

ENGINE HEALTH MONITORING PADA SEPEDA MOTOR BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY INFERENCE SYSTEM TSUKAMOTO

*[Engine Health Monitoring on Arduino-Based Motorcycles Using
Tsukamoto's Fuzzy Inference System Algorithm]*

Leonardo Joshua, s32160008@student.bundamulia.ac.id¹⁾, Teady Matius Surya Mulyana,
tmulyana@bundamulia.ac.id^{2)*}

¹⁾²⁾Program Studi Informatika/Fakultas Teknologi dan Design, Universitas Bunda Mulia

Diterima 1 September 2024 / Disetujui 25 September 2024

ABSTRACT

Many motors suddenly stop working due to oil leaks in carburetor motors. Lubricant oil leaks can result in decreased engine performance, piston damage to breaking down in the middle of the road. Therefore, to prevent early engine damage, lubricant oil leak notification is needed. Leakage at a certain level can still be tolerated, but up to a certain level, the leak can no longer be tolerated, so good notification is needed to determine the severity of the oil leak. To determine how severe the oil leak is in the engine, precise measurements are needed. One solution offered is to use fuzzy Tsukamoto in determining lubricant oil leaks Based on temperature and origin parameters in the actual conditions that occur. In this study, it will be determined how much lubricant oil leakage occurs in motorcycles that have a carburetor system. Where the input to be used is temperature and smoke. With the respective membership degrees are normal, moderate and severe. While the output produced is in the form of repair recommendations, where for moderate repair suggestions it has a value that determines how much it needs to be repaired. While normal output does not need to be repaired, while the highest output is a suggestion to be repaired immediately without delay. The use of Tsukamoto fuzzy in determining the severity of leaks produces a fairly good accuracy of 96.67% of motorcycles that experience lubricant oil leaks can be detected correctly. 3.33% of errors lie in other causes that are not as specific.

Keywords: lubricant, leak, notification, fuzzy, tsukamoto

ABSTRAK

Banyak motor tiba-tiba berhenti bekerja dikarenakan kebocoran minyak pelumas pada motor karbu. Kebocoran minyak pelumas dapat mengakibatkan penurunan performa mesin, Kerusakan piston sampai mogok di tengah jalan. Karena itu untuk mencegah Kerusakan mesin lebih dini, diperlukan notifikasi kebocoran minyak pelumas. Kebocoran pada tingkat tertentu masih dapat ditoleransi, tetap sampai pada suatu tingkat, maka kebocoran sudah tidak dapat ditoleransi lagi, sehingga diperlukan notifikasi yang baik untuk menentukan keparahan kebocoran minyak pelumas. Untuk menentukan seberapa parah kebocoran minyak pelumas pada mesin, diperlukan pengukuran yang tepat. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah menggunakan fuzzy Tsukamoto dalam menentukan kebocoran minyak pelumas Berdasarkan parameter suhu dan asal pada kondisi sebenarnya yang terjadi. Pada penelitian ini akan ditentukan seberapa tingkat kebocoran minyak pelumas yang terjadi pada sepeda motor yang memiliki sistem karburator. Dimana input yang akan digunakan adalah suhu dan asap. Dengan derajat keanggotaan masing-masing adalah normal, sedang dan berat. Sedangkan output yang dihasilkan ada lah berupa rekomendasi perbaikan, dimana untuk saran perbaikan sedang memiliki nilai yang menentukan seberapa perlu untuk diperbaiki. Sedangkan output normal tidak perlu diperbaiki, sedangkan output tertinggi merupakan saran segera diperbaiki tanpa ditunda. Penggunaan fuzzy Tsukamoto dalam menentukan keparahan kebocoran menghasilkan akurasi yang cukup baik sebesar 96,67% sepeda motor yang mengalami kebocoran minyak pelumas dapat dideteksi dengan benar. 3.33% kesalahan terletak pada penyebab lain yang tidak spesifik.

Kata Kunci: pelumas, kebocoran, notifikasi, fuzzy, tsukamoto.

