



## Isian Substansi Proposal

### SKEMA PENELITIAN DASAR

Petunjuk: Pengusul hanya diperkenankan mengisi di tempat yang telah disediakan sesuai dengan petunjuk pengisian dan tidak diperkenankan melakukan modifikasi *template* atau penghapusan di setiap bagian.

#### JUDUL

Pengembangan Robot Teleoperasi Dua Lengan Berbasis Human Machine Interaction Dengan *Electromyography* Dan *Inertial Measurement Unit* Sensor Untuk Inspeksi Hazardous Area Dan Teknologi Asistif

#### RINGKASAN

Di dunia ini terdapat area yang berbahaya dari manusia, seperti area tinggi radiasi, atau area ranjau bom, oleh karena itu diperlukan robot sebagai pengganti manusia untuk melakukan inpeksi area tersebut. Memasuki teknologi 5.0, perkembangan *Human-Machine Interaction* (HMI) semakin meningkat, HMI dimulai dari kendaraan, peralatan industri, komputer, dan saat ini memasuki robot teleoperasi. GesMo merupakan robot teleoperasi dua lengan berbasis HMI dengan menggunakan sensor EMG (*electromyography*) dan IMU (*Inertial Measurement Unit*) untuk gerakan tangan, dimana sensor EMG untuk aktivitas lengan dalam mencengkeram dan melepaskan, sedangkan sensor IMU dimanfaatkan untuk posisi koordinat alat dengan merekam data akselometer, giroskop, dan magnetometer. GesMo juga menggunakan sensor suara untuk perintah berjalan, dan sensor kamera untuk monitoring. Sistem komunikasi software yang kompleks diatur dalam ROS sebagai framework. Dalam penerapannya GesMo juga dapat digunakan sebagai teknologi asistif dikarenakan dapat memudahkan tunadaksa kaki untuk mengambil minum, makan, dan lain-lain. Penelitian sistem GesMo dilakukan selama lima tahun yang dimulai dari tahun 2023, dengan tahun pertama akan dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe, kemudian tahun kedua melakukan survey sistem zona Kanada dan Amerika Serikat, tahun ketiga dilakukan optimalisasi sistem ROS, sistem monitoring dan perintah suara, kemudian tahun keempat, dan tahun terakhir dilakukan pengembangan infrastruktur sistem program multi-robot. Luaran yang ditargetkan dalam penelitian ini adalah sistem GesMo dan Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional.

#### KATA KUNCI

Robot\_Teleoperasi; Human\_Machine\_Interaction; *Electromyography*; Intertial\_Measurment\_Unit; Teknologi\_Asistif;

#### PENDAHULUAN

Penelitian Dasar merupakan riset yang memuat temuan baru atau pengembangan ilmu pengetahuan dari kegiatan riset yang terdiri dari tahapan penentuan asumsi dan dasar hukum yang akan digunakan, formulasi konsep dan/ atau aplikasi formulasi dan pembuktian konsep fungsi dan/ atau karakteristik penting secara analitis dan eksperimental.

Pendahuluan penelitian tidak lebih dari 1.000 kata yang terdiri dari:

- Latar belakang dan rumusan permasalahan yang akan diteliti (300)
- Pendekatan pemecahan masalah (100)
- State of the art* dan kebaruan (400)
- Peta jalan (*roadmap*) penelitian 5 tahun ke depan (200) (jika dalam bentuk konsorsium harus dilengkapi dengan *roadmap* penelitian konsorsium)

#### A. Latar Belakang

Prinsip *Human-Machine Interaction* (HMI) memungkinkan manusia dapat berinteraksi dengan mesin(1). Interaksi dimulai dari peralatan sederhana hingga pengembangan teknik

serta metode terkini(2). Dalam HMI dapat dilakukan kegiatan teleoperasi. Ketika teleoperasi diterapkan pada robot, maka manusia dapat mengendalikan robot. Salah satu cara teleoperasi untuk pengendalian robot secara remote yaitu dengan menggunakan internet(3). Teleoperasi juga dapat menggunakan metode kendali robot dengan teknologi EMG (*electromyography*)(4). Teknologi ini dapat membaca sinyal yang dihasilkan pada saat kontraksi dan relaksasi otot[6]. Ketika sensor EMG diletakan pada sendi tangan dan dilakukan pergerakan lengan seperti relaksasi dan kontraksi otot maka dihasilkan sinyal EMG. Pengendalian robot juga dapat dilakukan dengan menggunakan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*). Sensor IMU yang diletakan di sendi-sendi dapat merekam data perpindahan dari akselometer, kemiringan dari giroskop, dan arah hadap sendi dari magnetometer untuk menggerakan kedua lengan robot berdasarkan data-data pergerakan sendi[11]. EMG dan IMU dapat digabungkan untuk mengembangkan robot dua lengan. EMG dan IMU sensor dapat merekam pergerakan lengan kemudian diubah menjadi data koordinat dan dikirimkan ke robot untuk menggerakan posisi koordinat dan aktivitas[12]. Data dari kedua sensor diterima oleh robot walaupun terpisah dengan jarak yang jauh menggunakan internet dengan protokol komunikasi data HTTPS[13]. Untuk menggabungkan internet, EMG, dan IMU sensor diperlukan framework. Salah satu framework yang dapat digunakan adalah framework ROS (Robotic Operating System). ROS merupakan framework pengembangan robot yang menyediakan lapisan komunikasi terstruktur di atas sistem operasi[14,p.1]. ROS memiliki beberapa tujuan filosofis. Tujuan filosofis peer-to-peer memudahkan untuk menghubungkan antar sensor, opensource memudahkan untuk memodifikasi struktur sistem dari ROS. Robot dua lengan ini dapat diterapkan untuk keperluan inspeksi hazardous area. Robot yang berjenis RMS (Robotic Manipulation Systems) cocok digunakan untuk keperluan inspeksi hazardous area karena mempunyai kemampuan navigasi omnidirectional wheeled yang dapat bergerak kesegala arah[15,16]. Robot ini juga dapat digunakan sebagai teknologi asistif dikarenakan dapat memudahkan tunadaksa kaki untuk mengambil minum, makan, dan lain-lain.

