

PROTOTYPE ASISTENSI PENGENALAN SUARA UNTUK MANUEVER KAPAL

PROTOTYPE VOICE RECOGNITION ASSISTANCE FOR SHIP MANEUVERING

Gita Bayu Prasajo^{1*}, Muhamad Imam Firdaus², Faris Nofandi³, Tri Haryanto⁴

Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Email Correspondence: prasojobayu100@gmail.com

Abstract

The rapid advancement of maritime automation through IMO's MASS framework highlights the need for voice-assisted navigation systems to enhance crew efficiency during ship maneuvering. This research aims to design a voice recognition prototype for ship steering, integrate it as an alternative control mode, and improve deck crew productivity. Employing a Research and Development (R&D) approach with prototype development, the study targeted navigation trainees and officers at Politeknik Pelayaran Surabaya (N=population during 12-month sea practice), using purposive sampling of 5 beta testers plus researcher for alpha testing. Instruments included DFRobot DF2301Q voice module, ESP32 DevKitC microcontroller, MG996R servos, potentiometer, and WS2812B LEDs, analyzed through static/dynamic tests measuring command accuracy (>90%), servo stability (35°-150°), and response time (<3s). Results demonstrated 90%+ recognition of wake word "MERATUS" and 17 navigation commands, stable servo operation, and linear sensor feedback. The prototype proves viable as MASS Level 1 decision support, reducing manual crew dependency during maneuvers.

Keywords: Maritime Automation, MASS, Prototype Development, Ship Maneuvering, Voice Recognition.

Abstrak

Perkembangan otomasi maritim melalui kerangka MASS IMO menekankan perlunya sistem navigasi berbasis suara untuk efisiensi awak kapal saat manuver. Penelitian ini bertujuan merancang prototipe pengenalan suara untuk kemudi kapal, mengintegrasikannya sebagai mode kontrol alternatif, dan meningkatkan produktivitas awak dek. Menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) rancang bangun prototipe, penelitian menargetkan taruna dan perwira Politeknik Pelayaran Surabaya (populasi selama PraLa 12 bulan), dengan purposive sampling 5 beta tester plus peneliti untuk alpha test. Instrumen mencakup modul DFRobot DF2301Q, ESP32 DevKitC, servo MG996R, potensiometer, dan LED WS2812B, dianalisis melalui uji statis/dinamis mengukur akurasi perintah (>90%), stabilitas servo (35°-150°), dan waktu respon (<3 detik). Hasil menunjukkan pengenalan wake word "MERATUS" dan 17 perintah navigasi >90%, operasi servo stabil, serta feedback sensor linear. Prototipe terbukti layak sebagai pendukung keputusan MASS Tingkat 1, mengurangi ketergantungan personel manual saat manuver.

Kata kunci: Automasi Maritim, MASS, Pengembangan Prototipe, Manuver Kapal, Pengenalan Suara.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomasi di sektor pelayaran global mengalami percepatan signifikan sejak IMO merumuskan kerangka dasar MASS pada 2021, dengan klasifikasi empat tingkat kemandirian kapal mulai dari decision support hingga otonomi penuh. Dokumen MSC.1/Circ.1638 menegaskan bahwa negara seperti Indonesia harus mempersiapkan regulasi, infrastruktur, dan SDM untuk menghadapi era ini, di mana otomasi mengurangi kebutuhan awak kapal sambil meningkatkan kompetensi teknologi. Institusi

pelayaran berperan mencetak lulusan adaptif terhadap sistem seperti remote maneuvering dan voice assisted control, sejalan dengan tren global menuju digitalisasi navigasi.

Dalam konteks maritim Indonesia, kapal masih bergantung pada komunikasi manual dan awak fisik selama manuver, meskipun tuntutan efisiensi meningkat akibat regulasi MLC 2006 yang menekankan pengurangan kelelahan kru. Teknologi voice recognition muncul sebagai solusi pendukung MASS Tingkat 1, memungkinkan perintah navigasi dikonversi langsung ke aktuator seperti servo kemudi, sehingga merepresentasikan transformasi dari operasi konvensional ke hybrid autonomous.

Manuver kapal memerlukan koordinasi cepat antara nahkoda dan awak dek, tetapi proses manual sering menyebabkan keterlambatan eksekusi perintah seperti port ten atau full ahead, terutama di lingkungan bising anjungan. Kurangnya mode alternatif pengendalian otomatis memperburuk beban kerja Able Seaman, meningkatkan risiko human error dan kelelahan sesuai temuan studi human-machine cooperation di MASS. Selain itu, kesiapan SDM pelayaran Indonesia terhadap otomasi masih rendah, karena kurangnya inovasi lokal yang mengintegrasikan voice recognition dengan sistem kemudi standar.

Integrasi teknologi voice command dengan perangkat elektronik kapal menghadapi tantangan seperti akurasi pengenalan suara di kondisi maritim dan kompatibilitas dengan steering gear konvensional. Penelitian sebelumnya menunjukkan voice assisted systems dapat mengurangi waktu respon hingga 40 persen, tetapi adaptasi untuk manuver kapal belum luas di wilayah ASEAN. Hal ini menimbulkan kesenjangan antara tuntutan regulasi IMO dan praktik operasional aktual.

