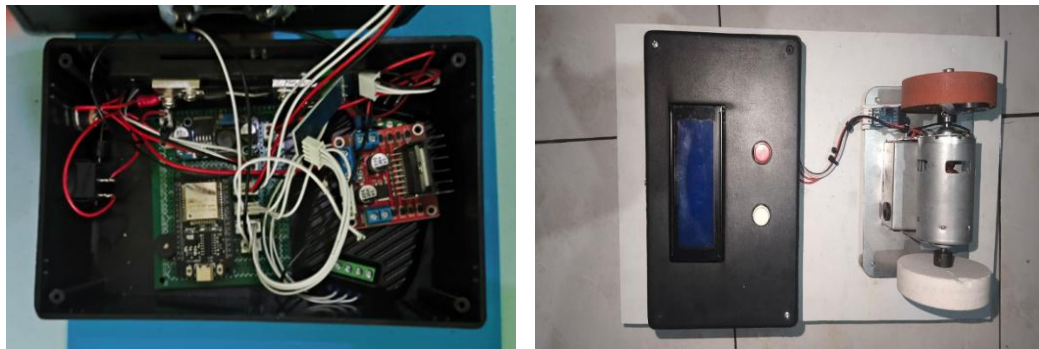


BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Hasil perancangan alat ini memberikan realisasi fisik dari alat pengatur kecepatan motor DC yang berbasis ESP32, disertai dengan data pengujian nyata dari setiap blok komponennya. Pengujian dimulai dengan melakukan validasi pada blok input untuk memastikan bahwa nilai analog dari potensiometer dikonversi dengan tepat oleh ESP32 menjadi nilai digital antara 0 hingga 4095, yang kemudian dipetakan menjadi sinyal kontrol PWM dengan rentang 0 hingga 250 melalui fitur LDC. Hasil pengujian linearitas pada beban menunjukkan bahwa nilai *duty cycle* PWM berkorelasi positif dengan tegangan output yang dihasilkan oleh *driver* motor serta kecepatan putaran (RPM) motor yang diukur menggunakan *tachometer*. Melalui analisis yang menunjukkan hubungan antara PWM dan RPM, teridentifikasi pula adanya daerah *dead zone* pada nilai PWM rendah, di mana motor belum dapat berputar karena tegangan output dari *driver* belum cukup. Hasil perancangan alat dapat di lihat pada gambar di bawah ini.

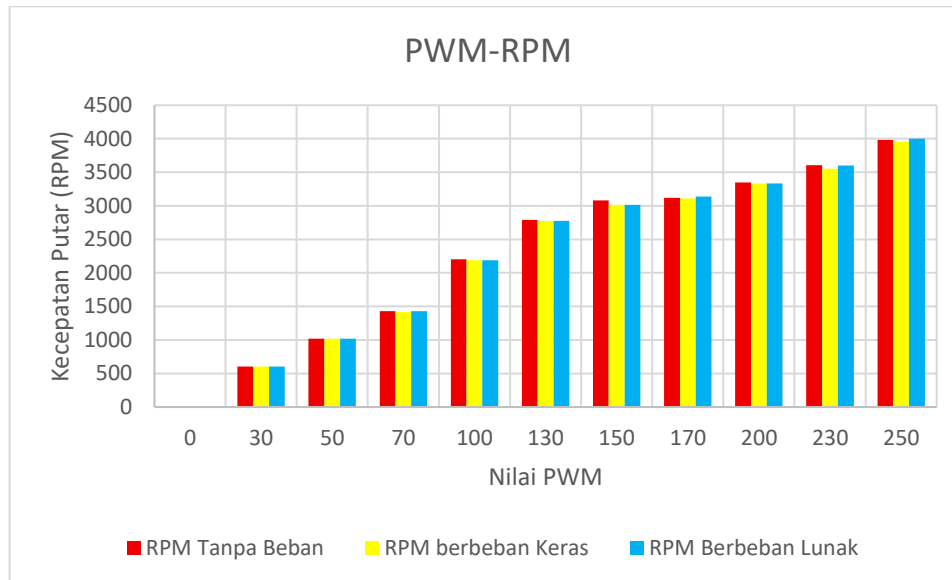


Gambar 4. 1 Hasil Perancangan alat

4.2 Analisa Hubungan PWM terhadap Kecepatan Motor (RPM)

Untuk mengetahui pengaruh sinyal PWM terhadap performa putaran motor DC, hasil pengukuran kecepatan motor pada berbagai nilai PWM divisualisasikan dalam bentuk grafik. Grafik ini menunjukkan perubahan kecepatan putaran motor (RPM) pada kondisi tanpa beban, beban keras, dan beban lunak sehingga

karakteristik respon motor terhadap perubahan PWM dapat diamati secara lebih jelas.