#### B. Pendekatan pemecahan masalah

Pendekatan yang akan dilakukan untuk penelitian ini adalah pendekatan Research and Development (RnD). Kegiatan dibagi menjadi 2 bagian yaitu research dan development. Bagian research meliputi kegiatan menganalisis potensi dan masalah lalu dilakukan pengumpulan data. Setelah bagian reasearch selesai, maka selanjutnya dilaksanakan bagian development. Bagian development meliputi kegiatan pendesainan GesMo, validasi desain, ujicoba pemakaian GesMo oleh peneliti, revisi GesMo apabila hasil ujicoba dinyatakan tidak layak, ujicoba GesMo kepada pengguna, revisi desain apabila hasil ujicoba kepada pengguna dinyatakan tidak layak, revisi produk kembali, dan produksi masal. Tahapan pekerjaan akan dibagi menggunakan metode agile and co-design. Tahapan dalam metode ini meliputi *conception*, *setting-up*, *design*, *definition of done*, *testability*, *implementation*, dan *verification*.

#### C. State of the art dan kebaruan

Dalam perkembangan *Human–Machine Interaction* (HMI) dimulai dari kendaraan, peralatan industri, komputer, dan robot(5–7). Penelitian terbaru yaitu interaksi dengan menggunakan teknologi AI (Artificial Intelligence) dan Machine Learning, yaitu kemampuan mesin dalam memahami sinyal biologi bertegangan listrik yang menjadi inputan dalam proses control berbasis internet, terdapat dalam beberapa literatur(3,8–11). Control atau kendali mesin secara teleoperasi penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Laksono dkk dengan menggunakan sinyal myoelektrik (EMG) pada 3 target otot lengan atas dapat melakukan mapping gerakan tangan sehingga mampu mengontrol gerakan lengan robot(12), penelitian teleoperasi pada lengan menggunakan sensor EMG juga telah dilakukan oleh Artemiadis dan Kyriakopoulos dengan mengurangi jumlah variabel atau dimensi dalam data(13).

Kemudian Laksono dkk melanjutkan penelitian susulan dengan menggunakan machine learning, sensor EMG untuk proses klasifikasi gerakannya(14). Control atau kendali mesin secara teleoperasi juga dapat menggunakan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) dengan merekam data perpindahan dari akselometer, kemiringan dari giroskop, dan arah hadap sendi dari magnetometer, penelitian penggunaan sensor IMU untuk menggerakan lengan terdapat

pada beberapa literature(15–17). Penggabungan sensor EMG, IMU, dan internet digunakan dalam Robot GesMo dengan memanfaatkan sensor EMG untuk aktivitas lengan dalam mencengkeram dan melepaskan, sedangkan sensor IMU dimanfaatkan untuk posisi koordinat alat dengan merekam data akselometer, giroskop, dan magnetometer, serta menggabungkan alat dengan internet untuk komunikasi HTTPS jarak jauh.

Penggabungan sensor robotik membuat sistem software menjadi kompleks, maka diperlukan framework(18). Framework paling populer dan paling luas digunakan di seluruh dunia adalah ROS (*Robotic Operating System*)(19). Meninjau dari beberapa penelitian, ROS digunakan untuk pengambil keputusan manajemen memori dalam komunikasi beberapa perangkat lunak yang kompleks(20,21). Pada penelitian oleh Muratore,dkk framework ROS digunakan untuk data sensor, navigasi, dan pengendalian robot secara real-time(22). Penelitian framework ROS juga dilakukan oleh Rivera,dkk untuk fast monitoring dengan verifikasi secara run-time(23).

Pemanfaatan Sistem Robot GesMo dapat digunakan untuk Inspeksi Hazardous Area Dan Teknologi Asistif. Seperti pada penelitian oleh Sheridan,dkk bahwa robot digunakan untuk tugas-tugas berat atau berbahaya, seperti dalam industri atau militer(5) sebagai contoh kasus menjinakkan bom (24). Penelitian oleh Gupta,dkk memanfaatkan cengkaman robot untuk menjinakkan robot(25). Selain digunakan Inspeksi Hazardous Area, penggunaan Sistem GesMo juga dapat digunakan untuk teknologi asistif sebagai alat bantu. Dalam pengembangan alat bantu bagi orang berkebutuhan khusus telah banyak dilakukan oleh para peneliti khususnya penggunaan bio-signal untuk proses control seperti penggunaan EMG untuk manipulasi lengan robot(12,14,26–29).