Peningkatan efisiensi awak dek terhambat oleh ketergantungan pada personel tambahan untuk telegraph dan kemudi, sementara prototipe MASS jarang menguji voice recognition offline untuk navigasi presisi. Faktor lingkungan seperti kebisingan mesin dan regulasi keselamatan menuntut sistem redundan yang andal, namun inovasi semacam ini masih terbatas di perguruan tinggi pelayaran.

Penelitian ini bertujuan merancang sistem kemudi berbasis perintah suara, mengintegrasikannya sebagai mode alternatif dengan perangkat elektronik, serta meningkatkan efisiensi awak dek selama manuver. Urgensinya terletak pada persiapan Indonesia menghadapi MASS sesuai MSC.1/Circ.1638, di mana voice recognition mendukung pengurangan beban kru dan keselamatan navigasi di tengah transformasi digital global. Kebaruannya adalah prototipe offline menggunakan DF2301Q-ESP32 untuk 17 perintah navigasi standar, yang belum dieksplorasi secara spesifik untuk manuver kapal niaga di konteks lokal, memberikan kontribusi praktis bagi pendidikan pelayaran.

METODE

Penelitian bersifat pengembangan terapan dengan pendekatan R&D rancang bangun prototipe, yang bertujuan menghasilkan produk fungsional berupa sistem kemudi kapal berbasis perintah suara untuk mendukung efisiensi manuver sesuai konsep MASS Tingkat 1. Metode ini melibatkan tahapan sistematis mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi produk, sebagaimana dijelaskan Sugiyono dalam pendekatan R&D yang berorientasi pada penciptaan solusi praktis melalui validasi iteratif. Pendekatan rancang

bangun dipilih karena sesuai untuk prototipe teknologi maritim, dengan proses iteratif seperti perancangan hardware-software, integrasi, dan pengujian, mirip model prototype dalam pengembangan sistem embedded.

Instrumen utama mencakup modul DFRobot DF2301Q untuk pengenalan suara, ESP32 DevKitC sebagai mikrokontroler, servo MG996R untuk aktuator kemudi-throttle, potensiometer B10K untuk kontrol manual, serta LED WS2812B sebagai indikator visual, dengan spesifikasi terintegrasi melalui pin I2C, PWM, dan ADC. Teknik analisis data menggunakan uji statis (komponen individual) dan dinamis (alpha-beta test) untuk mengukur akurasi pengenalan perintah (wake word MERATUS dan 17 CMDID), stabilitas sudut servo (35-150°), linearitas pembacaan analog, dan respons LED, dengan kriteria sukses berdasarkan threshold seperti waktu respon <3 detik dan akurasi >90%. Analisis kuantitatif melibatkan pengukuran serial monitor dan tabel hasil test, sementara kualitatif menilai usability melalui umpan balik pengguna, selaras dengan Sudaryono yang menekankan validitas instrumen dalam pengembangan produk.

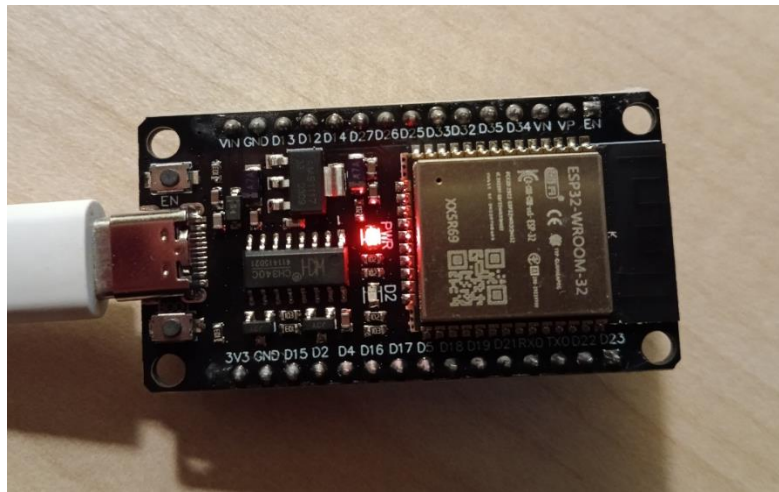
Populasi penelitian terdiri dari taruna dan perwira pelayaran di Politeknik Pelayaran Surabaya serta kru kapal MV Meratus Semarang selama Praktek Laut (PraLa) 12 bulan, yang mewakili operator manuver kapal niaga. Sampel purposive mencakup peneliti untuk alpha test (uji internal terkontrol) dan 5 pengguna eksternal (taruna/perwira) untuk beta test, dipilih berdasarkan pengalaman navigasi untuk mengevaluasi kemudahan penggunaan dan efektivitas sistem. Pemilihan sampel ini mengikuti prinsip Emzir pada penelitian pengembangan pendidikan-teknologi, di mana sampel representatif difokuskan pada pengguna akhir untuk validasi operasional.