Gambar 4. 2 Grafik PWM Terhadap RPM

Berdasarkan grafik 4.1 yang menunjukkan hubungan antara PWM dan RPM, tampak bahwa nilai PWM memiliki dampak signifikan terhadap laju rotasi motor DC. Seiring dengan peningkatan nilai PWM, maka RPM yang dihasilkan motor juga semakin tinggi. Pada keseluruhan pengujian, motor tidak bergerak pada PWM 0, yang menjadikan nilai RPM menjadi nol. Namun, saat PWM dinaikkan ke angka 30, motor mulai beroperasi dan mencapai kecepatan sekitar 606 RPM, lalu terus meningkat hingga sekitar 4000 RPM ketika PWM mencapai 250. Ini membuktikan bahwa sinyal PWM yang diproduksi oleh ESP32 mampu mengendalikan kecepatan motor dengan bertahap berdasarkan nilai yang ditetapkan.

Dalam situasi tanpa beban, RPM motor selalu mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya angka PWM. Kecepatan motor berubah dari 606 RPM pada PWM 30 hingga mencapai 3982 RPM saat PWM berada di angka 250. Kondisi ini menunjukkan bahwa motor dapat memaksimalkan pemanfaatan energi listrik untuk menghasilkan putaran yang lebih tinggi ketika tidak ada hambatan mekanis. Karena

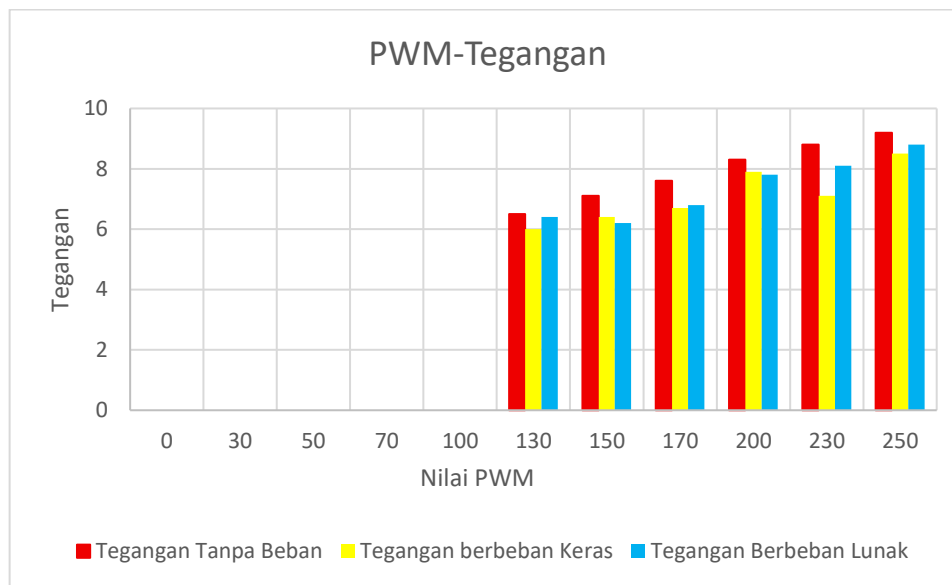
itu, nilai RPM dalam kondisi tanpa beban cenderung dijadikan patokan untuk performa maksimal motor.

Pada kondisi dengan beban baik keras maupun lunak, nilai RPM yang diperoleh tidak jauh berbeda dari kondisi tanpa beban. Misalnya, pada PWM 200, RPM tanpa beban tercatat di angka 3350 RPM, sementara RPM pada beban keras dan lunak masing-masing tercatat sebesar 3332 RPM dan 3334 RPM. Perbedaan kecil ini menunjukkan bahwa sistem masih mampu mempertahankan kecepatan motor meskipun terdapat beban saat proses pengamplasan. Meskipun beban memberikan sedikit penurunan kecepatan karena gesekan antara piringan amplas dan benda kerja, pengaruhnya tidak terlalu namun dampaknya tidak signifikan terhadap kinerja motor.