#### D. Peta jalan (roadmap) penelitian 5 tahun ke depan

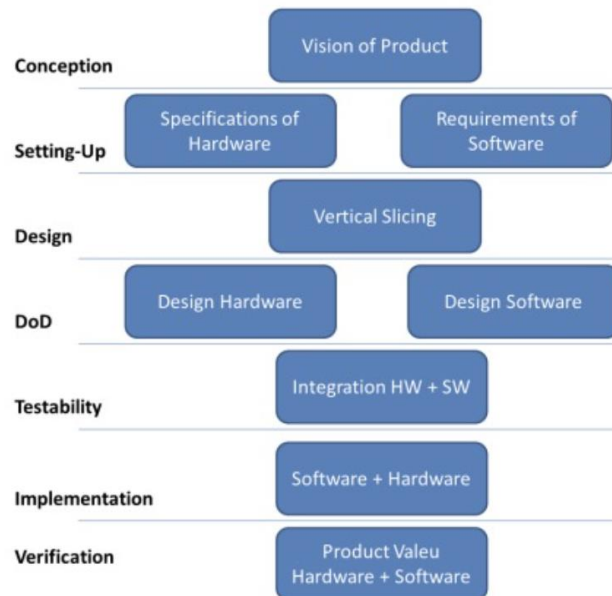


Gambar 1. Roadmap pengembangan Sistem GesMo secara keseluruhan

1. Tahun 2023 Perancangan dan Pembuatan Prototipe (Pengembangan tahap 1)  
Meliputi kegiatan perancangan dan pengembangan prototip sistem GesMo secara menyeluruh. Untuk tahun pertama pengembangan sistem GesMo ditujukan untuk penyandang tuna daksa dan untuk keperluan mendasar kegiatan inspeksi hazardous area.
2. Tahun 2024-2025 (Pengembangan Tahap 2)  
Tahun kedua pengembangan infrastruktur komunikasi teleoperasi GesMo jarak jauh melalui internet.
3. Tahun 2026-2027 (Pengembangan Tahap 3)  
Di tahun ketiga atau tahun 2025 dilakukan pengembangan tahap 2, yaitu pengembangan infrastruktur sistem program multi-robot, yaitu mengembangkan agar dalam satu program dapat menggerakkan lebih dari satu robot.

## METODE

Metode yang digunakan adalah kombinasi dari metode Agile dan Co-Design dengan tujuan untuk mempermudah pembuatan software dan hardware secara terintegrasi. Langkah-langkah yang digunakan adalah sebagai berikut ini :



Gambar 2. Peta Metode GesMo

#### A. Conseption (Konseptualisasi)

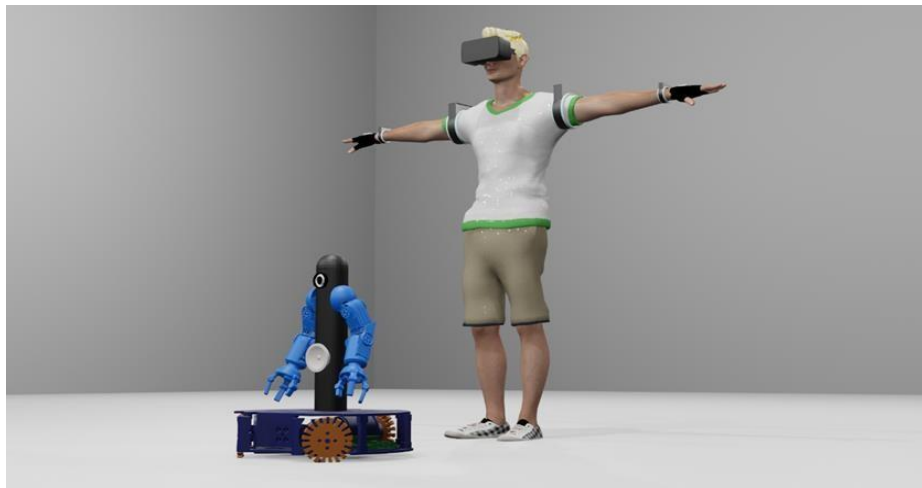
Tahap ini dilakukan pembuatan konsep pengembangan prototip GesMo dimana dilakukan sub tahapan :

1. Analisis kebutuhan teknologi, komponen, dan bahan yang digunakan untuk mengembangkan prototip. Adapun terdapat 4 prototip utama yang akan dikembangkan yaitu : GesMo Robot, GesMo Arm Band, GesMo Wirst Band, dan GesMo Hub Application. GesMo Robot merupakan robot mobile dual-arm yang dapat dikendalikan dari jarak jauh baik melalui jaringan lokal maupun melalui jaringan internet. GesMo Arm Band dan GesMo Wirst Band merupakan perangkat untuk mengendalikan pergerakan kedua tangan robot dari jarak jauh dengan teknologi sensor IMU 9 DOF untuk mengirimkan data koordinat 3 dimensi, perubahan sudut, percepatan, dan arah hadap lengan. Selain itu terdapat EMG sensor yang berguna untuk mengendalikan gerakan menggenggam dan melepas pada tangan GesMo Robot. GesMo Hub berperan sebagai penerima data dari GesMo Arm Band dan GesMo Wirst Band. Selain itu GesMo Hub berfungsi juga sebagai aplikasi yang menampilkan video monitoring yang ditangkap oleh kamera GesMo Robot dan juga dapat berfungsi untuk menerima perintah suara berupa perintah "maju", "mundur", "kiri", "kanan", dan "stop" untuk menggerakkan perpindahan posisi robot. Data yang diterima oleh GesMo Hub akan dikirimkan ke server kemudian GesMo Robot menerima data dari server dan bergerak sesuai dengan data dan perintah yang diterima.

