Koordinat (x,y) Citra Tangan Menggunakan Algoritma CAMSHIFT

Dilakukan pengukuran tracking dengan cara membandingkan koordinat sesungguhnya dengan koordinat hasil tracking. Hasil perbandingan tersebut ditampilkan pada gambar 4.

Pada gambar 4 terlihat bahwa defiasi yang didapatkan sangat kecil dengan deviasi terbesar adalah 7 piksel. Deviasi ini bisa diabaikan. Untuk melakukan pengujian kemampuan recognition diberikan sejumlah gambar pose tangan.



Gambar 5. Berhasil melakukan recognition

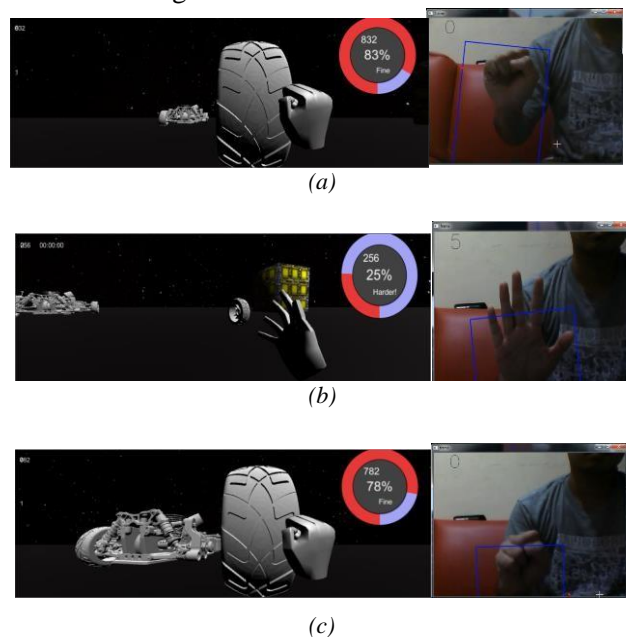


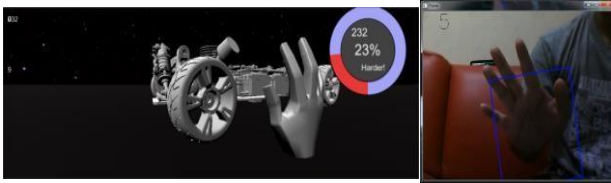
Gambar 6. Gagal melakukan recognition

Dari gambar tersebut terdapat gambar yang berhasil dilakukan recognition seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 dan yang tidak berhasil melakukan recognition ditunjukkan pada gambar 6. Diambil kesimpulan bahwa recognition akan berhasil jika tangan terbuka dengan jelas memberikan sudut yang cukup untuk dilakukan perhitungan, selain itu factor cahaya juga sangat penting. Dengan cahaya yang terang membuat distribusi warna menjadi lebih merata sehingga ketika dilakukan otsu thresholding bayang bayang yang membentuk sudut tidak akan terbaca sebagai sudut.

2) Hasil Pengaplikasian Sistem CAD

Berikut hasil desain aplikasi virtual manufacturing.





(d)

Gambar 7. Simulasi pemanufaktur maya (a) menggerakkan tangan (b) menggenggam ban (c) melakukan perakitan (d) berhasil melakukan perakitan.

Pada gambar 7(a), hasil pengolahan citra menunjukkan kondisi tangan membuka sehingga tangan virtual juga akan terbuka serta bergerak sesuai koordinat x dan y hasil pelacakan tangan. Bar di kanan atas menunjukkan kontraksi otot punggu. Lalu, gambar 7(b), menunjukkan tangan menggenggam dan kontraksi otot sudah mencukupi untuk mengangkat ban. Begitu seterusnya pada gambar 7(c) dan (d) sehingga ban berhasil terpasang dengan baik ke objek mobil virtual sebagai simulasi virtual manufacturing.

### Kesimpulan

#### 1) Kesimpulan Filtering dan Kalibrasi Sensor

Setelah pengujian untuk keempat filter, dapat disimpulkan bahwa, meskipun perbedaan antar tiga filter domain frekuensi tidak signifikan, filter optimal untuk sensor EMG Myoware untuk penggunaan Virtual Manufacturing adalah filter Low-pass Butterworth. Filter Butterworth memiliki nilai deviasi standar terkecil dalam kondisi otot *steady state*. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa kontraksi otot dapat diprediksi sebagai tren eksponensial.

#### 2) Kesimpulan Karakterisasi Otot *Biceps Brachii* Sensor

Dalam proses karakterisasi otot *biceps brachii*, terdapat korelasi positif antara besarnya kontraksi otot dengan nilai BMI. Hubungannya berbanding terbalik antara kenaikan BMI terhadap kontraksi. Pada tahap awal, BMI dapat menjadi parameter untuk melakukan kalibrasi, ini karena ada kesamaan karakteristik kontraksi otot di antara responden yang memiliki kelas BMI yang sama.

#### 3) Kesimpulan Pengolahan Citra

Algoritma CAMSHIFT merupakan algoritma yang baik dan teliti untuk melakukan tracking terhadap benda yang mengalami transformasi. Algoritma hand recognition yang telah dikembangkan akan berhasil melakukan *recognition* asalkan pose tangan terlihat jelas terbuka dan tidak ada gangguan background maupun gangguan bayangan.

#### 4) Kesimpulan Pengaplikasian Sistem CAD

Simulasi pengaplikasian virtual manufacturing telah teruji baik dengan melakukan perakitan ban ke mobil sebagai bentuk kegiatan manufaktur dengan memanfaatkan gerakan tangan berdasarkan pengolahan citra serta kontraksi otot tangan berdasarkan sensor EMG.

### Penghargaan

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian PITTA 2018.

### Referensi

- [1] Bernard Marr, 2016, What everyone must know about industry 4.0, <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/06/20/what-everyone-must-know-about-industry-4-0/#e0866ae795f7>. Retrieved 19-6-2018 11.48 WIB.
- [2] Bragt, J. 2nd Twente Student Conference on IT, The Netherlands, volume 24. Citeseer. 2005. Do exertion interfaces provide better exercise environments.
- [3] Barfield W, Hendrix C. The effect of update rate on the sense of presence within virtual environments. *Virtual Reality*. 1995; 1:3–15.
- [4] Slater M, Steed A, McCarthy J, Maringelli F. The influence of body movement on subjective presence in virtual environments. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*. 1998; 40(3):469–477.
- [5] Kevin Ponto, Ryan Kimmel, Joe Kohlmann, Aaron Bartholomew, Robert G. Radwin. Virtual Exertions: a user interface combining visual information, kinesthetics and biofeedback for virtual object manipulation *Proc IEEE Symp 3D User Interfaces*. 2012; 2012:85–88. doi:10.1109/3DUI.2012.6184189.
- [6] Arif Krisbudiman, Gandjar Kiswanto., Development Prototype Design of Virtual Assembly Application-Based Leap Motion. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, Vol-3, Issue-5, 2017, ISSN: 2454-1311