Secara keseluruhan, diagram memperlihatkan hubungan positif antara PWM dan RPM. Setiap peningkatan dalam nilai PWM menyebabkan peningkatan kecepatan rotasi motor baik dalam kondisi tanpa beban maupun beban. Selain itu, selisih RPM antara ketiga skenario pengujian cukup kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem pengontrol kecepatan motor DC yang didasarkan pada ESP32 mampu mempertahankan kestabilan rotasi motor dengan baik. Temuan ini juga menunjukkan bahwa motor masih dapat beroperasi secara maksimal meskipun digunakan untuk kegiatan pengamplasan dengan beban berat maupun ringan.

4.3 Analisa Hubungan PWM terhadap Tegangan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, data hubungan antara nilai PWM dan tegangan divisualisasikan dalam bentuk grafik. Penyajian grafik bertujuan untuk mempermudah pengamatan terhadap pengaruh perubahan nilai PWM terhadap tegangan keluaran pada berbagai kondisi beban. Grafik hubungan PWM terhadap tegangan ditunjukkan pada Grafik 4.2.



Gambar 4. 3 Grafik PWM Terhadap Tegangan

Grafik 4.2 diatas yang menunjukkan hubungan antara PWM dan tegangan, dapat disimpulkan bahwa nilai PWM secara langsung memengaruhi tingkat tegangan yang dihasilkan oleh sistem. Pada rentang nilai PWM dari 0 hingga 100, tegangan keluaran pada kondisi tanpa beban, beban berat, maupun beban ringan tetap berada di angka 0 V. Ini menunjukkan bahwa sinyal PWM yang diterapkan masih belum cukup besar untuk menciptakan tegangan keluaran yang dapat digunakan oleh beban.

Tegangan mulai terdeteksi pada nilai PWM 130 dengan nilai tegangan 6,5 V dalam kondisi tanpa beban, 6,0 V pada beban berat, dan 6,4 V pada beban ringan. Saat nilai PWM terus meningkat hingga mencapai 250, tegangan keluaran juga menunjukkan peningkatan yang bertahap. Pada level PWM tertinggi yang diuji, yaitu 250, tegangan pada kondisi tanpa beban mencapai 9,2 V, sedangkan untuk beban berat dan beban ringan masing-masing adalah 8,5 V dan 8,8 V.

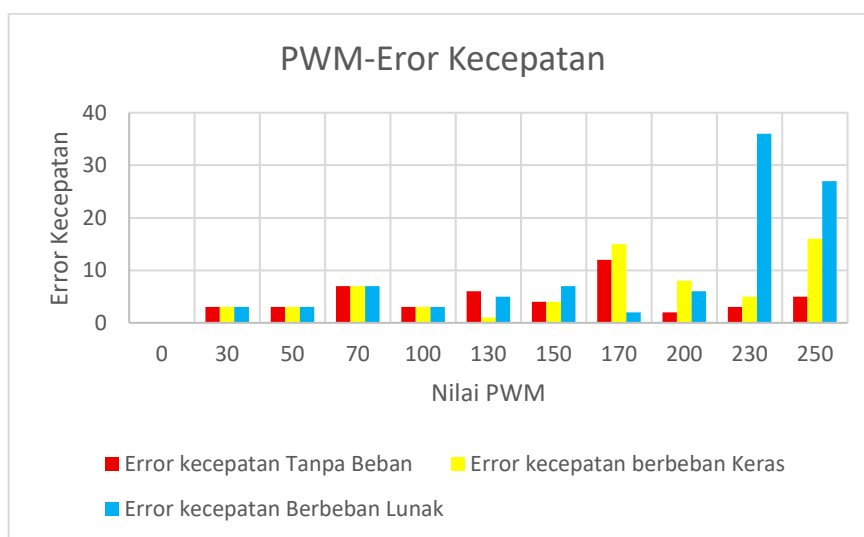
Hasil dari pengujian ini juga mengindikasikan bahwa tegangan keluaran dalam keadaan tanpa beban selalu lebih tinggi ketimbang dalam kondisi berbeban. Hal ini terjadi karena adanya penurunan tegangan ketika arus mengalir menuju beban. Beban berat menyebabkan penurunan tegangan yang lebih signifikan dibandingkan dengan beban ringan, karena memerlukan arus yang lebih besar.