Agar sistem GesMo dapat berjalan maka GesMo dirancang mempunyai fitur-fitur berikut ini :

- a. Menangkap data akselerometer, gyroscope, dan magnetometer pada IMU 9DOF sensor.
- b. Menangkap data EMG dengan EMG sensor.
- c. Mendeteksi perintah suara untuk berpindah posisi GesMo Robot.
- d. Menampilkan video monitoring hasil tangkapan kamera GesMo Robot.
- e. Integrasi gerakan lengan dan genggaman tangan GesMo Robot dengan data koordinat, perpindahan, perubahan sudut, arah hadap, dan data EMG.

2. Penelitian dan pengembangan konsep sistem GesMo



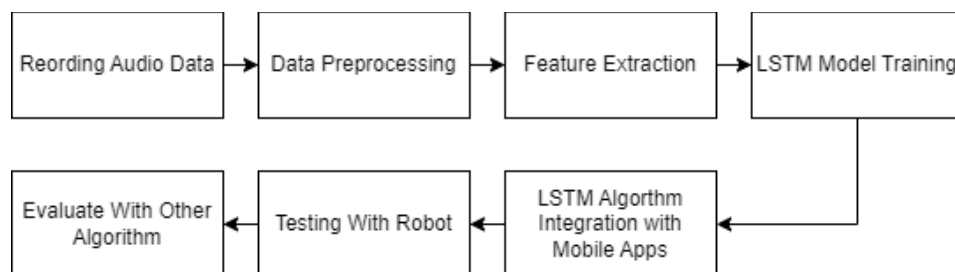
Gambar 3. Gambaran Perangkat GesMo Robot (robot biru), GesMo Arm Band (pada lengan model), GesMo Wirst Band (pada pergelangan tangan model), dan GesMo Hub (terinstal pada smartphone yang digunakan di dalam head mounted device)



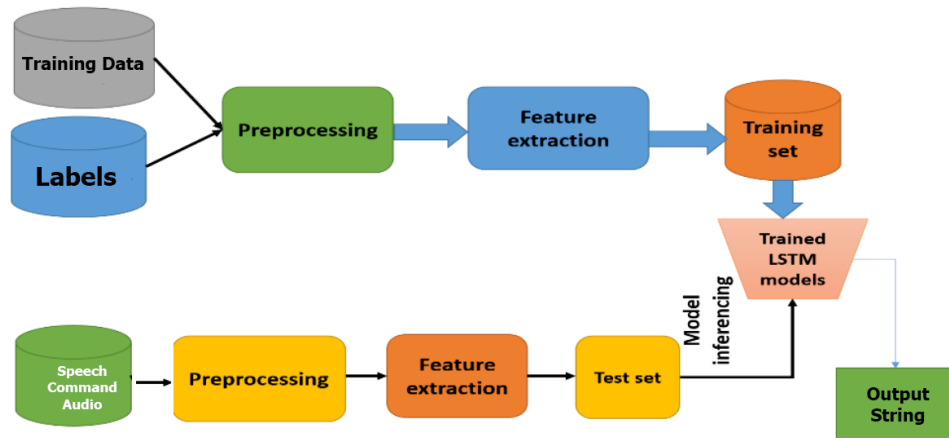
Gambar 4. Gambaran GesMo Robot dari sudut pandang prespektif

#### B. Setting-up (Persiapan)

Dilakukan dengan melakukan perancangan rangkaian elektronik dan perangkat lunak. Untuk membuat fungsi pendeteksian perintah suara maka di bawah ini merupakan diagram alir pembuatan fungsi pendeteksian suara dengan menggunakan algoortima LSTM yang terintegrasi dengan aplikasi mobile.

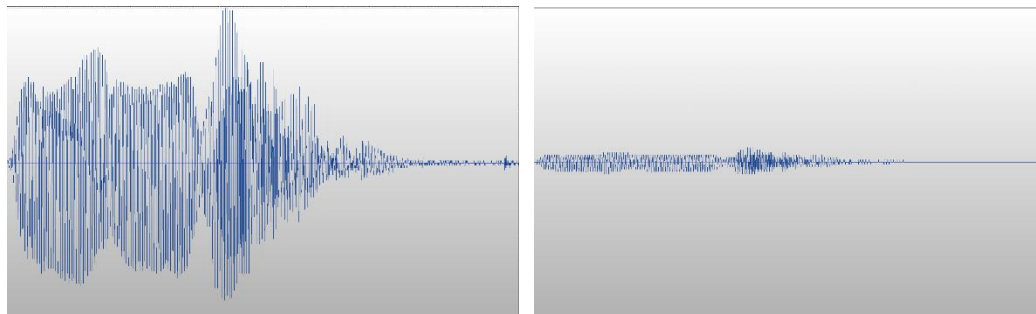


Gambar 5. Diagram alir pengembangan fitur perintah suara untuk mengendalikan perpindahan lokasi GesMo Robot dari tahap pengumpulan data audio hingga pada tahap evaluasi fitur yang dikembangkan

