



Perancangan dan Pembuatan Simulator Pendeteksi Kerusakan Bearing

¹Nurhadi, ²Sutan Dzaky H.N

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

¹nurhadi@polinema.ac.id

Abstract

Wheel bearings are essential mechanical components that support radial and axial loads while ensuring smooth wheel rotation. Early detection of bearing faults is important to improve vehicle safety, reliability, and maintenance efficiency. This study aims to design and develop a wheel bearing fault detection simulator based on a multi-sensor system integrated with an ESP32 microcontroller. An experimental method was employed through the design, fabrication, and integration of mechanical and electronic systems capable of simulating actual bearing operating conditions. The mechanical system consists of a 1-phase AC motor with a maximum speed of 3000 rpm, a pulley-belt transmission, a rotating shaft, and a wheel test assembly. The electronic system integrates an SW-420 vibration sensor, MAX4466 sound sensor, MLX90614 infrared temperature sensor, Hall effect sensor for rotational speed measurement, LCD 20×4 display, and a data logger for real-time monitoring and automatic data recording. The simulator was designed using Autodesk Fusion 360 before being fabricated and assembled into a functional prototype. The developed system successfully integrates all components to simultaneously measure, display, and record vibration, sound, temperature, and rotational speed data during bearing operation. The proposed simulator is expected to provide a reliable experimental platform for future studies on wheel bearing condition monitoring, fault diagnosis, and the development of intelligent predictive maintenance systems.

Keywords: bearing fault detection, bearing simulator.

Abstrak

Bearing roda merupakan komponen mekanis yang berfungsi menopang beban radial dan aksial sekaligus memungkinkan roda berputar dengan gesekan yang minimum. Deteksi dini kerusakan bearing sangat penting untuk meningkatkan keselamatan, keandalan, dan efektivitas pemeliharaan kendaraan. Permasalahannya alat pendeteksi kerusakan bearing di pasaran masih terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat alat simulator pendeteksi kerusakan bearing roda berbasis sistem multi-sensor yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen melalui tahapan perancangan, fabrikasi (integrasi sistem mekanik dan elektronik) agar mampu mensimulasikan kondisi kerja bearing secara terkontrol, dan pengujian fungsi simulator. Sistem mekanik terdiri atas motor AC 1 phase berkecepatan maksimum 3000 rpm, transmisi pulley-belt, poros, dan roda uji, sedangkan sistem elektronik terdiri dari sensor getaran SW-420, sensor akustik MAX4466, sensor suhu inframerah MLX90614, sensor Hall Effect sebagai pengukur kecepatan putar, LCD 20×4 sebagai media tampilan, serta data logger sebagai media penyimpanan data. Simulator dirancang menggunakan Autodesk Fusion 360 kemudian direalisasikan menjadi sebuah prototipe yang mampu mengintegrasikan seluruh komponen secara fungsional. Pengujian simulator dilakukan dengan menguji fungsi masing-masing sensor dan menguji fungsi sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa simulator yang dikembangkan mampu melakukan pengukuran, menampilkan, dan merekam parameter getaran, kebisingan, suhu, serta kecepatan putar *secara real-time*. Simulator ini diharapkan dapat digunakan sebagai media penelitian, pengujian dan deteksi dini kerusakan bearing roda di masa mendatang.

Kata kunci: deteksi kerusakan bearing, simulator bearing.

1. Pendahuluan

Bearing roda merupakan komponen mekanis krusial dalam sistem suspensi kendaraan yang berfungsi menahan beban aksial dan radial sekaligus memungkinkan rotasi roda dengan gesekan minimal, sehingga secara langsung memengaruhi kestabilan, keamanan, dan kenyamanan berkendara. Secara struktural, bearing roda termasuk dalam kategori rolling-element bearing, yaitu bantalan yang mentransmisikan beban melalui elemen gulir seperti bola atau roller di antara cincin dalam dan luar untuk mengurangi resistensi gesek selama rotasi [1], [2]. Keberadaan bearing yang sehat sangat penting karena kerusakan pada komponen ini kerap memicu getaran berlebih yang merambat ke setir dan sasis, yang sering kali menjadi indikasi awal adanya cacat seperti kerusakan inner race, outer race, atau elemen gulir [2]. Faktor penyebab kerusakan bearing meliputi kelelahan material akibat beban siklik, kontaminasi pelumas, kesalahan pemasangan, serta benturan keras, yang secara signifikan mempercepat degradasi permukaan kontak dan meningkatkan kebisingan serta getaran selama operasi [3].

