

PENGOPTIMALAN GERAKAN LENGAN PROSTETIK BIONIK MENGGUNAKAN *DECISION BASED VELOCITY RAMP*

Edita Rosana Widasari*¹

¹Universitas Brawijaya, Malang

Email: ¹editarosanaw@ub.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 15 Januari 2024, diterima untuk diterbitkan: 19 Juni 2025)

Abstrak

Di seluruh dunia, terdapat 57,7 juta individu yang kehilangan lengan mereka dan menghadapi hambatan dalam melakukan tugas sehari-hari. Saat ini, lengan prostetik bionik telah dikembangkan salah satunya yaitu "Sistem Pengenalan Pergerakan Prostetik Tangan Bionik Bawah Siku Menggunakan Metode *K-Nearest Neighbor* berbasis sinyal *Electromyography*" (Adani, M. S., Widasari, E.R., 2023). Namun, penelitian tersebut memiliki beberapa keterbatasan dalam kecepatan dan posisi sudut servo. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian ini mengusulkan penggunaan *Decision Based Velocity Ramp* (DBVR) sebagai metode *post-processing* untuk memperbaiki kecepatan servo dalam mencapai posisi target dan meningkatkan presisi sudut posisi target servo. Hasil menunjukkan bahwa pembacaan sensor *Myoware* memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi hingga 100%, dengan nilai minimum 0.18V dan maksimum 2.84V untuk seluruh gerakan lengan prostetik bionik. Kemudian, kecepatan servo meningkat secara signifikan sebesar 74.16%. Servo dengan menggunakan DBVR berhasil mencapai posisi sudut target dengan tingkat keberhasilan rata-rata 92%, dimana lebih baik 16% dibandingkan dengan servo tanpa penerapan DBVR. Oleh karena itu, penggunaan DBVR telah terbukti efektif dalam meningkatkan kecepatan dan akurasi servo dalam mencapai posisi sudut target pada seluruh gerakan lengan prostetik bionik, meliputi gerakan buka, gerakan genggam, gerakan sip, gerakan ok-tengah, gerakan *cool*, gerakan spiderman, gerakan pistol dan gerakan tengah.

Kata kunci: DBVR, EMG, Gerakan Lengan Prostetik Bionik, servo, sudut

OPTIMIZATION OF BIONIC PROSTHETIC ARM MOVEMENT USING DECISION BASED VELOCITY RAMP

Abstract

Globally, there are 57.7 million individuals who have lost their arms and face challenges in performing daily tasks. Currently, bionic prosthetic arms have been developed, one of which is the "Recognition System for Bionic Forearm Prosthetic Hand Movements Using *K-Nearest Neighbor Method Based on Electromyography Signal*" (Adani, M. S., Widasari, E.R., 2023). However, this research has some limitations in terms of speed and servo angle positions. To address this issue, this study proposes the use of *Decision Based Velocity Ramp* (DBVR) as a *post-processing* method to improve the servo speed in reaching target positions and enhance the precision of target servo angle positions. The results indicate that *Myoware* sensor readings have a very high accuracy level, up to 100%, with a minimum value of 0.18V and a maximum of 2.84V for all bionic prosthetic arm movements. Furthermore, the servo speed increased significantly by 74.16%. Servo, when using DBVR, successfully reached the target angle positions with an average success rate of 92%, which is 16% better compared to servo without the implementation of DBVR. Therefore, the use of DBVR has proven to be effective in improving the speed and accuracy of the servo in reaching target angle positions for all bionic prosthetic arm movements, including open movement, grip movement, sip movement, ok-middle movement, cool movement, spiderman movement, pistol movement, and middle movement.

Keywords: DBVR, EMG, Bionic Prosthetic Arm Movements, Servo, Angle

1. PENDAHULUAN

Amputasi lengan mempengaruhi kualitas hidup dan kemandirian individu, dengan sekitar 57,7 juta

orang di seluruh dunia mengalami kondisi ini (MCDONALD, et al., 2021). Lengan prostetik bionik buatan menawarkan solusi potensial, namun masih