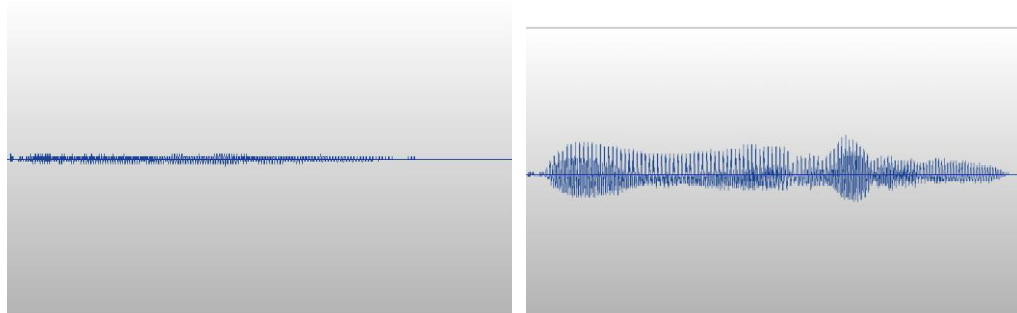


Gambar 6. Diagram alir LSTM model training untuk membangun fitur pendeteksi perintah suara

Di bawah ini merupakan contoh dari sample perintah suara yang direkam untuk training model LSTM.

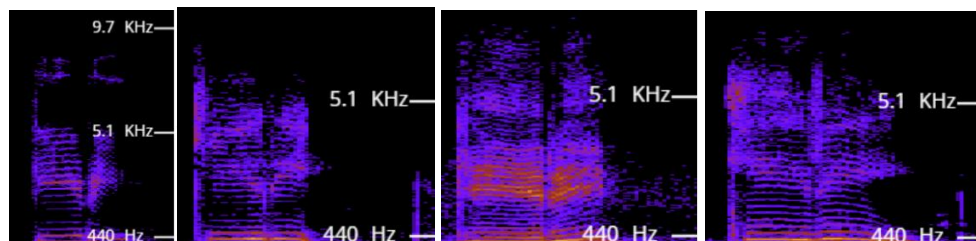


Gambar 7. Sample perintah suara maju (gambar kiri) dan mundur (gambar kanan)



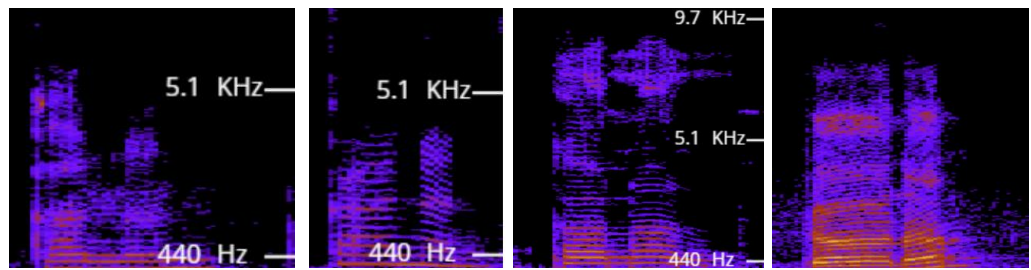
Gambar 8. Sample perintah suara kanan (gambar kiri) dan kiri (gambar kanan)

Hasil Feature Extraction pada sample perintah suara yang diambil dapat dilihat pada gambar di bawah ini

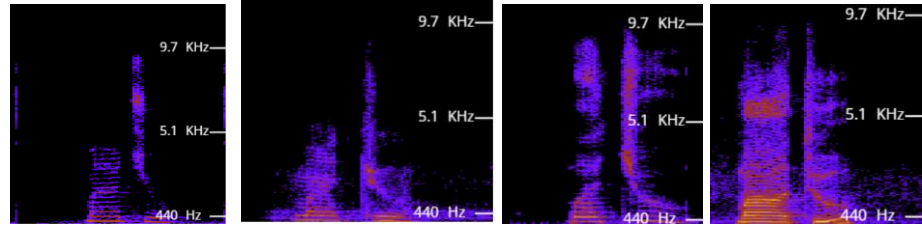


Gambar 9. Hasil Proses Feature Extraction MFCC untuk perintah suara "kiri"

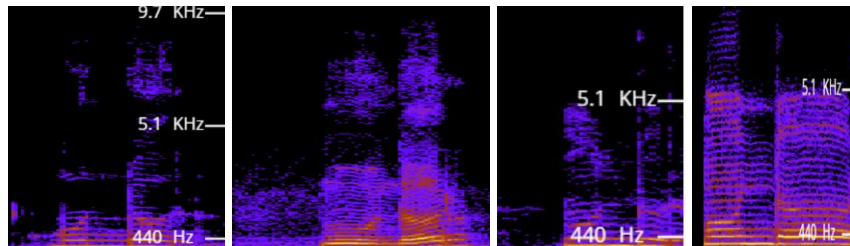




Gambar 10. Hasil Feature Extraction MFCC untuk perintah suara “kanan”



Gambar 11. Hasil Feature Extraction MFCC untuk perintah suara “maju”