Untuk mendukung penelitian dan pembelajaran mengenai deteksi dini kerusakan bearing, dibutuhkan alat uji yang mampu mereplikasi kondisi operasional kendaraan secara terkendali. Simulator semacam ini umumnya memanfaatkan sensor getaran (accelerometer) untuk menangkap sinyal vibrasi yang berkaitan dengan cacat inner race, outer race, maupun elemen gulir [1], [4]. Selain sensor getaran, beberapa rancangan turut memanfaatkan sensor akustik untuk menangkap emisi suara frekuensi tinggi yang berpotensi muncul pada tahap awal kerusakan bearing, ketika amplitudo getaran masih relatif rendah dan sulit terdeteksi oleh accelerometer saja [5], [2], [4]. Di sisi lain, sensor suhu inframerah dapat digunakan untuk memantau peningkatan temperatur lokal akibat gesekan berlebih, yang berperan sebagai indikator sekunder terjadinya degradasi bearing [4].

Pendekatan multi-sensor yang menggabungkan sensor getaran, sensor akustik, dan sensor suhu inframerah berpotensi memberikan informasi kondisi bearing yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu jenis sensor saja [2], [6]. Pendekatan ini menjadi semakin relevan pada kendaraan listrik, yang beroperasi dengan tingkat kebisingan mesin rendah sehingga kerusakan bearing sulit terdeteksi secara

konvensional [6]. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat simulator pendeteksi kerusakan bearing roda berbasis sistem multi-sensor (SW-420, MAX4466, MLX90614, dan Hall effect) yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32, sebagai purwarupa alat uji yang siap digunakan untuk simulator pendeteksi kerusakan bearing roda lebih lanjut.

2. Metode Perancangan dan Pembuatan

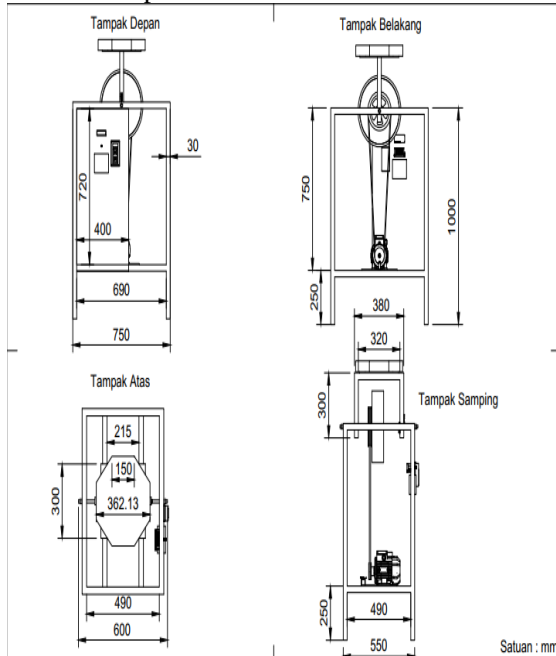
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk membangun sebuah simulator pendeteksi kerusakan bearing roda yang mampu mensimulasikan kondisi kerja bearing kendaraan secara terkontrol. Simulator dirancang untuk menghasilkan kondisi operasi yang menyerupai kondisi sebenarnya khususnya pada kendaraan roda dua sehingga karakteristik getaran, kebisingan, suhu, dan kecepatan putar bearing dapat diamati dan dianalisis. Sistem ini menggunakan pendekatan multi-sensor yang menggabungkan sensor getaran, sensor akustik, sensor suhu, dan sensor kecepatan putar untuk memperoleh informasi kondisi bearing secara lebih detail. Penggunaan beberapa parameter pengukuran secara bersamaan terbukti mampu meningkatkan akurasi diagnosis kerusakan bearing dibandingkan penggunaan satu jenis sensor saja [6]–[8].

2.1. Spesifikasi simulator pendeteksi kerusakan bearing

Rancangan simulator ini menggunakan rangka baja hollow berukuran 40 mm × 40 mm dengan ketebalan 1,2 mm sebagai struktur utama. Pemilihan material dan dimensi rangka tersebut didasarkan pada pertimbangan kekuatan konstruksi yang mampu menopang beban hingga 150 kg, sehingga simulator tetap stabil selama proses pengujian dan mampu mensimulasikan kondisi kerja bearing yang mendekati kondisi sebenarnya. Sistem penggerak menggunakan motor listrik AC 1 phase berdaya 1,5 HP dengan kecepatan maksimum 3000 rpm, yang berfungsi sebagai sumber putaran utama. Daya dari motor diteruskan menuju poros menggunakan sistem transmisi pulley dan V-belt karena mampu mentransmisikan putaran secara stabil, memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dalam perawatan, serta memungkinkan penyesuaian rasio putaran sesuai kebutuhan pengujian simulator.