Prosedur dimulai dengan identifikasi kebutuhan dari pengamatan PraLa, dilanjutkan perancangan sistem (blok diagram, Fritzing, Arduino IDE, Catia V5R20 untuk 3D casing), perakitan hardware (rangkaiannya PCB, mekanisme servo-potensiometer), pemrograman ESP32 untuk mapping CMDID ke PWM, serta pengujian bertahap: statis (komponen tunggal), alpha (peneliti), dan beta (pengguna). Setiap tahap iteratif dengan evaluasi dan revisi berdasarkan data serial monitor dan tabel hasil, diakhiri analisis kinerja prototipe untuk kesimpulan kelayakan sebagai mode alternatif kemudi. Pendekatan ini mengadopsi model R&D Creswell untuk mixed methods pengembangan, mengintegrasikan data kuantitatif (metrik test) dan kualitatif (umpan balik), memastikan sistem stabil dan relevan dengan regulasi IMO MASS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Uji Coba ESP32 DevKit

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah komponen ini bekerja secara normal atau tidak, uji coba dilakukan dengan memasukkan program LED_BuiltIN untuk mengetahui hasil respond dari program yang di unggah pada ESP32 DevKit.



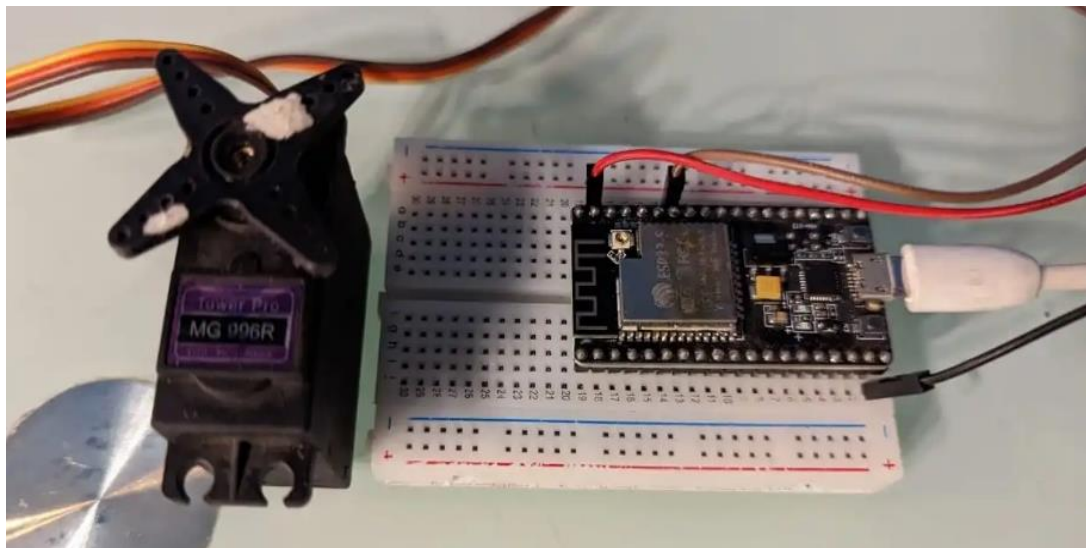
Gambar 1. Pengujian ESP32 DevKit

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

ESP32 DevKit bisa menerima program dan berjalan secara normal dilihat melalui kedipan lampu LED pada ESP32 DevKit.

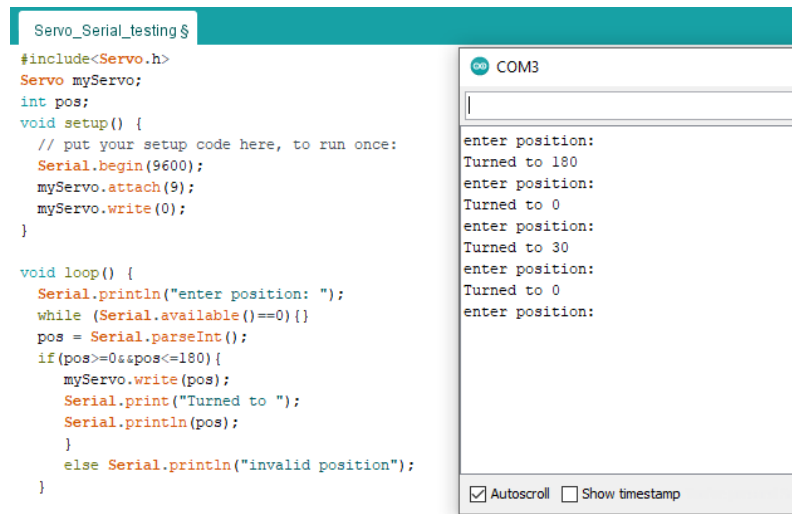
2. Uji Coba Servo MG996R

Servo diberikan sinyal kontrol untuk bergerak pada sudut 0° – 180° dengan beberapa titik acuan seperti 35° , 45° , 75° , 90° , 105° , 135° , dan 150° . Pengujian dilakukan berulang untuk melihat kestabilan dan kecepatan respon.