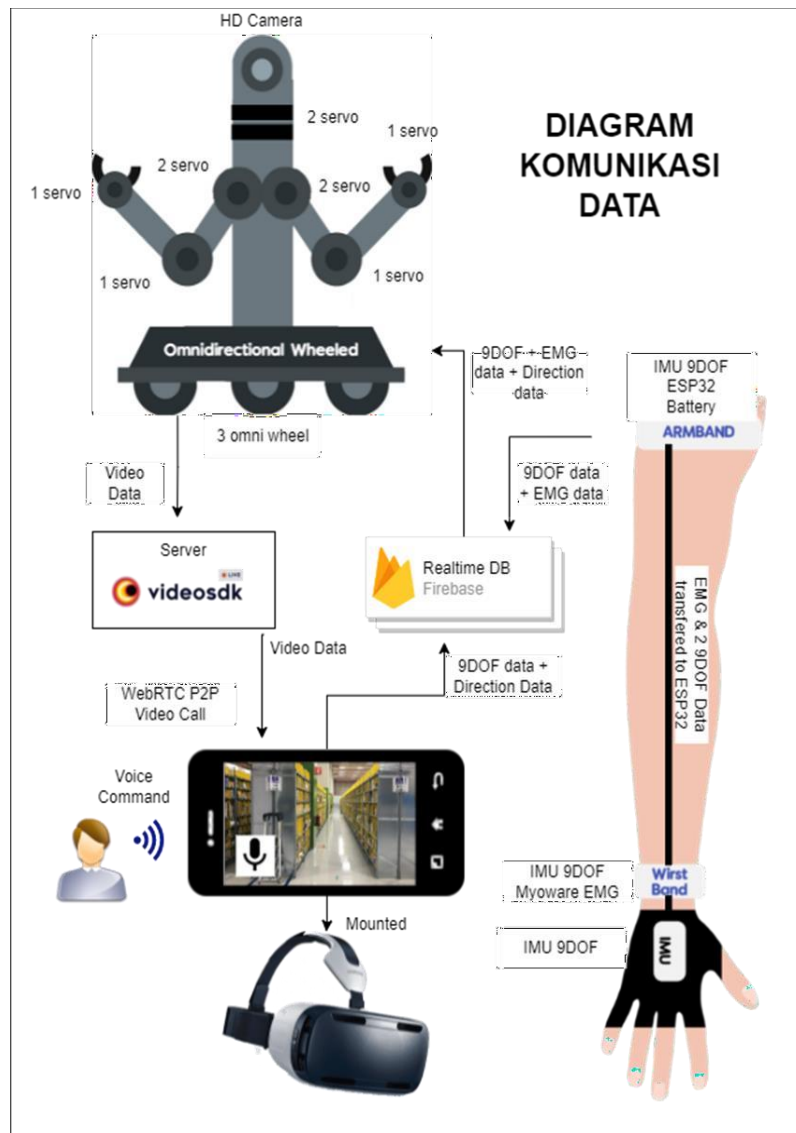


Gambar 12. Hasil Feature Extraction MFCC untuk perintah suara “mundur”

### C. Design (Desain)

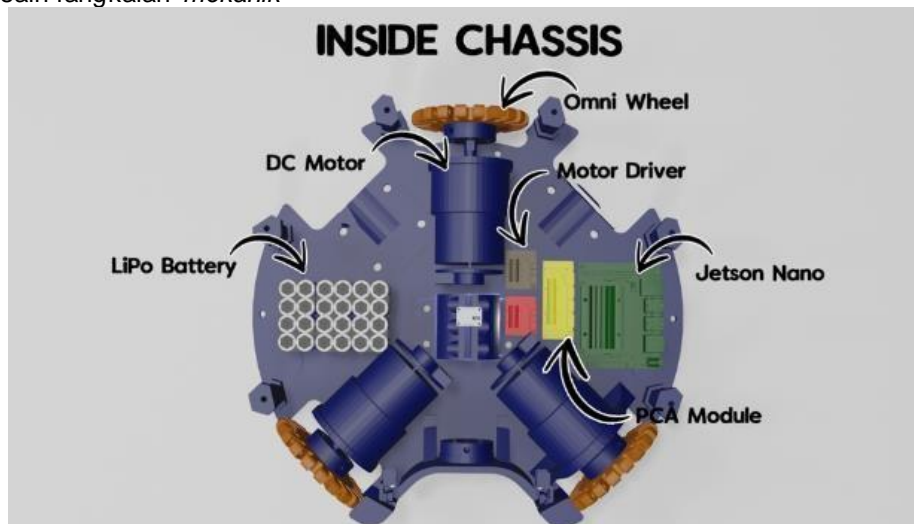
Pada tahap ini dilakukan pengembangan sistem prototip yang terdiri dari

1. Desain arsitektur sistem



Gambar 13. Desain arsitektur komunikasi data dari perangkat GesMo Robot, GesMo Arm Band, GesMo Wrist Band, dan GesMo Hub Application.