2.2. Pembuatan gambar CAD simulator pendeteksi kerusakan bearing

Pembuatan gambar menggunakan aplikasi Fusion Autodesk 2025 karena aplikasi ini memiliki tools yang sangat kompleks untuk pembuatan gambar teknik 2D maupun 3D.



Gambar 1. Sketsa simulator pendeteksi kerusakan bearing

Untuk merancang sketsa simulator pendeteksi kerusakan bearing sebagaimana Gambar 1 diawali dengan pembuatan sketsa dua dimensi (2D) sebagai fondasi dari seluruh struktur. Langkah pertama dimulai dengan mengklik ikon *Create Sketch* dan memilih bidang kerja (*plane*) yang sesuai, umumnya menggunakan tampak depan (*front plane*) untuk memproyeksikan struktur tiang. Selanjutnya, geometri dasar rangka utama dibentuk menggunakan tool *Rectangle* untuk batas luar *frame* kaki simulator dan tool *Line* untuk menggambar palang horizontal penopang bawah, dudukan motor, serta tiang vertikal bagian atas. Pada bagian atas tengah, tool *Center Diameter Circle* diaplikasikan secara presisi untuk menggambar pola bundar roda putar (*flywheel*) besar lengkap dengan poros tengahnya, sementara tool *Polygon* digunakan untuk membentuk landasan segi delapan yang menjadi penutup paling atas simulator. Guna memastikan akurasi desain, tool *Sketch Dimension* diaktifkan untuk menginput ukuran presisi, mulai dari lebar penampang besi hollow, diameter roda, hingga proporsi panel depan. Tahap sketsa ini diselesaikan dengan menerapkan fitur *Constraints* agar posisi hubungan antar-garis terkunci dengan benar (ditandai dengan

garis sketsa yang berubah menjadi warna hitam), lalu menekan tombol *Finish Sketch*.

Setelah sketsa datar selesai, proses dilanjutkan ke tahap pemodelan tiga dimensi (3D) untuk memberikan volume padat pada objek. Gambar visualisasi 3D simulator pendeteksi kerusakan bearing sebagaimana Gambar 2.



Gambar 2. 3D simulator pendeteksi kerusakan bearing

Untuk membuat gambar 3D simulator pendeteksi kerusakan bearing, langkah pertama adalah memilih seluruh profil sketsa rangka besi hollow, kemudian menggunakan perintah *Extrude* untuk menarik profil tersebut hingga menjadi balok besi 3D yang membentuk *frame* utama dan dudukan mesin. Metode *Extrude* dengan pilihan *New Body* kemudian diterapkan pada sketsa lingkaran untuk memunculkan volume piringan hitam (*flywheel*) tebal di bagian tengah atas, serta pada sketsa segi enam untuk memunculkan volume landasan batu abu-abu di puncaknya. Untuk memodelkan komponen motor listrik di bagian bawah serta kotak sirkuit kontrol di tiang belakang, digunakan kombinasi ekstrusi bertingkat dan fitur *Hole* guna membuat lubang pengeboran tempat masuknya baut pengencang panel. Bagian panel pelindung depan dibuat dengan mengekstrusi bidang tipis transparan yang diposisikan menempel pada *frame* depan. Pemodelan diakhiri dengan membuka menu *Appearance* untuk memberikan warna dan tekstur material visual yang sangat mirip dengan gambar, yaitu material besi abu-abu (*Steel*) untuk rangka, material batu/semen (*Concrete*) untuk segi enam atas, warna hitam pekat untuk roda putar dan motor listrik, material kaca (*Glass*) transparan untuk panel depan, serta kombinasi warna abu-abu kemerahan untuk komponen kotak kontrol elektronik.

2.4 Pemilihan Komponen sensor

Pemilihan sensor pada simulator diagnosis kerusakan bearing dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang paling berpengaruh terhadap kondisi bearing, yaitu getaran, suara (akustik), temperatur, dan kecepatan putar. Setiap sensor memiliki fungsi yang saling melengkapi sehingga mampu menghasilkan informasi kondisi bearing secara lebih akurat. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan media tampilan dan penyimpanan data untuk memudahkan proses pemantauan dan analisis hasil pengukuran.

Sensor getaran merupakan komponen utama dalam sistem diagnosis bearing karena kerusakan bearing akan menghasilkan perubahan karakteristik getaran yang dapat diamati melalui nilai amplitudo dan frekuensinya. Pola getaran tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis maupun tingkat kerusakan yang terjadi pada bearing. Pada simulator ini digunakan sensor getaran tipe vibration switch SW-420 karena memiliki sensitivitas yang cukup tinggi terhadap perubahan getaran, mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler, serta banyak digunakan pada penelitian terapan mengenai pemantauan kondisi mesin [4].