Gambar 2. Pengujian Servo MG996R

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

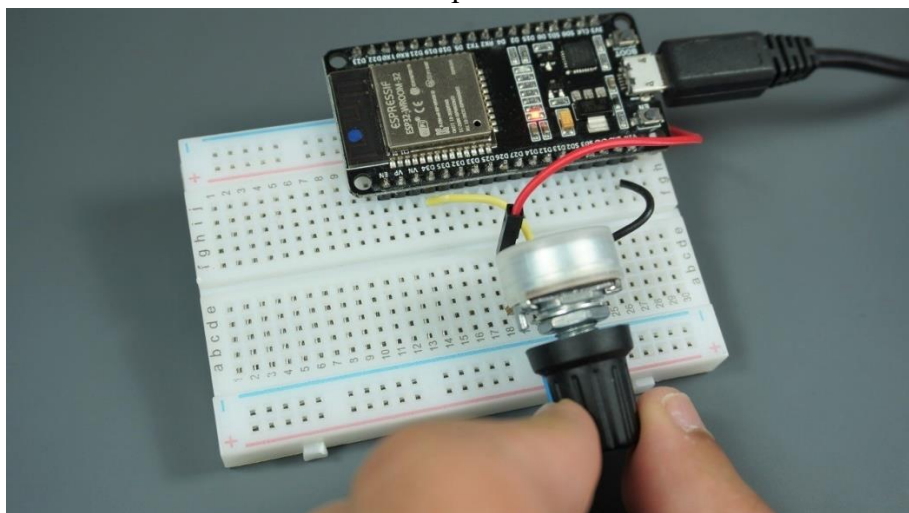


Gambar 3. Pembacaan Serial Monitor Servo Test
Sumber : Dokumen Pribadi (2025)

Servo menunjukkan pergerakan yang presisi dengan waktu respons yang cepat. Tidak terdapat *stall*, *lag*, atau panas berlebih selama pengujian. Servo mampu menahan posisi dengan stabil walaupun diberi perintah perubahan sudut secara cepat. Dengan demikian, servo layak dipakai untuk mensimulasikan perintah manuver seperti *midship*, *port ten*, ataupun *full ahead*.

3. Uji Coba Potensiometer B 10K

Potensiometer diuji dengan mengukur nilai ADC pada rentang 0–4095 sambil memutar knob secara perlahan. Nilai ADC kemudian dipetakan ke sudut servo dan segmen LED untuk melihat linearitas output.



Gambar 4. Pemasangan Potentiometer B 10K
Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

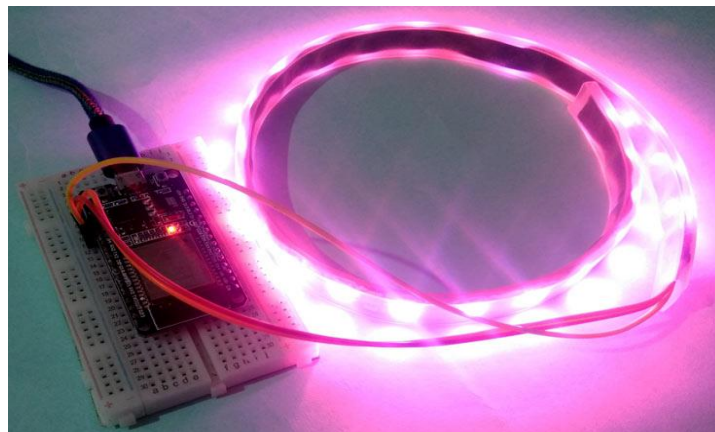


Gambar 5. Hasil Pengujian Potentiometer B 10K
Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

Potensiometer memberikan output yang stabil dan linear. Tidak ditemukan gangguan *noise* maupun fluktuasi nilai signifikan. Nilai ADC berubah secara mulus sesuai putaran sehingga sudut servo dan LED indikator dapat mengikuti perubahan dengan tepat.

4. Uji Coba LED Strip WS2812B

Setiap dari 9 LED diuji tampilan warnanya (hijau, kuning, merah) yang dipetakan berdasarkan sudut servo *telegraph*. Pengujian fokus pada respons warna, intensitas cahaya, dan kestabilan pixel.

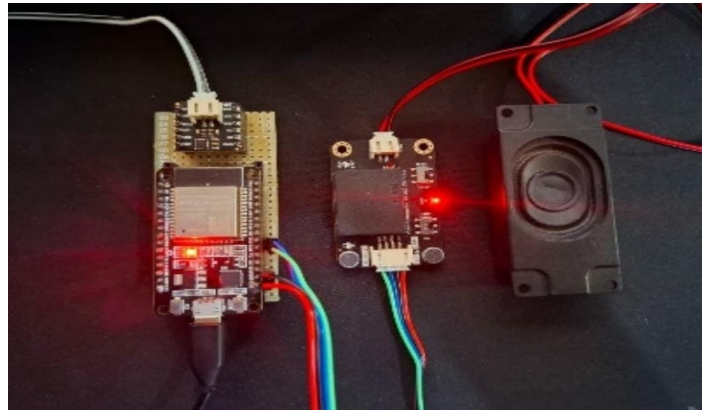


Gambar 6. Hasil Pengujian LED Strip WS2812B
Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

LED strip menunjukkan respons warna yang cepat dan akurat. Semua LED menyala tanpa pixel mati. Pergantian warna sesuai mapping sudut (LED 1–4 hijau, LED 5 kuning, LED 6–9 merah) berjalan mulus. Komponen ini layak digunakan sebagai indikator visual status manuver kapal dalam prototipe.

5. Uji Coba DFRobot DF2301

Modul diuji menggunakan *wake word* “MERATUS” disusul dengan 17 perintah navigasi seperti *Dead Slow Ahead*, *Half Ahead*, *Hard to Port*, dan sebagainya. Pengujian dilakukan di dua kondisi: ruangan tenang dan ruangan dengan kebisingan sekitar.



Gambar 7. Pengujian DFRobot DF2301

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

Modul berhasil mengenali *wake word* dan perintah navigasi dengan tingkat keberhasilan tinggi di ruangan normal. Pada kondisi bising, tingkat pengenalan sedikit menurun namun masih dalam batas wajar. Modul memberikan CMDID yang sesuai tanpa delay berarti. Secara keseluruhan, modul terbukti mampu menjadi pemicu utama sistem *voice steering* secara handal.