ada tantangan dan keterbatasan dalam penggunaannya. Berdasarkan data dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, tingkat penerimaan dan kepuasan pengguna lengan prostetik bervariasi dari 27%-56% untuk *upper limb amputation* (ULA) dan 49%-95% untuk *lower limb amputation* (LLA) (PITTARA, 2022). Penelitian ini berfokus pada pengembangan lengan prostetik bionik untuk penderita *lower limb amputation*, dengan tujuan meningkatkan kinerja, kenyamanan, dan kesesuaian lengan prostetik bionik dengan kebutuhan pengguna.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yaitu Pengembangan Prostetik Tangan Bionik Bawah Siku Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (Adani, M. S., Widasari, E.R., 2023). Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan hasil yang kurang optimal dalam kecepatan waktu tempuh servo dan posisi sudut yang dicapai oleh servo. Penelitian ini mengimplementasikan metode kontrol *Decision Based Velocity Ramp* (DBVR) dan *Mean Absolute Value* (MAV) sebagai ekstraksi fitur untuk meningkatkan efisiensi pengolahan data sinyal EMG. Implementasi sistem kontrol ini diharapkan dapat mengatasi beberapa permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan gerakan prostetik lengan prostetik bionik melalui implementasi metode kontrol DBVR. DBVR bekerja dengan mengatur kecepatan keluaran berdasarkan keputusan yang dibuat oleh sistem, yang dapat meningkatkan responsivitas dan akurasi sistem (SIMON, et al., 2011). Sementara itu, MAV digunakan untuk menghitung rata-rata nilai absolut dari sinyal EMG dalam suatu jendela waktu tertentu (RAHAYUNINGSIH, et al., 2018).

Dalam penelitian ini, proses keseluruhan sistem mirip dengan penelitian sebelumnya (ADANI & ROSANA, 2023). Data sinyal EMG diambil dari kontraksi lengan menggunakan sensor EMG Myoware. Sinyal EMG kemudian difilter menggunakan filter Eksponensial untuk mengurangi noise. Selanjutnya, dilakukan segmentasi sinyal dengan menggunakan ekstraksi fitur MAV. Algoritma KNN digunakan untuk mengklasifikasikan fitur MAV menjadi salah satu dari kelas gerakan yang telah ditentukan. Dan terakhir, DBVR akan mengontrol gerakan servo sesuai dengan hasil klasifikasi. Gerakan yang dimaksud adalah 8 jenis variasi gerakan jari jari lengan prostetik bionik. Dimana pada penelitian sebelumnya (Adani, M. S., Widasari, E.R., 2023) hanya ada 4 variasi gerakan, yaitu buka tangan, genggam, sip dan ok-tengah. Penelitian ini akan menambahkan 4 variasi gerakan baru yaitu *cool*, *spiderman*, pistol dan tengah.

Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan lengan prostetik bionik yang lebih efisien dan efektif, yang dapat meningkatkan kualitas hidup dan kemandirian penderita amputasi lengan. Selanjutnya, penelitian ini juga dapat

membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang ini, khususnya dalam pengembangan dan optimasi lengan prostetik bionik. Penelitian ini juga menunjukkan potensi besar dari metode kontrol DBVR dalam meningkatkan efisiensi dan efektivitas lengan prostetik bionik. Ini menunjukkan bahwa dengan penelitian dan pengembangan lebih lanjut, kita dapat mencapai solusi yang lebih baik dan lebih inovatif untuk meningkatkan kualitas hidup penderita amputasi lengan.

2. DASAR TEORI

2.1. Electromyography (EMG)

Elektromiography (EMG) adalah teknik yang digunakan untuk merekam sinyal listrik biomedis yang berasal dari aktivitas neuromuskular. Sinyal listrik yang timbul dari kontraksi otot rangka adalah bagian inti dari sinyal EMG. EMG digunakan untuk membaca sinyal mioelektrik melalui pengukuran elektrik (GOHEL & MEHENDALE, 2020). Pada penelitian ini sinyal EMG dibaca menggunakan sensor EMG Myoware.

2.2. Amputasi Transradial

Amputasi *transradial* adalah prosedur pengangkatan bagian lengan di bawah siku, biasanya sepanjang tulang radial (MEIER III & MELTON, 2014). Operasi ini mempertahankan siku dan sebagian besar lengan, biasanya dilakukan karena trauma atau penyakit. Kondisi ini dapat mempengaruhi kemampuan individu dalam melakukan tugas sehari-hari dan berdampak pada pekerjaan serta kegiatan rekreasi mereka.

2.3. Exponential Filter

Sinyal EMG yang sudah diambil akan menjalani proses *filtering* dengan menggunakan filter *Exponensial*. Filter ini adalah jenis filter *low-pass* yang dirancang untuk membiarkan frekuensi rendah melewati sambil mengurangi frekuensi tinggi. Filter ini memiliki satu parameter penyetelan utama selain interval sampel. Filter ini termasuk dalam kategori filter IIR (*infinite impulse response*), yang berarti efek dari perubahan input akan meredup secara eksponensial seiring waktu (STANLEY, 2020).