Selain menghasilkan getaran, kerusakan bearing juga menimbulkan emisi suara (acoustic emission) akibat tumbukan mikro antara elemen gelinding dengan permukaan yang mengalami cacat. Perubahan pola suara tersebut dapat dimanfaatkan sebagai indikator awal terjadinya kerusakan. Oleh karena itu, pada simulator ini digunakan sensor mikrofon MAX4466 yang mampu menangkap perubahan intensitas sinyal akustik dengan baik dan banyak diterapkan pada penelitian sistem condition monitoring berbiaya rendah [6]. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa sinyal akustik mampu mendeteksi kerusakan bearing pada tahap awal, bahkan ketika amplitudo getaran belum mengalami peningkatan yang signifikan. Dengan demikian, penggunaan sensor akustik sebagai pelengkap sensor getaran dapat meningkatkan sensitivitas dan keandalan sistem diagnosis, terutama pada kondisi beban dan kecepatan putar yang bervariasi [4],[7].

Parameter berikutnya yang digunakan adalah temperatur bearing. Peningkatan temperatur merupakan indikator lanjutan yang muncul akibat meningkatnya gesekan, keausan, maupun kegagalan sistem pelumasan pada bearing. Untuk memantau kondisi tersebut digunakan sensor suhu inframerah non-kontak MLX90614 yang mampu mengukur temperatur permukaan bearing tanpa

harus bersentuhan langsung dengan objek sehingga tidak mengganggu sistem mekanis [8]. Penelitian terkini menunjukkan bahwa pemantauan temperatur efektif digunakan sebagai parameter validasi kondisi kerusakan, terutama jika dikombinasikan dengan data getaran dan akustik. Kenaikan temperatur yang terjadi secara konsisten umumnya menunjukkan bahwa kerusakan bearing telah memasuki tahap menengah hingga lanjut [9]. Selain ketiga parameter tersebut, kecepatan putar juga menjadi faktor penting dalam analisis kondisi bearing. Hal ini disebabkan frekuensi karakteristik kerusakan bearing sangat dipengaruhi oleh putaran poros. Pada simulator ini digunakan sensor Hall effect untuk mengukur kecepatan rotasi secara akurat dan sederhana [9]. Data kecepatan putar digunakan sebagai parameter referensi dalam menganalisis perubahan sinyal getaran dan akustik sehingga hasil diagnosis tidak dipengaruhi oleh variasi putaran mesin. Penelitian terbaru menegaskan bahwa pengukuran kecepatan yang akurat sangat diperlukan agar analisis kondisi bearing menghasilkan interpretasi yang lebih tepat [2].

Seluruh data yang diperoleh dari sensor getaran, sensor akustik, sensor temperatur, dan sensor kecepatan kemudian diproses menggunakan mikrokontroler ESP32. Pemilihan ESP32 didasarkan pada kemampuan pemrosesan yang cukup tinggi, ketersediaan ADC internal, serta dukungan komunikasi nirkabel yang memungkinkan integrasi beberapa sensor secara simultan dalam satu sistem [7]. Selain melakukan akuisisi data secara real-time, ESP32 juga memungkinkan pengembangan sistem ke arah teknologi Internet of Things (IoT) sehingga hasil pemantauan dapat diakses dan dianalisis secara lebih fleksibel [10].

Untuk memudahkan pengguna dalam memantau kondisi sistem secara langsung, simulator dilengkapi dengan LCD 20×4 sebagai media tampilan. LCD ini digunakan untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor, seperti nilai getaran, tingkat kebisingan, temperatur bearing, kecepatan putar (RPM), serta status kondisi bearing secara real-time. Penggunaan LCD 20×4 dipilih karena memiliki kapasitas tampilan yang lebih besar dibandingkan LCD 16×2 sehingga mampu menampilkan beberapa parameter secara bersamaan tanpa mengurangi keterbacaan informasi.

Selain menampilkan data secara langsung, sistem juga dilengkapi dengan modul data logger sebagai media penyimpanan hasil pengukuran selama

proses pengujian berlangsung. Data logger berfungsi menyimpan seluruh data sensor beserta waktu pengambilan data ke dalam media penyimpanan, sehingga hasil pengukuran dapat dianalisis kembali pada tahap pengolahan data. Penyimpanan data secara otomatis juga meningkatkan keandalan proses eksperimen karena mengurangi kemungkinan kehilangan data serta memudahkan proses validasi dan evaluasi performa sistem diagnosis bearing.