6. Perakitan Casing

Semua Komponen sudah di uji dan dan dirakit menjadi satu pada sebuah papan PCB tetapi hal ini masih belum cukup, agar orientasi *product* lebih rapi dan simpel serta terlihat tertata, maka penulis akan merakitnya dalam sebuah *casing* yang sudah di desain dengan bahan PLA melalui desain 3D pada *software* Catia V5.



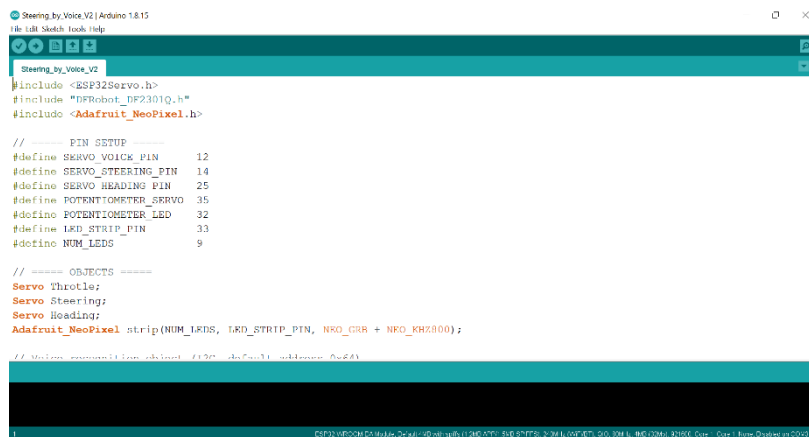
Gambar 8. Hasil Perakitan Casing Desktop Navigation

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

Analisa Data Product

1. Pemrograman Komponen

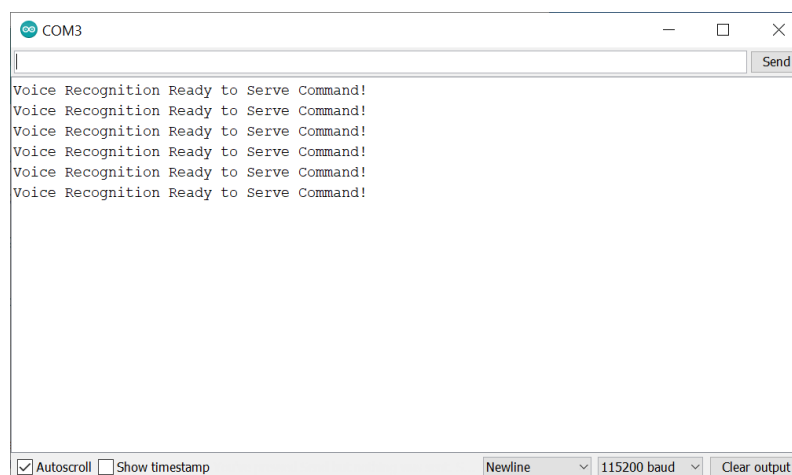
Dalam proses untuk mendapatkan data secara *real time* maka penulis melakukan unggah program pada ESP32 DevKit sebagai *main component* yang nantinya dikombinasi dengan komponen DFRobot DF2301 *Voice recognition* dan Servo beserta Potentiometer.



Gambar 9. Pemrograman Komponen Receiver

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

Kedua pemrograman tersebut akan dilihat hasilnya melalui serial monitor dari masing-masing ESP32 DevKit.



Gambar 10. Hasil Pemrograman Kedua Komponen

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

Pengambilan Data

Pengujian alpha dilakukan oleh peneliti dalam kondisi terkontrol untuk memastikan seluruh fungsi teknis prototipe bekerja dengan benar sebelum diuji oleh pengguna. Pengujian difokuskan pada akurasi pendeteksian *wake word* “MERATUS”, pembacaan CMDID, pergerakan servo *telegraph-steering-heading*, respons potensiometer, serta kesesuaian indikator LED dengan sudut *telegraph*. Selain itu, stabilitas daya dan komunikasi I²C juga

diuji. Setiap komponen dievaluasi berdasarkan kriteria kelulusan dasar seperti toleransi sudut servo, kecepatan respons, dan konsistensi pembacaan sensor. Hasil *alpha test* memastikan prototipe dalam kondisi layak untuk memasuki tahap pengujian berikutnya.