2.4. Mean Absolute Value (MAV)

Pada penelitian ini, penulis mengadopsi metode ekstraksi fitur *Mean Absolute Value* (MAV). Ini adalah salah satu metode yang digunakan untuk ekstraksi fitur dalam sinyal EMG.

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i| \quad (1)$$

Pada persamaan (1) N adalah jumlah total elemen dalam urutan, i adalah elemen ke- i dalam urutan dan $|x_i|$ adalah nilai absolut dari elemen ke- i . MAV dihitung dengan mengambil nilai absolut dari

setiap sampel sinyal, menjumlahkannya, dan kemudian membagi jumlah tersebut dengan jumlah total sampel (RAHAYUNINGSIH, et al., 2018).

2.5. *K-Nearest Neighbor* (KNN)

Metode klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *K-Nearest Neighbor* (KNN). KNN adalah algoritma *Machine Learning* yang sederhana dan berbasis *Supervised Learning*. Algoritma ini bekerja dengan asumsi bahwa data baru akan mirip dengan data yang sudah ada dan akan dikelompokkan ke dalam kategori yang paling mirip. KNN menyimpan semua data yang ada dan mengklasifikasikan data baru berdasarkan kesamaannya dengan data yang sudah ada. Saat data baru muncul, algoritma KNN akan dengan cepat mengklasifikasikannya ke dalam kategori yang paling cocok berdasarkan kesamaan fitur atau atribut (GUO, et al., 2003).

2.6. *Decision Based Velocity Ramp* (DBVR)

Penerapan metode kontrol ini merupakan fokus dari penelitian ini. Metode kontrol yang digunakan untuk mengendalikan servo adalah *Decision Based Velocity Ramp* (DBVR). DBVR adalah metode kendali yang mengubah atau mengatur kecepatan gerakan tangan bionik berdasarkan keputusan yang diambil oleh sistem berdasarkan informasi intensitas yang dihitung sebelumnya (SIMON & HARGROVE, 2011). Dalam konteks ini, *velocity ramp* merujuk pada perubahan kecepatan yang diterapkan pada pergerakan tangan bionik. Kecepatan pergerakan dapat disesuaikan atau *ramped* berdasarkan keputusan yang dibuat oleh sistem..

$$V_{out} = RG_i \cdot V_{in} \quad (2)$$

Persamaan (2) digunakan untuk menghitung kecepatan *output ramp* (V_{out}). RG_i adalah gain ramp untuk setiap kelas i , dan V_{in} adalah kecepatan yang diinginkan.

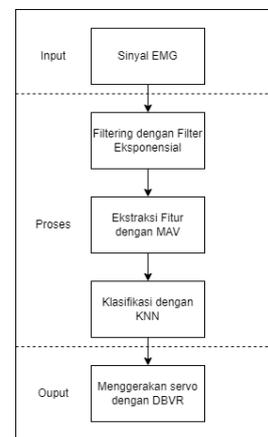
$$RG_i = C_i \frac{1}{L} \quad (3)$$

Persamaan (3) digunakan untuk menghitung *gain ramp* (RG). RG_i dihitung dengan menggunakan fungsi linier, di mana C_i adalah nilai counter yang terkait dengan kelas saat ini dan L adalah panjang ramp yang ditentukan oleh peneliti. Dengan setiap keputusan, nilai counter yang terkait meningkat sebesar 1.

3. METODE PENELITIAN

Gambar 1 merupakan blok diagram blok dari sistem pada penelitian ini. Sistem terbagi menjadi tiga bagian yaitu *input*, *process*, dan *output*. Pada bagian *input* yang menjadi masukan sistem adalah sinyal EMG yang diambil menggunakan sensor *Myoware*. Sinyal tersebut kemudian memasuki bagian proses.

Sinyal akan menjalani tiga proses sebelum menghasilkan *output* yang diinginkan. Proses pertama adalah *filtering*. Sinyal difilter dengan menggunakan filter *exponential*. Sinyal yang telah difilter kemudian akan menjalani proses segmentasi. Proses ini dilakukan dengan ekstraksi fitur MAV. Dan proses yang terakhir adalah klasifikasi. Sinyal yang telah menjalani proses segmentasi kemudian dilakukan klasifikasi dengan menggunakan KNN. Hasil klasifikasi KNN inilah yang menjadi keluaran dan menentukan perintah yang diberikan ke servo. Servo dikendalikan dengan metode kontrol *Decision Based Velocity Ramp* (DBVR). DBVR berfungsi sebagai metode kontrol dengan mengendalikan kecepatan pergerakan servo dan juga mengkoreksi posisi sudut servo.