2.4. Cara Kerja Simulator Pendeteksi Kerusakan Bearing

Simulator pendeteksi kondisi bearing dirancang untuk mensimulasikan kerja bearing roda kendaraan secara terkontrol agar parameter operasional dapat diamati dan direkam. Sistem ini menggunakan motor listrik 1 phase berkecepatan maksimum 3000 rpm sebagai penggerak utama. Putaran motor diteruskan ke poros utama melalui transmisi pulley-belt, kemudian memutar roda uji yang telah dipasang bearing. Sistem pulley-belt digunakan karena mampu meneruskan daya secara stabil dan memungkinkan penyesuaian rasio putaran sesuai kebutuhan pengujian [2], [7], [15]. Untuk proses pengujian, roda dapat diberi variasi beban hingga 150 kg untuk mensimulasikan kondisi pembebanan kendaraan. Putaran poros dan bearing menghasilkan perubahan parameter seperti getaran, kebisingan, suhu, dan kecepatan putar. Variasi beban dan kecepatan putar menjadi faktor penting karena berpengaruh terhadap karakteristik kerja bearing [2], [4], [7], [15].

Sistem pengukuran menggunakan beberapa sensor, yaitu SW-420 untuk mendeteksi getaran, MAX4466 untuk menangkap kebisingan, MLX90614 untuk mengukur suhu permukaan bearing tanpa kontak langsung, dan sensor Hall Effect untuk menghitung RPM. Keempat sensor bekerja secara simultan sehingga kondisi bearing dapat dipantau secara real-time. Penggunaan multi-sensor memberikan data kondisi bearing yang lebih lengkap dibandingkan penggunaan satu sensor saja [1], [4], [8], [9], [11], [12].

Data dari seluruh sensor dikirim ke ESP32 sebagai pusat pengolahan data. ESP32 melakukan akuisisi, pengolahan, dan sinkronisasi data sebelum menampilkannya pada LCD 20x4 serta menyimpannya melalui data logger. Penggunaan ESP32 mendukung sistem monitoring real-time karena memiliki kemampuan pemrosesan yang baik, konsumsi daya rendah, dan fleksibel untuk pengembangan sistem berbasis mikrokontroler [10], [11].

Selain ditampilkan secara langsung, data pengukuran juga direkam otomatis menggunakan data logger. Pencatatan ini memudahkan dokumentasi, analisis, evaluasi, dan perbandingan hasil pengujian pada berbagai variasi beban serta kecepatan putar. Data logger juga membantu mengurangi kesalahan pencatatan manual dan meningkatkan keandalan proses pengujian [10], [12], [13], [14], [15].

Secara keseluruhan, simulator mengintegrasikan sistem mekanik berupa motor listrik, pulley-belt, poros, roda uji, dan bearing dengan sistem elektronik berupa ESP32, multi-sensor, LCD 20x4, serta data logger. Integrasi ini memungkinkan pengujian bearing dilakukan secara real-time, terdokumentasi otomatis, dan mendukung analisis karakteristik kerja bearing secara lebih efektif [12], [13], [14].

2.5 Metode fabrikasi

Pada pembuatan simulator pendeteksi kerusakan bearing ini diperlukan kemampuan dalam membaca dan memahami gambar rancangan sebagai acuan utama selama proses manufaktur. Selain itu, keahlian di bidang fabrikasi juga sangat dibutuhkan agar setiap komponen dapat dibuat, dirakit, dan dipasang sesuai dengan spesifikasi desain yang telah direncanakan. Ketelitian dalam proses fabrikasi akan memengaruhi kesesuaian dimensi, kekuatan konstruksi, serta posisi pemasangan komponen mekanik maupun elektronik. Dengan demikian, simulator yang dihasilkan dapat berfungsi sesuai dengan rancangan, memiliki tingkat presisi yang baik, serta mampu mendukung proses pengujian dan diagnosis kerusakan bearing secara optimal.

2.6 Metode Pengujian alat

Metode pengujian dilakukan menggunakan metode functional testing untuk memastikan seluruh komponen simulator bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian dilakukan setelah proses fabrikasi, perakitan mekanik, sistem kelistrikan, dan pemrograman ESP32 selesai. Tahapan pengujian meliputi pemeriksaan fungsi sensor SW-420, MAX4466, MLX90614, dan Hall Effect, pengamatan tampilan data pada LCD 20x4, serta verifikasi penyimpanan data pada modul Micro SD Card. Selain itu, dilakukan pengujian sistem mekanik yang terdiri atas motor listrik, transmisi pulley-belt, poros, dan roda uji. Keberhasilan pengujian ditentukan berdasarkan kemampuan seluruh komponen bekerja secara terintegrasi, menampilkan data sensor secara *real-time*, serta menyimpan hasil pengukuran dengan baik.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil pembuatan simulator pendeteksi kerusakan bearing

Pada pembuatan simulator pendeteksi kerusakan bearing ini diperlukan kemampuan dalam membaca dan memahami gambar rancangan sebagai acuan utama selama proses manufaktur. Selain itu, keahlian di bidang fabrikasi juga sangat dibutuhkan agar setiap komponen dapat dibuat, dirakit, dan dipasang sesuai dengan spesifikasi desain yang telah direncanakan. Ketelitian dalam proses fabrikasi akan memengaruhi kesesuaian dimensi, kekuatan konstruksi, serta posisi pemasangan komponen mekanik maupun elektronik. Dengan demikian, simulator yang dihasilkan dapat berfungsi sesuai dengan rancangan, memiliki tingkat presisi yang baik, serta mampu mendukung proses pengujian dan diagnosis kerusakan bearing secara optimal..