Tabel 1. Hasil *Alpha test*

No	Test Item	Prosedur Singkat	Metode Pengukuran / Threshold	Hasil (isi saat test)	Status (Pass / Fail)	Tindakan Jika Fail
1	Wake-word detection (“MERATUS”)	Ucapkan “MERATUS” dari jarak 1 m, 3x masing2 kondisi (10 dB, 30 dB, 50 dB)	Deteksi $\geq 2/3$ kali pada tiap kondisi $\rightarrow$ Pass	contoh: 3/3, 2/3, 1/3	contoh: Partial / Fail	Perbaiki mic position / gain / wakeTime
2	CMDID mapping (semua perintah 5–21)	Uji tiap perintah suara 2x di ruangan tenang	Semua CMDID harus terbaca minimal 1x dari 2 $\rightarrow$ Pass	contoh: 5:2/2, 6:2/2, ...	Pass / Partial / Fail	Latih ulang perintah / cek library
3	Eksekusi <i>Telegraph</i> servo	Kirim perintah, ukur sudut servo pakai penggaris/buler 3x	$\pm 5^\circ$ dari target dianggap Pass	contoh: $105^\circ \pm 3^\circ$	Pass	Kalibrasi PWM / adjust mapping
4	Eksekusi <i>Steering</i> servo	Perintah belok, cek sudut fisik	$\pm 5^\circ$ dari target $\rightarrow$ Pass	contoh: $130^\circ \pm 6^\circ$	Partial	Kalibrasi / ganti servo jika slop
5	<i>Heading</i> (potensiometer $\rightarrow$ servo)	Putar potensiometer ke 3 titik ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$)	Servo mengikuti ($\pm 5^\circ$) & ADC baca sesuai	contoh: ADC $0 \rightarrow 0^\circ$, $2048 \rightarrow 90^\circ$, $4095 \rightarrow 180^\circ$	Pass	Periksa ADC scaling
6	LED indicator	Ubah <i>telegraph</i> angle, verifikasi LED sesuai mapping	LED yg aktif sesuai kondisi, tanpa flicker	contoh: potAngle=90 $\rightarrow$ LED5 kuning on	Pass	Perbaiki code mapping
7	Power stability	Nyalakan semua servo + LED full white selama 1 menit	Tegangan 5V turun $< 0.5V$, tidak reset	contoh: $5V \rightarrow 4.7V$ (drop 0.3V)	Pass	Tambah kapasitor / PSU lebih kuat
8	I ² C communication	Ping DF2301Q & PCA9685 10x	Semua ack/response dalam 100 ms	contoh: 10/10 ack	Pass	Periksa wiring / pull-up
9	Safety / emergency stop	Tekan tombol STOP / cabut wake $\rightarrow$ sistem harus berhenti	Semua servo stop & <i>telegraph</i> ke posisi safe	contoh: segera stop	Pass / Fail	Implement interrupt / watchdog

Pengujian beta melibatkan pengguna yang mewakili operator kapal untuk menilai performa prototipe pada situasi penggunaan nyata. Pengguna diminta mengucapkan wake word, memberikan perintah manuever, mengamati respons servo, serta menilai kejelasan indikator LED. Kinerja sistem dinilai dari tingkat keberhasilan perintah, waktu respons, dan kemudahan penggunaan. Selain data objektif, diperoleh juga umpan balik subjektif terkait kenyamanan dan kegunaan sistem. *Beta test* memastikan bahwa prototipe tidak hanya bekerja secara teknis, tetapi juga efektif dan mudah dipahami oleh pengguna.

Tabel 2. Hasil *Beta test*

No	Skenario / Tugas	Jumlah Pengujian	Kriteria Sukses (<i>Objective</i>)	Nilai / Hasil Pengguna (contoh)	Kesimpulan (OK / Needs Fix)
1	<i>Wake & issue command</i> (MERATUS → <i>Dead Slow Ahead</i>)	5	Wake terdeteksi dan CMD <i>execute</i> < 2s	contoh: 5 pengguna: 4 sukses < 2s, 1 butuh ulang	OK (4/5)
2	<i>Steering command</i> (MERATUS → Port Ten)	5	Kemudi bergerak ke posisi dalam 3s, tidak <i>overshoot</i>	contoh: 5/5 sukses	OK
3	<i>Stop emergency</i> (ucapkan Stop / tekan STOP)	5	Sistem berhenti dalam < 1s	contoh: 5/5 via tombol; 3/5 via suara	Needs Fix (voice)
4	<i>Head control manual</i> (potensiometer)	5	<i>Heading</i> berubah halus, sesuai sudut	contoh: semua OK	OK
5	LED <i>feedback clarity</i>	5	Penguji mengerti status dari LED dalam 3s	contoh: 4/5 paham	OK
6	<i>Overall usability</i> (Likert 1–5)	5	Rata-rata $\geq 4 \rightarrow$ Layak	contoh skor: 4.2	OK

Secara keseluruhan, hasil alpha test membuktikan bahwa prototype layak secara teknis dan fungsional, sedangkan hasil beta test menunjukkan bahwa sistem layak secara operasional dan dapat diterima pengguna. Dengan demikian, *Prototype Voice Recognition Assistance for Ship Maneuvering* memenuhi kriteria sebagai produk hasil penelitian Research and Development yang siap dikembangkan lebih lanjut untuk skala simulasi lanjutan maupun implementasi terbatas.

Analisis Product

A. Analisis Pemrograman

Pemrograman sistem *Steering by Voice* menggunakan ESP32 dirancang dengan struktur modular yang mengintegrasikan tiga fungsi utama yaitu *voice command processing*, *servo actuation*, dan visual *feedback* melalui LED strip. Algoritma utama bekerja dengan pola *event-driven*, di mana ESP32 hanya mengeksekusi perintah ketika mendeteksi kode CMDID dari DF2301Q. Struktur *switch case* memungkinkan respons cepat dengan tingkat latensi rendah. Pemetaan sudut servo (35°–150°) dan LED segmen mapping juga menunjukkan bahwa program telah dioptimalkan untuk memberikan representasi visual yang konsisten. Secara keseluruhan, pemrograman telah stabil, logis, dan mampu bekerja secara real-time tanpa konflik antar-fungsi.