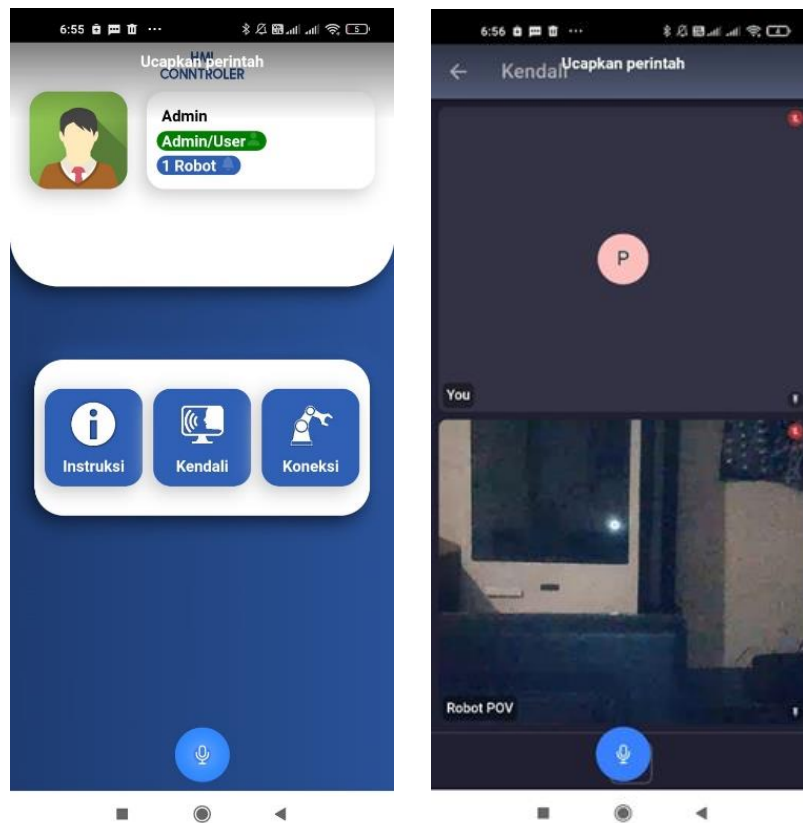
## 2. Desain rangkaian mekanik



Gambar 14. Gambaran rancangan komponen GesMo Robot untuk melakukan perpindahan lokasi

## 3. Desain antarmuka pengguna





Gambar 15. Rancangan antar muka GesMo Hub Application untuk halaman beranda (kiri) dan halaman monitoring (kanan)



Gambar 16. Rancangan antar muka GesMo Hub Application untuk halaman instruksi pengguna

#### D. Definition of Done (Definisi Selesai)

Pada tahap ini dilakukan pengecekan ulang fitur-fitur yang telah dikembangkan berdasarkan indikator-indikator pencapaian pengembangan prototip dan sistem. Dilakukan penilaian secara internal oleh tim untuk mengetahui prototip yang dikembangkan telah selesai atau perlu dilanjutkan pengembangannya.

#### **E. Testability (Uji Coba)**

1. Pelaksanaan *alpha test*  
Alpha test dilakukan dengan menggunakan metode *black box testing* untuk menguji fungsionalitas fitur-fitur yang dibuat
2. Perbaikan *error* dan uji coba ulang

#### **F. Implementation (Implementasi)**

1. Pemantauan dan evaluasi penggunaan prototip  
Pada tahap ini dilakukan pemantauan sekaligus melakukan evaluasi dengan cara mengimplementasikan prototip kepada pengguna baik itu pengguna tuna daksa dan pengguna untuk kegiatan inspeksi *hazardous area*. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan metode *beta test*. Peneliti membuat instrument untuk pemantauan dan kuesioner feedback dibagikan kepada pengguna agar pengguna dapat ikut berpartisipasi dalam kegiatan evaluasi.
2. Pemeliharaan dan perbaikan sistem secara berkala  
Pemeliharaan dan perbaikan dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki sistem hingga sistem dikatakan siap untuk diluncurkan.

#### **G. Verification**

Tahap verifikasi adalah tahap untuk memastikan bahwa prototip yang dikembangkan telah diverifikasi oleh pengguna kelayakannya sehingga ketika diluncurkan maka dapat diterima oleh pengguna, adapun untuk memverifikasi dilakukan beberapa tahapan berikut ini :

1. Uji penerimaan pengguna  
Uji penerimaan pengguna dilakukan dengan menggunakan instrumen usability testing dan dengan menggunakan Technology Acceptance Model (TAM)
2. Diseminasi  
Diseminasi dilakukan dengan meluncurkan prototip untuk dilanjutkan pada tahap pengembangan berikutnya sesuai dengan tahun berjalannya pengembangan.

## JADWAL PENELITIAN

Tahun ke-1:

No	Nama Kegiatan	Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	<i>Conception</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis kebutuhan</li> <li>Literatur review untuk mengetahui keterbaruan dan teknologi terkini</li> </ul>												
2	<i>Setting-up</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Perancangan GesMo secara keseluruhan</li> </ul>												
3	<i>Design</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pengembangan prototip GesMo Robot</li> <li>Pengembangan prototip GesMo Arm Band</li> <li>Pengembangan prototip GesMo Wrist Band</li> <li>Pengembangan prototip Hub Application</li> </ul>												
4	<i>Definition of done</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pengecekan dan penilaian kesiapan sebelum ditetapkan untuk siap diujikan ke pengguna</li> </ul>												
5	<i>Testability</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pengujian alpha test dengan menggunakan black box testing</li> </ul>												
6	<i>Implementation</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pengujian sistem GesMo di lapangan secara terbatas</li> </ul>												
7	<i>Verification</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pengujian keberterimaan pengguna dengan model TAM dan SUS</li> <li>Diseminasi sistem GesMo</li> <li>Publikasi ilmiah jurnal internasional</li> </ul>												