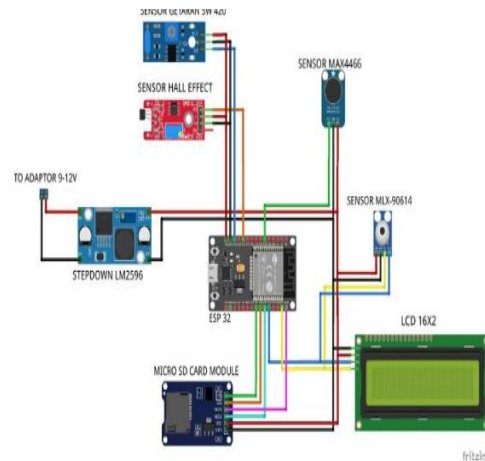
Gambar 4. Hasil simulator pendeteksi kerusakan bearings

Berdasarkan dari Gambar.3 Proses pembuatan simulator diawali dengan tahap pemotongan besi hollow sesuai dengan dimensi rancangan untuk membentuk struktur rangka utama dan penyangga komponen atas. Setelah semua potongan besi siap, tahap berikutnya adalah pengelasan (welding) untuk menyambungkan potongan-potongan besi tersebut secara presisi guna membentuk *frame* kotak yang kokoh, dudukan motor listrik di bagian bawah, serta struktur penopang roda/piringan besar di bagian atas. Setelah rangka utama terbentuk, dilakukan proses pengeboran (drilling) pada titik-titik spesifik untuk membuat lubang baut pengencang, jalur poros roda, tempat pemasangan komponen kontrol elektronik, serta lubang untuk memasang panel pelindung transparan di bagian depan. Melalui integrasi ketiga proses manufaktur

ini, simulator dapat berdiri dengan stabil dan siap dipasang komponen penggerak seperti motor, sabuk transmisi (*belt*), roda putar, dan sistem kontrolnya..

3.2 Hasil Perancangan Diagram Kelistrikan

Perancangan diagram kelistrikan pada simulator pendeteksi kerusakan bearing ini menggunakan aplikasi *Fritzing* karena aplikasi tersebut mudah dioperasikan dan memiliki tampilan yang intuitif dalam proses pembuatan diagram rangkaian elektronik. Melalui *Fritzing*, hubungan antar komponen seperti sensor, mikrokontroler ESP32, modul LCD, data logger, serta catu daya dapat divisualisasikan dengan jelas sehingga memudahkan proses perancangan, perakitan, dan pengujian sistem. Selain itu, diagram kelistrikan yang dibuat menggunakan *Fritzing* juga berfungsi sebagai acuan dalam pemasangan kabel agar setiap koneksi sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan, sehingga dapat meminimalkan kesalahan wiring dan memastikan seluruh komponen bekerja dengan baik sesuai fungsi,



Gambar 3. Rancangan diagram kelistrikan

Berdasarkan Gambar2. Seluruh komponen memperoleh catu daya dari adaptor 9–12 V yang terlebih dahulu diturunkan tegangannya menjadi 5 V menggunakan modul step-down LM2596 agar sesuai dengan kebutuhan ESP32 dan sensor. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menerima data dari sensor getaran SW-420, sensor Hall Effect untuk mengukur kecepatan putar (RPM), sensor akustik MAX4466 untuk mendeteksi kebisingan, serta sensor suhu inframerah MLX90614 untuk mengukur temperatur permukaan bearing tanpa kontak langsung. Data yang diterima kemudian diproses secara real-time, selanjutnya ditampilkan pada LCD 20×4 sehingga kondisi bearing dapat dipantau secara langsung oleh pengguna. Selain ditampilkan pada LCD, seluruh data pengukuran

juga disimpan secara otomatis menggunakan modul Micro SD Card sebagai data logger, sehingga hasil pengujian dapat didokumentasikan dan dianalisis lebih lanjut.