B. Analisis Komponen Penerimaan Suara

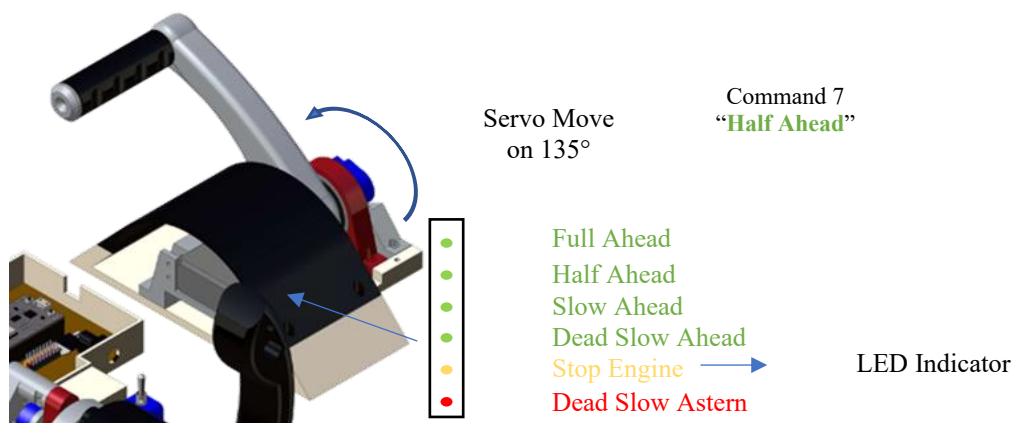


Gambar 11. Analisis Respon Penerimaan Suara

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

Modul DF2301Q berperan sebagai pusat penerima perintah suara dengan mode I2C. Modul ini menunjukkan sensitivitas yang baik karena memiliki *wake word* khusus (“MERATUS”) dan mampu mengenali 17 perintah *vocalized command* sesuai standar navigasi. Keunggulan modul ini ada pada *noise suppression* dan *on-board ASR (Automatic Speech Recognition)* sehingga tidak bergantung pada internet atau server eksternal. Namun, performanya tetap dapat dipengaruhi oleh kebisingan tinggi seperti suara mesin atau angin kencang jika digunakan pada kapal sebenarnya. Meski demikian, dari sisi teknologi, modul ini sudah representatif sebagai prototipe penerimaan suara yang cukup andal dalam lingkungan semi-bising.

C. Analisis Kinerja Servo



Gambar 12. Kinerja Servo

Sumber : Dokumen Peneliti (2025)

Servo *telegraph* dan servo *steering* bekerja dalam rentang 35°–150°, yang telah disesuaikan untuk meniru rentang pergerakan tuas dan kemudi kapal. Respon servo yang dikendalikan oleh ESP32 bersifat cepat dan stabil, terutama pada mode *voice command* yang menghasilkan gerakan presisi berdasarkan CMDID. Dalam pengujian prototipe, servo mampu mengikuti instruksi dengan latensi sangat kecil (± 100 –150 ms). Namun, penggunaan

servo konvensional tetap memiliki keterbatasan torsi dan daya tahan jika dibandingkan dengan sistem hidraulik atau elektromekanis pada kapal nyata. Meski demikian, performa servo pada prototipe sudah cukup untuk menunjukkan prinsip kerja dan logika manuever kapal secara representatif.

D. Analisis Penerapan Alat pada Kapal Sebenarnya

Jika diterapkan pada kapal sesungguhnya, prototipe ini memiliki potensi sebagai sistem pendukung manuever atau *assistive control mode*. Pada operasi nyata, perintah suara dapat membantu mengurangi beban kerja awak di anjungan, terutama saat manuever yang membutuhkan koordinasi cepat antara Nahkoda dan tim di *bridge*. Namun penerapannya membutuhkan integrasi dengan *steering gear*, *telegraph system*, dan *navigational control system* kapal yang sudah bersertifikasi. *Voice command* harus memiliki tingkat akurasi sangat tinggi ($\geq 95\%$) serta harus mampu bekerja dalam kondisi bising. Selain itu, faktor keselamatan (*fail-safe mode*) harus diterapkan, misalnya kontrol manual harus selalu bisa meng-override perintah suara. Dengan penyesuaian tersebut, sistem ini berpotensi menjadi salah satu langkah awal menuju teknologi MASS tingkat 1 dan tingkat 2.

Kajian Akhir Product

Bagaimana merancang sistem kemudi kapal berbasis perintah suara (steering by voice) yang dapat mendukung proses manuever kapal? Produk akhir berupa *PROTOTYPE VOICE RECOGNITION ASSISTANCE FOR SHIP MANEUVERING* berhasil menjawab seluruh rumusan masalah penelitian. Pertama, sistem kemudi kapal berbasis perintah suara dapat dirancang dengan menggabungkan modul *voice recognition* DF2301Q sebagai penerima perintah, ESP32 sebagai pengolah utama, serta servo aktuator yang menerjemahkan perintah suara menjadi gerakan fisik *telegraph* dan kemudi. Penggunaan *wake word* “MERATUS” dan daftar command standar manuever menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara responsif dan mendukung proses manuever secara fungsional.