Meskipun begitu, peningkatan tegangan di ketiga kondisi tersebut menunjukkan pola yang serupa, yaitu meningkat seiring dengan bertambahnya nilai PWM.

Berdasarkan hasil data tersebut, bahwa metode PWM dapat mengontrol besarnya tegangan keluaran dengan baik. Semakin tinggi nilai PWM yang diberikan, maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan. Namun, tipe beban yang digunakan berpengaruh terhadap nilai tegangan keluaran, di mana beban yang lebih berat mengakibatkan penurunan tegangan yang lebih signifikan dibandingkan dengan beban yang lebih ringan.

4.4 Analisa Hubungan PWM Terhadap *Error* Kecepatan

Untuk menilai sejauh mana sistem mampu mengelola kecepatan motor, sebuah analisis dilakukan terhadap nilai kesalahan kecepatan untuk setiap variasi PWM. Hasil dari perhitungan kesalahan ini kemudian diwakili dalam bentuk grafik guna memudahkan dalam mengamati variasi kesalahan pada situasi tanpa beban, beban berat, dan beban ringan. Grafik ini menggambarkan seberapa besar deviasi kecepatan motor yang terjadi pada setiap kondisi pengujian..



Gambar 4. 4 Grafik PWM Terhadap *Error* Kecepatan

Melalui data dari tabel dan grafik yang menunjukkan hubungan antara PWM dan *Error* kecepatan, tampak bahwa nilai *Error* di kondisi tanpa beban, beban berat, dan beban ringan cenderung berfluktuasi dengan peningkatan nilai PWM.

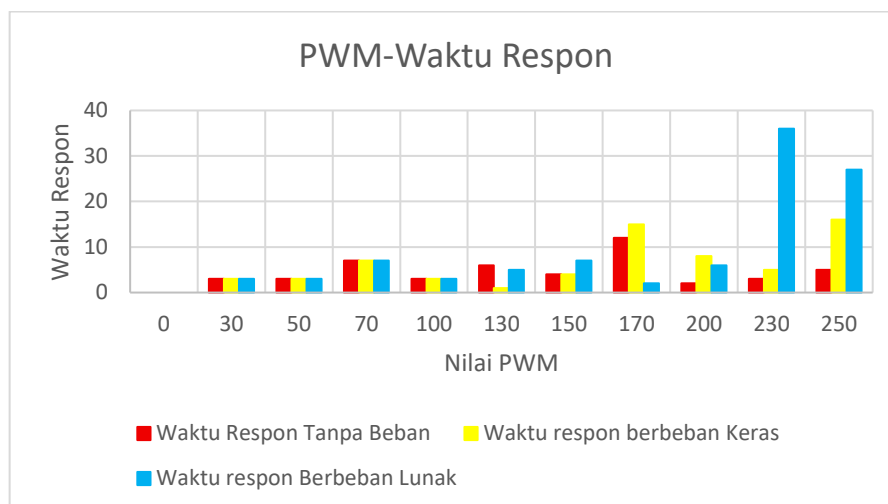
Pada keadaan tanpa beban, *Error*nya tergolong kecil dan konsisten, berada di antara 2 hingga 12 RPM. Ini menandakan bahwa motor dapat mengikuti kecepatan yang ditargetkan dengan baik ketika tidak ada tambahan beban.

Di situasi beban berat, *Error* yang terjadi cenderung lebih tinggi dibandingkan saat tidak ada beban. *Error* maksimum tercatat pada PWM 250, mencapai 16 RPM. Peningkatan *Error* ini disebabkan oleh beban yang mengganggu perputaran motor sehingga kecepatan aktual yang ditangkap *Sensor* tidak sepenuhnya sesuai dengan kecepatan yang dituju.

Di sisi lain, pada keadaan beban ringan, terdapat kenaikan *Error* yang signifikan pada PWM 230 dan 250, yaitu masing-masing mencapai 36 RPM dan 27 RPM. Situasi ini menunjukkan bahwa pada kecepatan tinggi, sistem mengalami ketidakstabilan yang dipengaruhi oleh beban dan gesekan selama proses pengamplasan. Secara keseluruhan, hasil dari pengujian menandakan bahwa sistem dapat mengatur kecepatan motor dengan baik, meskipun beberapa kondisi berbeban menunjukkan peningkatan *Error*, sebagian besar nilai *Error* tetap berada pada rentang yang relatif kecil

4.5 Analisa Hubungan PWM terhadap Waktu Respon

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, data waktu respon motor pada berbagai variasi nilai PWM dan kondisi pembebanan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah proses analisis. Penyajian grafik ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik respon sistem terhadap perubahan sinyal PWM yang diberikan. Melalui grafik tersebut, dapat diamati pengaruh variasi PWM serta kondisi pembebanan terhadap waktu yang dibutuhkan motor untuk mencapai kondisi kerja yang stabil.