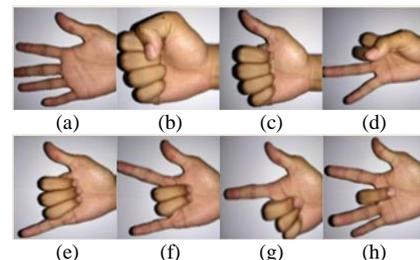
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Dalam penelitian ini, data akan diperoleh secara langsung dengan memanfaatkan sensor EMG *Myoware*. Alat ini dirancang khusus untuk mengukur aktivitas *electromyography* (EMG). Data EMG akan diambil dari 5 orang subjek berjenis kelamin laki-laki dengan variasi umur 21-22 tahun. Semua subjek memiliki kondisi lengan yang sehat dan juga tidak memiliki riwayat cacat otak.

4. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

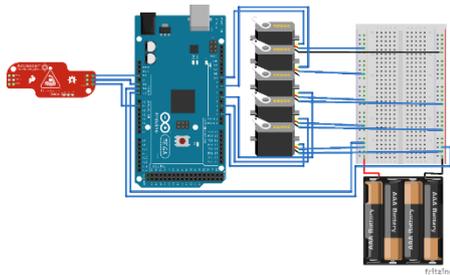
4.1 Perancangan Sistem

Lengan prostetik bionik dirancang untuk membantu individu dengan kondisi amputasi *transradial* dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Prostetik ini dibuat dari bahan yang ringan seperti silikon, polimer, atau bahan sintetis lainnya.



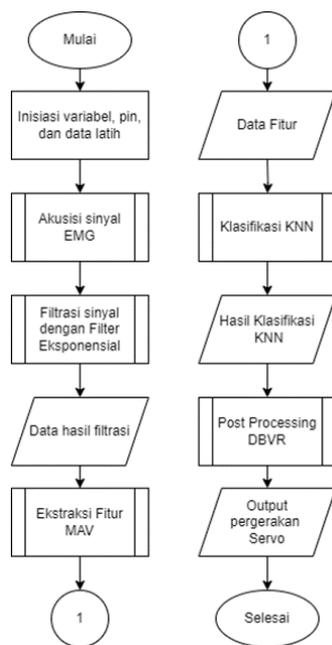
Gambar 2. Variasi Gerakan

Untuk membantu penderita amputasi lengan melakukan aktivitas sehari-hari, lengan prostetik bionik ini akan dilengkapi dengan 8 variasi gerakan. Variasi gerakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2(a) adalah gerakan buka, 2(b) adalah gerakan genggam, 2(c) adalah gerakan sip, 2(d) adalah gerakan ok-tengah, 2(e) adalah gerakan *cool*, 2(f) adalah gerakan spiderman, 2(g) adalah gerakan pistol dan 2(h) adalah gerakan tengah.



Gambar 3. Wiring Diagram Sistem

Pada Gambar 3 dapat dilihat sensor Myoware terhubung ke pin analog A1 pada Arduino Mega. Sedangkan kelima servo terhubung ke pin digital 2, 4, 6, 8 dan 10 pada Arduino Mega. Seluruh sistem ditenagai oleh empat buah baterai yang disusun dengan rangkaian seri. Arduino bertugas sebagai komponen utama yang bertugas mengendalikan komponen komponen lain. Sensor EMG terhubung dengan pin Analog A1 pada Arduino berfungsi untuk mengambil sinyal EMG dari otot untuk kemudian diproses oleh Arduino. Servo 1 sampai dengan 5 terhubung dengan pin digital 2,4,6,8, dan 10 pada Arduino. Servo berguna sebagai aktuator atas hasil keluaran yang diberikan Arduino. Dan komponen terakhir yaitu Baterai, berfungsi sebagai penyedia daya untuk seluruh sistem.



Gambar 4. Diagram Alir Sistem

Gambar 4 merupakan diagram alur sistem. Pertama-tama, sistem akan menginisiasi parameter dan variabel-variabel yang diperlukan. Data latihan untuk klasifikasi juga akan diinisiasi pada tahap ini. Kemudian sensor akan membaca sinyal EMG. Sinyal EMG akan langsung difilter dengan filter Ekspensial. Hasil filtrasi kemudian akan dilakukan ekstraksi fitur dan kemudian hasil fitur akan langsung dilakukan klasifikasi dengan menggunakan KNN. Hasil klasifikasi KNN akan digunakan sebagai penentu perintah yang diberikan pada servo. Perintah untuk menggerakkan servo akan diproses terlebih dahulu oleh Decision Based Velocity Ramp untuk mengoptimalkan pergerakan dari servo MG669R.