3.4 Hasil Pembuatan Sistem kelistrikan

Pembuatan sistem kelistrikan simulator pendeteksi kerusakan bearing diperlukan beberapa peralatan dan bahan pendukung agar proses perakitan dapat dilakukan dengan baik. Peralatan yang digunakan meliputi solder untuk menyambungkan komponen elektronik, timah solder sebagai bahan penyambung antar kaki komponen dan jalur rangkaian, avometer (multimeter) untuk mengukur tegangan, arus, hambatan, serta memeriksa kontinuitas rangkaian, dan bor kecil set untuk membuat lubang pada PCB maupun dudukan komponen sesuai kebutuhan pemasangan. Selain itu, digunakan *Printed Circuit Board (PCB)* sebagai media untuk menyusun dan menyambungkan seluruh komponen elektronik sehingga rangkaian menjadi lebih rapi, kuat, dan mudah dalam proses pemeliharaan maupun pengujian sistem. Dengan penggunaan peralatan dan bahan tersebut, sistem kelistrikan dapat dirakit sesuai dengan rancangan sehingga seluruh komponen dapat bekerja secara optimal.



Gambar 4. Hasil pembuatan diagram kelistrikan Berdasarkan hasil pembuatan sistem elektronik, seluruh komponen berhasil dirangkai sesuai dengan diagram pengkabelan yang telah dirancang. Sistem menggunakan modul step-down LM2596 untuk menurunkan tegangan dari adaptor 9–12 V menjadi 5 V sebagai sumber catu daya bagi ESP32 dan seluruh sensor. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang mengintegrasikan sensor getaran SW-420, sensor akustik MAX4466, sensor suhu inframerah MLX90614, dan sensor Hall Effect

sebagai pembaca kecepatan putar (RPM). Seluruh data yang diperoleh dari masing-masing sensor diproses secara real-time, kemudian ditampilkan pada LCD 20×4 sehingga informasi mengenai nilai getaran, kebisingan, suhu, dan kecepatan putar dapat dipantau secara langsung selama simulator beroperasi. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan modul Micro SD Card yang berfungsi sebagai data logger untuk menyimpan seluruh hasil pengukuran secara otomatis.

3.5 Hasil pengujian simulator pendeteksi kerusakan bearing

Uji coba simulator dilakukan setelah seluruh proses perancangan, fabrikasi, perakitan mekanik, sistem kelistrikan, serta pemrograman mikrokontroler ESP32 selesai dilaksanakan. Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen yang telah dirancang dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan fungsi masing-masing sebelum simulator digunakan sebagai media penelitian maupun pembelajaran.

Pada tahap pengujian, sistem diberikan catu daya melalui adaptor yang kemudian diturunkan tegangannya menggunakan modul step-down LM2596 sehingga menghasilkan tegangan kerja sebesar 5 Volt untuk seluruh komponen elektronik. Setelah sistem diaktifkan, ESP32 berhasil melakukan inisialisasi seluruh sensor yang terdiri dari sensor getaran SW-420, sensor akustik MAX4466, sensor suhu MLX90614, dan sensor Hall Effect sebagai pembaca kecepatan putar. Seluruh sensor dapat mengirimkan data ke mikrokontroler tanpa mengalami gangguan komunikasi, sehingga proses akuisisi data berlangsung dengan baik secara real-time.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa informasi hasil pembacaan sensor berhasil ditampilkan pada LCD 20×4 dengan baik. Parameter yang ditampilkan meliputi nilai getaran, tingkat kebisingan, temperatur bearing, serta kecepatan putar (RPM). Selain ditampilkan pada LCD, data hasil pengukuran juga berhasil direkam secara otomatis ke dalam modul Micro SD Card sebagai data logger, sehingga seluruh hasil pengujian dapat disimpan untuk proses analisis lebih lanjut. Proses penyimpanan data berlangsung dengan baik tanpa ditemukan kehilangan data selama pengujian.

Pada pengujian sistem mekanik, motor listrik, transmisi pulley-belt, poros, dan roda uji mampu bekerja sesuai dengan rancangan. Putaran dari motor dapat diteruskan menuju poros secara stabil sehingga bearing dapat beroperasi sebagaimana kondisi kerja yang direncanakan. Konstruksi