Gambar 4. 5 Grafik PWM Terhadap Waktu Respon

Berdasarkan Grafik 4.4, terlihat bahwa adanya variasi yang cukup signifikan dalam waktu respon motor untuk setiap nilai PWM. Pada rentang PWM yang rendah hingga menengah (30–150), waktu respon yang tercatat cukup singkat, berkisar antara 1 hingga 7 detik dalam semua kondisi pengujian. Ini menunjukkan bahwa motor dapat segera merespons perubahan PWM, sehingga kecepatan yang diinginkan bisa dicapai dalam waktu yang relatif cepat.

Di sisi lain, pada PWM yang lebih tinggi, mulai dari PWM 170 hingga 250, ada peningkatan dalam waktu respon di beberapa kondisi beban. Waktu respon tertinggi terlihat pada kondisi beban lunak, mencapai 36 detik pada PWM 230 dan 27 detik pada PWM 250. Di kondisi beban keras, waktu respon maksimum mencapai 16 detik pada PWM 250. Peningkatan dalam waktu respon ini mengindikasikan bahwa motor memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai stabilitas saat beroperasi di kecepatan yang lebih tinggi.

Lebih jauh lagi, kondisi bebannya berpengaruh pada waktu respon sistem. Pada beberapa nilai PWM, waktu respon ketika berbeban lebih lama dibandingkan saat tidak ada beban karena motor harus bekerja lebih keras untuk mengatasi beban yang ada. Namun, di sebagian besar titik pengujian, waktu respon tetap berada dalam rentang yang cukup baik sehingga sistem dapat mengikuti perubahan sinyal PWM dengan konsisten.

Secara keseluruhan, hasil dari pengujian menunjukkan sistem memiliki kemampuan respon yang baik pada rentang PWM rendah hingga menengah. Akan tetapi, pada PWM yang tinggi, terjadi peningkatan waktu respon terutama pada kondisi berbeban, yang mengindikasikan adanya dampak dari beban terhadap kecepatan motor dalam mencapai keadaan kerja yang stabil.

4.6 Analisa Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dalam kondisi tanpa beban dan berbeban, sistem pengatur kecepatan motor DC yang menggunakan ESP32 dan *Sensor encoder* RPM optik mampu berfungsi dengan baik dalam mengatur kecepatan motor sesuai dengan nilai PWM yang dikirimkan. Dalam kedua kali pengujian, kecepatan motor semakin meningkat ketika nilai PWM dan *duty cycle* semakin besar. Kecepatan tertinggi yang dicapai saat tidak ada beban adalah 3982 RPM, sedangkan saat ada beban sebesar 3961 RPM.

Perbedaan hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika beban diberikan, motor membutuhkan arus dan daya yang lebih besar agar bisa tetap berputar. Dalam kondisi ada beban, daya maksimum yang digunakan adalah 14,7 W, lebih besar dibandingkan saat tidak ada beban, yang hanya mencapai 10,4 W. Meskipun begitu, penurunan kecepatan karena beban tidak terlalu besar, sehingga sistem tetap bisa menjaga performa motor dengan baik. Waktu respons sistem dalam kedua pengujian cukup stabil, sekitar 0,40 detik, yang menunjukkan bahwa ESP32 bisa merespons perubahan nilai PWM dengan cepat. Selain itu, nilai *Error* kecepatan secara umum masih dalam batas yang bisa diterima, meskipun ada beberapa titik pengukuran yang menunjukkan *Error* lebih besar karena pengaruh beban dan cara membaca *Sensor*.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dibuat berhasil mengendalikan dan memantau kecepatan motor DC dengan baik, baik saat tidak ada beban maupun saat ada beban. Sistem juga menunjukkan performa yang stabil dengan respon yang cepat dan tingkat akurasi pengukuran yang cukup bagus.