4.2 Implementasi Sistem



Gambar 5. Implementasi Lengan Prostetik Bionik

Pada Gambar 5 dapat dilihat implementasi dari lengan prostetik bionik. Berikut adalah keterangan angka angka pada gambar :

1. Lengan prostetik bionik
2. Servo MG996R
3. PCB dan *Stepdown*
4. Sensor EMG *Myoware*
5. Arduino Mega 2560
6. Baterai Lithium 18650
7. Wadah untuk meletakkan komponen

Lengan prostetik bionik dikendalikan menggunakan sensor EMG *Myoware*. Sensor EMG *Myoware* adalah perangkat yang mendeteksi gerakan otot dengan cara mengamati potensi listrik yang dihasilkan oleh otot, dikenal juga dengan istilah elektromiografi permukaan (EMG atau sEMG) (CAMPANINI, et al., 2019). Dalam penelitian ini, tipe keluaran yang digunakan pada *myoware* adalah tipe Envelope (ENV). Keluaran ini dipilih karena sudah mengalami penguatan dan menyaring langsung oleh sensor EMG *Myoware* (MYOWARE, 2022). Hal tersebut menjadi salah satu alasan pemilihan sensor ini sebagai media untuk akuisisi sinyal.

Sinyal EMG yang didapat dari sensor *Myoware* diproses oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 adalah mikrokontroler berbasis ATmega2560, dipilih dalam penelitian ini karena

memori yang lebih besar dan kemampuan pemrosesan yang kuat, cocok untuk menangani tugas-tugas berat (ARDUINO, 2023).

Mikrokontroler kemudian memberikan perintah kepada aktuator berdasarkan sinyal EMG yang diproses. Pada penelitian ini, aktuator yang digunakan adalah 5 buah Servo MG996R. Servo ini adalah versi yang ditingkatkan dari MG995, dengan peningkatan ketahanan terhadap guncangan dan akurasi yang lebih baik (TOWERPRO, 2016). Servo ini memungkinkan perputaran sekitar 120 derajat dan digunakan pada setiap jari pada lengan prostetik bionik, memberikan pergerakan yang independen dan kontrol yang lebih baik bagi pengguna. Pemilihan servo jenis ini penting untuk fungsi dan efektivitas sistem prostetik lengan prostetik bionik.

Keseluruhan sistem ini ditenagai oleh baterai lithium 18650. Baterai ini merupakan elemen kunci dalam penyimpanan energi, dikenal akan kapasitasnya yang besar dan durabilitasnya yang tinggi, serta kemampuannya untuk menjalani siklus pengisian yang berulang kali tanpa mengalami degradasi yang signifikan. Dalam penelitian ini, terdapat 7 komponen yang membutuhkan sumber energi. Untuk memenuhi kebutuhan ini, empat baterai 18650 diatur dalam rangkaian seri. Masing-masing baterai memiliki tegangan sebesar 3,7 volt dan kapasitas sebesar 1200mAh.

Seluruh komponen terhubung dengan *Printed Circuit Board* (PCB). PCB adalah papan yang dilapisi tembaga untuk menghubungkan komponen elektronik. Dalam penelitian ini, PCB menghubungkan Arduino Mega dan lima servo MG996R dengan baterai. PCB dilengkapi dengan Stepdown dan Voltage Regulator untuk mengatur tegangan.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat akurasi pembacaan data sinyal EMG oleh sensor EMG *Myoware* ditunjukkan pada Tabel 1. Menurut data dari jurnal berjudul *A compact-sized surface EMG sensor for myoelectric hand prosthesis* (PRAKASH, et al., 2019), nilai sinyal EMG untuk pergerakan jari jari pada lengan adalah sebesar 0-5V.

Tabel 1. Pengujian akurasi pembacaan sensor *Myoware*

Subjek	Gerakan	Hasil Pembacaan	Nilai Acuan	Keterangan	
1	Genggam	2.42	0 – 5 V	Sesuai	
	Sip	1.83	0 – 5 V	Sesuai	
	Ok +	1.34	0 – 5 V	Sesuai	
	Tengah				
	Buka	0.19	0 – 5 V	Sesuai	
	Cool	0.86	0 – 5 V	Sesuai	
	Spiderman	0.59	0 – 5 V	Sesuai	
	Pistol	1.2	0 – 5 V	Sesuai	
	Tengah	0.4	0 – 5 V	Sesuai	
	2	Genggam	2.39	0 – 5 V	Sesuai
		Sip	1.8	0 – 5 V	Sesuai
		Ok +	1.02	0 – 5 V	Sesuai
		Tengah			
		Buka	0.19	0 – 5 V	Sesuai
Cool		0.84	0 – 5 V	Sesuai	
Spiderman		0.51	0 – 5 V	Sesuai	