rangka simulator juga menunjukkan kekakuan yang baik sehingga mampu menopang seluruh komponen selama proses pengujian berlangsung tanpa mengalami gangguan mekanis yang berarti. Secara keseluruhan, hasil uji coba menunjukkan bahwa simulator pendeteksi kerusakan bearing berhasil direalisasikan sesuai dengan desain yang telah dibuat. Integrasi antara sistem mekanik dan sistem elektronik berjalan dengan baik, dimana seluruh sensor, mikrokontroler ESP32, LCD 20×4, serta data logger dapat beroperasi secara bersamaan sesuai fungsi yang diharapkan. Dengan demikian, simulator dinyatakan berhasil dan layak digunakan sebagai media simulasi, penelitian, maupun pengembangan sistem monitoring dan diagnosis kerusakan bearing pada penelitian selanjutnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa simulator pendeteksi kerusakan bearing roda berbasis multi-sensor berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan. Simulator mengintegrasikan sistem mekanik yang terdiri atas motor AC 1 phase, transmisi *pulley-belt*, poros, dan roda uji dengan sistem elektronik yang meliputi mikrokontroler ESP32, sensor SW-420, sensor MAX4466, sensor MLX90614, sensor Hall Effect, LCD 20×4, serta modul Micro SD Card sebagai data logger. Integrasi seluruh komponen memungkinkan sistem melakukan akuisisi, pengolahan, penampilan, dan penyimpanan data getaran, kebisingan, suhu, serta kecepatan putar secara real-time. Dengan demikian, simulator yang dikembangkan dapat digunakan sebagai media penelitian dan pembelajaran mengenai monitoring kondisi bearing roda, serta menjadi platform awal untuk pengembangan metode deteksi dini kerusakan bearing pada penelitian selanjutnya.

Daftar Rujukan

- [1] H. Wang and J. Xie, "Fault Diagnosis of Rolling Bearings Based on Acoustic Signals in Strong Noise Environments," 2025.
- [2] S. Zhang *et al.*, "Model-Based Analysis and Quantification of Bearing Faults in Induction Machines," vol. 56, no. 3, pp. 2158–2170, 2020.
- [3] M. Electric, "Deep Learning Algorithms for Bearing Fault Diagnostics – A Comprehensive Review," 2020.
- [4] T. Jalonen, M. Al-sa, S. Kiranyaz, and M. Gabbouj, "Real-Time Vibration-Based Bearing Fault Diagnosis Under Time-Varying Speed Conditions".
- [5] N. D. Thuan and H. S. Hong, "HUST bearing : a practical dataset for ball bearing fault diagnosis," no. 1, pp. 1–29.
- [6] B. Peng, Y. Bi, B. Xue, M. Zhang, and S. Wan, "A Survey on Fault Diagnosis of Rolling Bearings," pp. 1–24, 2022.
- [7] B. M. Randhavan and R. Kumar, "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Rolling Contact Element Bearings Based on Artificial Intelligence Techniques : A Review Approach," vol. 11, no. 6, pp. 2574–2594, 2025.
- [8] F. Maesa, "Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring Keamanan Sepeda Motor Berbasis IoT dengan Modul GPS Neo-6M dan Sensor Getar SW-420," vol. 12, no. 1, pp. 37–43, 2025.
- [9] P. Studi, T. Elektro, F. S. Teknologi, and U. B. Darma, "PENERAPAN SENSOR GETAR DAN SENSOR SUHU UNTUK PEMANTAUAN MOTOR DC BERBASIS IOT," vol. 8, no. 1, pp. 223–232, 2025.
- [10] F. A. Syahputra *et al.*, "Penerapan Sistem Pemeliharaan Berbasis Total Productive Maintenance (TPM) Pada Automatic Labelling Machine Metica di Industri Kosmetik," pp. 1878–1887, 2024.
- [11] E. Iunusova, M. K. Gonzalez, K. Szipka, A. Archenti, and M. K. Gonzalez, "Early fault diagnosis in rolling element bearings : comparative analysis of a knowledge-based and a data-driven approach," *J. Intell. Manuf.*, vol. 35, no. 5, pp. 2327–2347, 2024, doi: 10.1007/s10845-023-02151-y.
- [12] D. Cornel, F. G. Guzmán, G. Jacobs, and S. Neumann, "Condition monitoring of roller bearings using acoustic emission," pp. 367–376, 2021.
- [13] P. Ong, J. Yin, C. Chee, K. Sia, K. Huong, and L. K. Tung, "Intelligent fault diagnosis of bearings using multi-sensor spectrogram fusion and machine learning models," *Iran J. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 2295–2305, 2025, doi: 10.1007/s42044-025-00316-x.
- [14] F. Rahman, Z. Manguluang, M. Tamrin, and Z. Joko, "Analisis Kerusakan Gardan (Differential) Dan Pengaruhnya Terhadap Putaran Roda Belakang Pada Kendaraan Fuso Fighter," no. 29, pp. 40–43, 2018.
- [15] A. Setiawan, A. Muid, and I. Nirmala, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kerusakan Bearing pada Kendaraan Roda Empat Menggunakan Metode KNN (K- Nearest Neighbor)," vol. 8, no. 2, pp. 31–38, 2018, doi: 10.26418/positron.v8i2.27508.