## DAFTAR PUSTAKA

- Kaindl H. Human-Machine Interaction [Internet]. Springer International Publishing; 2020. 428–433 p. Available from: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6\\_66](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-25629-6_66)
- Gupta N, Gottapu S, Nayak R, Gupta A, Derawi M. Human-machine Interaction and IoT Applications for a Smarter World. CRC Press; 2022.
- Kebria PM, Abdi H, Dalvand MM, Khosravi A, Nahavandi S. Control methods for internet-based teleoperation systems: A review. IEEE Trans Human-Machine Syst. 2019;49(1):32–46.
- Hagengruber, Leipscher A and, Eskofier U and, Vogel BM and, "orn J. *Electromyography for Teleoperated Tasks in Weightlessness*. 2021; Available from: <http://elib.dlr.de.pleaseconsulttheoriginalpublicationforcitation>.
- Sheridan TB. Human-Robot Interaction. Hum Factors. 2016;58(4):525–32.
- Kun AL. Human-machine interaction for vehicles: Review and outlook. Vol. 11, Foundations and Trends in Human-Computer Interaction. 2018. 201–293 p.
- Cross ES, Ramsey R. Mind Meets Machine: Towards a Cognitive Science of Human–Machine Interactions. Trends Cogn Sci [Internet]. 2021;25(3):200–12. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2020.11.009>
- Sasaki M, Matsushita K, Rusyidi MI, Laksono PW, Muguro J, Bin Suhaimi MSA, et al. Robot control systems using bio-potential signals. AIP Conf Proc. 2020;2217(April).
- Laksono PW, Sasaki M, Matsushita K, Suhaimi MSA Bin, Muguro J. Preliminary research of surface

- electromyogram (sEMG) signal analysis for robotic arm control. AIP Conf Proc. 2020;2217(April).
10. Approaches Q. Human Activities and Postures Recognition : From. 2019;
11. Esposito D, Centracchio J, Andreozzi E, Gargiulo GD, Naik GR, Bifulco P. Biosignal-based human-machine interfaces for assistance and rehabilitation: A survey. Sensors. 2021;21(20):1–43.
12. Laksono PW, Matsushita K, Suhaimi MSA Bin, Kitamura T, Njeri W, Muguro J, et al. Mapping three *electromyography* signals generated by human elbow and shoulder movements to two degree of freedom upper-limb robot control. Robotics. 2020;9(4):1–14.
13. Artemiadis PK, Kyriakopoulos KJ. EMG-based position and force control of a robot arm: Application to teleoperation and orthosis. IEEE/ASME Int Conf Adv Intell Mechatronics, AIM. 2007;(June 2014).
14. Laksono PW, Kitamura T, Muguro J, Matsushita K, Sasaki M, Amri Bin Suhaimi MS. Minimum mapping from EMG signals at human elbow and shoulder movements into two DoF upper-limb robot with machine learning. Machines. 2021;9(3):1–13.
15. Zhou C, Peers C, Wan Y, Richardson R, Kanoulas D. TeLeMan: Teleoperation for Legged Robot Loco-Manipulation using Wearable IMU-based Motion Capture. 2022;1–8. Available from: <http://arxiv.org/abs/2209.10314>
16. Fu G, Azimi E, Kazanzides P. Mobile Teleoperation: Feasibility of Wireless Wearable Sensing of the Operator's Arm Motion. IEEE Int Conf Intell Robot Syst. 2021;4238–43.
17. Škulj G, Vrabič R, Podržaj P. A wearable imu system for flexible teleoperation of a collaborative industrial robot. Sensors. 2021;21(17).
18. Cañas JM, Perdices E, García-Pérez L, Fernández-Conde J. A ROS-based open tool for intelligent robotics education. Appl Sci. 2020;10(21):1–20.
19. Kolak S, Afzal A, Le Goues C, Hilton M, Timperley CS. It Takes a Village to Build a Robot: An Empirical Study of the ROS Ecosystem. Proc - 2020 IEEE Int Conf Softw Maint Evol ICSME 2020. 2020;430–40.
20. Macenski S, Foote T, Gerkey B, Lalancette C, Woodall W. Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild. Sci Robot. 2022;7(66).
21. Shivakumar S, Torfah H, Desai A, Seshia SA. SOTER on ROS: A Run-Time Assurance Framework on the Robot Operating System. Lect Notes Comput Sci (including Subser Lect Notes Artif Intell Lect Notes Bioinformatics). 2020;12399 LNCS:184–94.
22. Muratore L, Laurenzi A, Mingo Hoffman E, Tsagarakis NG. The XBot Real-Time Software Framework for Robotics: From the Developer to the User Perspective. IEEE Robot Autom Mag. 2020;27(3):133–43.
23. Rivera S, Iannillo AK, Lagraa S, Joly C, State R. ROS-FM: Fast Monitoring for the Robotic Operating System(ROS). Proc IEEE Int Conf Eng Complex Comput Syst ICECCS. 2020;2020-Octob:187–96.
24. Hetrick R, Amerson N, Kim B, Rosen E, Visser EJD, Phillips E. Comparing Virtual Reality Interfaces for the Teleoperation of Robots. 2020 Syst Inf Eng Des Symp SIEDS 2020. 2020;
25. Gupta G Sen, Mukhopadhyay SC, Messom CH, Demidenko SN. Master-slave control of a teleoperated anthropomorphic robotic arm with gripping force sensing. IEEE Trans Instrum Meas. 2006;55(6):2136–45.
26. Hassan HF, Abou-Loukh SJ, Ibraheem IK. Teleoperated robotic arm movement using *electromyography* signal with wearable Myo armband. J King Saud Univ - Eng Sci [Internet]. 2020;32(6):378–87. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2019.05.001>
27. Fukuda O, Tsuji T, Kaneko M, Otsuka A. A human-assisting manipulator teleoperated by EMG signals and arm motions. IEEE Trans Robot Autom. 2003;19(2):210–22.
28. Shin S, Tafreshi R, Langari R. EMG and IMU based real-time HCI using dynamic hand gestures for a multiple-DoF robot arm. J Intell Fuzzy Syst. 2018;35(1):861–76.
29. Liu HJ, Young KY. An adaptive upper-arm EMG-based robot control system. Int J Fuzzy Syst. 2010;12(3):181–9.