Subjek	Gerakan	Hasil Pembacaan	Nilai Acuan	Keterangan
3	Pistol	1.23	0 – 5 V	Sesuai
	Tengah	0.43	0 – 5 V	Sesuai
	Genggam	2.28	0 – 5 V	Sesuai
	Sip	1.77	0 – 5 V	Sesuai
	Ok +	1.1	0 – 5 V	Sesuai
	Tengah			
	Buka	0.18	0 – 5 V	Sesuai
	Cool	0.82	0 – 5 V	Sesuai
	Spiderman	0.56	0 – 5 V	Sesuai
	Pistol	1.22	0 – 5 V	Sesuai
4	Tengah	0.47	0 – 5 V	Sesuai
	Genggam	2.84	0 – 5 V	Sesuai
	Sip	1.79	0 – 5 V	Sesuai
	Ok +	1.3	0 – 5 V	Sesuai
	Tengah			
	Buka	0.19	0 – 5 V	Sesuai
	Cool	0.9	0 – 5 V	Sesuai
	Spiderman	0.52	0 – 5 V	Sesuai
	Pistol	1.21	0 – 5 V	Sesuai
	Tengah	0.48	0 – 5 V	Sesuai
5	Genggam	2.35	0 – 5 V	Sesuai
	Sip	1.67	0 – 5 V	Sesuai
	Ok +	1.33	0 – 5 V	Sesuai
	Tengah			
	Buka	0.19	0 – 5 V	Sesuai
	Cool	0.94	0 – 5 V	Sesuai
	Spiderman	0.54	0 – 5 V	Sesuai
	Pistol	1.24	0 – 5 V	Sesuai
	Tengah	0.42	0 – 5 V	Sesuai

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pembacaan sensor *Myoware* pada semua subjek memberikan hasil yang sangat baik untuk semua variasi gerakan dengan akurasi 100%. Nilai sinyal yang didapat untuk semua variasi gerakan sudah sesuai dengan nilai range acuan. Untuk nilai tertinggi yaitu 2.84 V pada gerakan genggam dan nilai terendah 0.18 V pada gerakan buka.

Waktu yang diperlukan oleh servo untuk mencapai posisi target dengan *Decision Based Velocity Ramp* ditunjukkan pada Tabel 2. Pengujian dilakukan dengan menganalisis waktu yang dibutuhkan servo untuk mencapai posisi target dan membandingkannya dengan waktu tempuh servo mencapai posisi target tanpa DBVR.

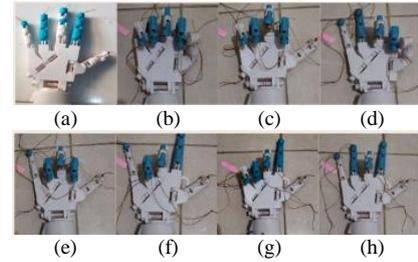
Tabel 2. Pengujian peningkatan kecepatan waktu tempuh servo

Subjek	Gerakan	Waktu tempuh dengan DBVR(ms)	Waktu tempuh tanpa DBVR(ms)	Peningkatan kecepatan
1	Genggam	50	150	66.67%
	Sip	42	143	70.63%
	Ok +	31	124	75.00%
	Tengah			
	Buka	53	156	66.03%
	Cool	35	132	73.48%
	Spiderman	22	125	82.40%
	Pistol	34	125	72.80%
	Tengah	11	117	90.60%
	2	Genggam	52	156
Sip		44	141	68.79%
Ok +		35	120	70.83%
Tengah				
Buka		56	152	63.16%

Subjek	Gerakan	Waktu tempuh dengan DBVR(ms)	Waktu tempuh tanpa DBVR(ms)	Peningkatan kecepatan
3	Cool	31	131	76.34%
	Spiderman	24	121	80.17%
	Pistol	32	134	76.12%
	Tengah	11	116	90.52%
	Genggam	52	150	65.33%
	Sip	43	141	69.50%
	Ok +	35	135	74.07%
	Tengah			
	Buka	55	158	65.19%
	Cool	31	133	76.69%
4	Spiderman	23	120	80.83%
	Pistol	31	131	76.34%
	Tengah	10	111	91.00%
	Genggam	50	159	68.55%
	Sip	43	142	69.72%
	Ok +	35	130	73.08%
	Tengah			
	Buka	50	161	68.94%
	Cool	30	130	76.92%
	Spiderman	21	122	82.95%
5	Pistol	30	136	77.94%
	Tengah	14	113	87.61%
	Genggam	55	161	65.84%
	Sip	46	142	67.61%
	Ok +	33	120	72.50%
	Tengah			
	Buka	51	141	64.29%
	Cool	30	132	77.31%
	Spiderman	20	120	91.50%
	Pistol	31	131	65.56%
Tengah	11	128	83.33%	
Rata rata		382.97	1361.54	74.16%