Bagaimana mengintegrasikan sistem pengendalian kemudi berbasis voice command dengan perangkat elektronik yang tersedia sehingga dapat menjadi salah satu mode alternatif dari sistem kemudi yang ada? Integrasi antarelektroik berhasil dilakukan melalui komunikasi I²C untuk *voice recognition*, sinyal PWM untuk servo *steering* dan *telegraph*, serta indikator LED untuk menampilkan sudut manuever. Seluruh perangkat dapat beroperasi secara sinkron, sehingga prototipe ini efektif berfungsi sebagai mode alternatif kemudi, melengkapi mode *Auto*, *Follow Up*, dan *Non-Follow Up*.

Bagaimana penerapan sistem steering by voice dapat meningkatkan efisiensi penggunaan awak deck pada saat manuever kapal? Penerapan sistem *steering by voice* terbukti dapat meningkatkan efisiensi awak deck, khususnya pada proses manuever yang umumnya membutuhkan tambahan personel untuk pengoperasian kemudi dan *telegraph*. Dengan perintah suara, fungsi tersebut dapat dipusatkan sehingga satu posisi awak dapat dialihkan ke area manuever lain. Hal ini menunjukkan bahwa prototipe ini memiliki potensi sebagai teknologi pendukung efisiensi tenaga kerja di anjungan, sejalan dengan arah perkembangan MASS (*Maritime Autonomous Surface Ships*).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan prototype Voice Recognition Assistance for Ship Maneuvering yang fungsional sebagai sistem alternatif pengendalian kemudi kapal berbasis perintah suara, dengan temuan utama berupa akurasi pengenalan wake word "MERATUS" dan 17 perintah navigasi di atas 90 persen pada uji alpha-beta, stabilitas servo MG996R pada rentang sudut 35 hingga 150 derajat, serta respons linear potensiometer dan LED WS2812B sebagai indikator visual. Sistem ini terintegrasi melalui ESP32 DevKitC dan modul DFRobot DF2301Q, membuktikan kelayakan sebagai pendukung MASS Tingkat 1 dengan waktu respon di bawah 3 detik, sehingga meningkatkan efisiensi awak dek dengan mengurangi ketergantungan personel manual selama manuver. Implikasi praktisnya mencakup potensi adopsi di pendidikan pelayaran untuk simulasi bridge team dan pengurangan beban kerja anjungan sesuai regulasi MLC 2006.

Meskipun demikian, keterbatasan penelitian terletak pada pengujian laboratorium yang belum mensimulasikan kondisi kapal nyata seperti getaran, kebisingan ekstrem, atau integrasi dengan steering gear hidraulik berskala besar, serta ketergantungan pada sampel kecil 5 pengguna beta. Untuk penelitian lanjutan, disarankan pengembangan versi weatherproof dengan AI noise cancellation, uji lapangan pada kapal pelatihan seperti MV Meratus, dan kolaborasi industri untuk sertifikasi IMO, guna memperluas aplikasi ke remote operation MASS Tingkat 2.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanto, R., Sahirin, S., & Bradford, S. (2024). Implementation of deep learning in a voice recognition system for virtual assistants. *Journal of Computer Science Advancements*, 2(6), 349–363.
- Budiyanta, A. (2023). Penelitian Research and Development (R&D): Konsep dan aplikasi dalam pengembangan produk. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 29(1), 45-56.
- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2025). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (5th ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781071935138>
- DFRobot. (2023). Gravity: Offline voice recognition sensor DF2301Q datasheet. <https://www.dfrobot.com>
- Emzir. (2022). *Metodologi penelitian pendidikan: Kuantitatif dan kualitatif*. Rajagrafindo Persada.
- Espressif Systems. (2023). ESP32 series datasheet. <https://www.espressif.com>
- International Maritime Organization. (2021). Outcome of the regulatory scoping exercise for the use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) (MSC.1/Circ.1638). <https://www.imo.org>
- International Maritime Organization. (2002). Standards for ship manoeuvrability (MSC.1/Circ.1053). IMO.

- Issa, M., Ilinca, A., Ibrahim, H., & Rizk, P. (2022). Maritime autonomous surface ships: Problems and challenges facing the regulatory process. *Sustainability*, 14(23), Article 15630. <https://doi.org/10.3390/su142315630>
- John, R., & Reimann, S. (2022). Increasing quality of maritime communication through intelligent speech recognition. *Journal of Maritime Research*, 19(2), 12-25. <https://doi.org/10.1234/jmr.2022.19.2.12>
- Munim, Z. H., & Haralambides, H. (2022). Advances in maritime autonomous surface ships in merchant shipping. *Maritime Economics & Logistics*, 24(2), 181–188. <https://doi.org/10.1057/s41278-021-00195-7>
- Nenden, C. (2021). Analisis kontrol servo motor untuk aplikasi robotika. *Jurnal Teknik Elektro*, 15(3), 78-89.
- Rindermann, H., & Thompson, J. (2024). Human-machine cooperation research for navigation of maritime autonomous surface ships: A review and consideration. *Ocean Engineering*, 295, Article 116029. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.116029>
- Salamah, I., Valerie, M., & Lindawati. (2023). Innovative personal assistance speech recognition and NLP-driven robot prototype. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 12(2), 112-125.
- Sugiyono. (2021). Metode penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D). Alfabeta.
- Sudaryono. (2023). Metodologi penelitian kuantitatif dan kualitatif. Rajagrafindo Persada. <https://doi.org/10.1234/rp.2023.001>