Pada Tabel 2 menunjukkan hasil peningkatan waktu tempuh servo yang cukup signifikan. Rata-rata peningkatan kecepatan yang didapat adalah sebesar 74.16%. Secara keseluruhan, penggunaan DBVR dapat meningkatkan kecepatan waktu tempuh servo dengan memberikan kontrol kecepatan yang lebih baik, mengoptimalkan waktu tempuh, memungkinkan penyesuaian dinamis terhadap perubahan dalam sistem, dan meningkatkan efisiensi sistem. Namun, perlu dicatat bahwa peningkatan kecepatan memberikan hasil yang berbeda tergantung pada subjek dan variasi gerakan. Oleh karena itu, lebih banyak penelitian mungkin diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan DBVR dalam konteks ini.

Tingkat keberhasilan *Decision Based Velocity Ramp* dalam mengkoreksi posisi sudut dari servo untuk setiap variasi Gerakan ditunjukkan pada Tabel 3. Pengujian dilakukan dengan membandingkan persentase keberhasilan servo dengan DBVR mencapai posisi target dan persentase keberhasilan servo tanpa DBVR dalam mencapai posisi target.



Gambar 6. Contoh gambar pengujian dengan DBVR

Gambar 6 merupakan contoh hasil pengujian posisi posisi sudut lengan prostetik bionik dengan penerapan *Decision Based Velocity Ramp*. Gambar 6(a) adalah gerakan buka, 6(b) adalah gerakan genggam, 6(c) adalah gerakan sip, 6(d) adalah gerakan ok+tengah, 6(e) adalah gerakan cool, 6(f) adalah gerakan spiderman, 6(g) adalah gerakan pistol dan 6(h) adalah gerakan tengah.

Tabel 3. Pengujian peningkatan kecepatan waktu tempuh servo

Subjek	Gerakan	Persentase Keberhasilan dengan DBVR	Persentase Keberhasilan tanpa DBVR
1	Genggam	100%	80%
	Sip	80%	80%
	Ok +	100%	80%
	Tengah		
	Buka	100%	80%
	Cool	80%	60%
	Spiderman	80%	80%
	Pistol	100%	80%
	Tengah	100%	80%
	Genggam	100%	60%
2	Sip	100%	80%
	Ok +	80%	80%
	Tengah		
	Buka	100%	100%
	Cool	100%	80%
	Spiderman	80%	80%
	Pistol	80%	60%
	Tengah	100%	80%
	Genggam	100%	100%
	Sip	100%	80%
3	Ok +	80%	80%
	Tengah	100%	80%
	Buka	100%	80%
	Cool	80%	60%
	Spiderman	80%	80%
	Pistol	100%	80%
	Tengah	100%	80%
	Genggam	100%	100%
	Sip	80%	80%
	Ok +	100%	80%
4	Tengah		
	Buka	100%	60%
	Cool	80%	60%
	Spiderman	80%	80%
	Pistol	100%	80%
	Tengah	100%	80%
	Genggam	100%	80%
	Sip	80%	80%
	Ok +	80%	60%
	Tengah		
5	Buka	100%	80%
	Cool	80%	40%
	Spiderman	80%	80%
	Pistol	100%	80%
	Tengah	100%	80%
	Genggam	100%	80%
	Sip	80%	80%
	Ok +	100%	60%
	Tengah		
	Buka	100%	80%
Rata rata		92%	76%

Berdasarkan hasil yang disajikan pada Tabel 3, dapat dilihat jika servo dengan DBVR dapat mencapai posisi target dengan rata-rata tingkat keberhasilan sebesar 92%. Sedangkan servo tanpa DBVR hanya berhasil mencapai posisi target dengan tingkat keberhasilan sebesar 76%. DBVR lebih unggul sebesar 16%.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Bab 3, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *Decision Based Velocity Ramp* (DBVR) dapat meningkatkan kinerja servo, baik dalam hal kecepatan waktu tempuh maupun akurasi dalam mencapai posisi sudut target. Sensor EMG Myoware menunjukkan tingkat akurasi pembacaan sinyal EMG yang sangat baik hingga 100%, dengan nilai tertinggi 2.84 V pada gerakan genggam dan nilai terendah 0.18 V pada gerakan buka. DBVR menunjukkan peningkatan kecepatan waktu tempuh sebesar 74.16% untuk semua variasi gerakan dan lebih unggul 16% dalam mencapai posisi sudut target dengan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan servo tanpa DBVR. Oleh karena itu, Lengan Prostetik Bionik ini menunjukkan kinerja yang baik dan sudah memiliki kontrol yang akurat dan responsif.

Namun, ada beberapa saran untuk pengembangan sistem lebih baik lagi. Pertama, optimalkan Sensor EMG Myoware. Meskipun sensor ini telah menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam pengujian, selalu ada ruang untuk peningkatan. Kedua, tingkatkan akurasi koreksi sudut. Meskipun DBVR telah menunjukkan kinerja yang baik dalam melakukan koreksi sudut, ada beberapa kasus di mana servo tidak mencapai posisi sudut target dengan akurasi. Ketiga, tambahkan lebih banyak variasi gerakan untuk meningkatkan fungsionalitas sistem. Keempat, pertimbangkan untuk melakukan iterasi dan optimasi pada desain fisik lengan prostetik. Misalnya, material yang lebih ringan atau lebih kuat mungkin dapat digunakan untuk meningkatkan kenyamanan dan daya tahan. Dengan demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan pembacaan sinyal, penyesuaian gain, penggunaan filter sinyal yang lebih baik, atau bahkan menambah jumlah sensor untuk meningkatkan akurasi dan variasi data.

DAFTAR PUSTAKA

- ADANI, M. S. N. & ROSANA, E., 2023. Sistem Pengenalan Pergerakan Prostetik. Perpustakaan J-PTIHK.
- ARDUINO, 2023. Arduino Mega 2560 REV3. [Online] Available at: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560> [Diakses 25 November 2023].
- CAMPANINI, I., DISSELHORST-KLUG, C., RYMER, W. & MERLETTI, R., 2019. Surface EMG in Clinical Assessment and Neurorehabilitation: Barriers Limiting Its Use. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, Volume 46, pp. 70-83.
- GOHEL, V. & MEHENDELE, N., 2020. Review on electromyography signal acquisition and processing. *Biophysical Review*, pp. 1361-1367.
- GUO, G. et al., 2003. KNN model-based approach in classification.. *On The Move to Meaningful Internet Systems 2003*, pp. 986-996.
- MCDONALD, C. et al., 2021. Global prevalence of traumatic non-fatal limb amputation. *Prosthet Orthot Int*, 45(2), pp. 105-114.
- MEIER III, R. & MELTON, D., 2014. Ideal Functional Outcomes for Amputation Levels. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 17 April, Volume 25, pp. 199-212.
- MYOWARE, 2022. Muscle Sensor. [Online] Available at: https://myoware.com/wp-content/uploads/2022/03/MyoWare_v2_AdvancedGuide-Updated.pdf [Diakses 19 November 2023].
- PITTARA, 2022. Amputasi. [Online] Available at: <https://www.alodokter.com/amputasi> [Diakses 5 October 2023].
- PRAKASH, A., SHARMA, S. & SHARMA, N., 2019. A compact-sized surface EMG sensor for myoelectric hand prosthesis. *Biomedical Engineering Letters*, pp. 467-479.
- RAHAYUNINGSIH, I., WIBAWA, A. D. & PRAMUNANTO, E., 2018. Klasifikasi Bahasa Isyarat Indonesia Berbasis Sinyal EMG Menggunakan Fitur Time Domain (MAV, RMS, VAR, SSI). *JURNAL TEKNIK ITS*, Volume 7, pp. 2337-3520.
- SIMON, A. M. & HARGROVE, L. J., 2011. A comparison of the effects of majority vote and a decision-based. *33rd Annual International Conference of the IEEE EMBS*.
- SIMON, A. M., HARGROVE, L. J., LOCK, B. A. & KUIKEN, T. A., 2011. A Decision-Based Velocity Ramp for Minimizing the Effect of Misclassifications During Real-Time Pattern Recognition Control. *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, 58(8), pp. 2360-2368.
- STANLEY, G., 2020. Exponential Filter. [Online] Available at: <https://gregstanleyandassociates.com/whitepapers/FaultDiagnosis/Filtering/Exponential-Filter/exponential-filter.htm> [Diakses 13 September 2023].

TOWERPRO, 2016. MG996R Datasheet. [Online]
Available at:

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131873/ETC2/MG996R.html>