*Korespondensi Penulis:

E-mail: tmulyana@bundamulia.ac.id

PENDAHULUAN

Pada tahun 1885, Daimler dan Maybach menciptakan karburator untuk mencampur bensin dan udara sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin 4 tak ciptaan Otto. Kemudian mereka mengembangkan mesin 4 tak tersebut menjadi silinder 100 cc dan diletakkan pada sepeda kayu. Sepeda kayu bermesin tersebut disebut sebagai Reitwagen (“*riding car*”) dan menjadi sepeda motor pertama di dunia.[1] Salah satu kelemahan sepeda motor 4 tak adalah mudah rusaknya piston oleh karena kekurangan pelumas pada mesin. Kekurangan pelumas dapat diakibatkan karena kebocoran, sehingga minyak pelumas akan masuk ke ruang bakar mesin dan terbakar, sehingga minyak pelumas lama-kelamaan akan berkurang.[2] Penyebab lain adalah ketika kebocoran semakin parah, minyak pelumas menetes keluar dari mesin dan mengakibatkan berkurangnya minyak pelumas secara cepat.

Gejala-gejala yang timbul ketika minyak pelumas berkurang pada mesin adalah suhu pada mesin yang naik secara drastis. Pada kasus minyak pelumas yang bocor dan masuk ke ruang bakar adalah timbulnya asap putih atau biru. [3]

Yang diperlukan pengendara motor untuk mengetahui gejala kebocoran minyak pelumas adalah adanya notifikasi adanya kebocoran minyak pelumas. Gejala yang pasti terjadi adalah naiknya suhu mesin secara drastis pada saat mesin dinyalakan.[4] Sedangkan gejala lain adalah timbulnya asap putih atau biru pada saat mesin dinyalakan, tetapi gejala ini hanya akan timbul jika minyak pelumas yang bocor masuk ke ruang bakar mesin. Sedangkan jika minyak pelumas langsung menetes keluar tapi melalui ruang bakar, tidak akan menimbulkan asap putih atau biru. Tetapi biasanya yang terjadi adalah minyak pelumas akan melalui ruang bakar sebelum merembes keluar dari mesin. [5]

Fuzzy logic merupakan metode yang mempunyai fungsi untuk memberikan pemodelan pemecahan masalah seperti yang dilakukan manusia dengan bantuan teknologi komputer untuk menentukan solusi dari kasus yang samar.[6] Penggunaan fuzzy logic memungkinkan suatu rumusan masalah dapat dipecahkan dengan pendekatan matematika.[7] Output dari fuzzy logic pada umumnya digunakan untuk melakukan pengendalian terhadap sistem. Alasan para peneliti menggunakan logika kabur dalam memecahkan rumusan masalah dikarenakan konsep matematika dapat digunakan dengan sederhana, sehingga mudah dimengerti dalam proses pengerjaan.[8] Logika kabur juga bersifat fleksibel, yang memungkinkan pengerjaan dapat dikolaborasikan antara pemodelan dengan model komputer atau dengan cara konvensional.

Fuzzy tsukamoto sering digunakan pada berbagai system pengendalian, beberapa diantaranya adalah untuk menentukan pemilihan siswa teladan yang dilakukan oleh Ragesu. [9] pada penelitian ini, fuzzy digunakan untuk melakukan rekomendasi pada pemilihan siswa teladan. Selain itu fuzzy digunakan untuk menentukan status kesehatan tubuh, [8] dan diagnosis penyakit demam berdarah.[7] Pada pengendalian sistem, fuzzy juga digunakan untuk mengendalikan waktu pemakaian mesin cuci. [6]. Pada bidang bisnis, fuzzy tsugeno dan fuzzy Mamdani digunakan untuk merekomendasikan harga mobil bekas[10]

Fuzzy tsukamoto merupakan salah satu algoritma fuzzy yang mempergunakan 4 tahap Metode Fuzzy Tsukamoto merupakan salah satu bagian dari Fuzzy Inference System yang digunakan untuk mengambil sebuah kesimpulan atau untuk membantu mengolah data yang bersifat samar menjadi pasti dengan 4 (empat) tahap: Pembentukan Himpunan Fuzzy, Fuzzyfikasi, Inferensi dan Konfirmasi (defuzzifikasi). [11]

Himpunan fuzzy merupakan pengemangan leih lanjut dari konsep himpunan dalam matematika. Himpunan fuzzy adalah arisan nilai. Setiap nilai memiliki keanggotaan (member) antara 0 dan 1 nilai 0 berarti tidak termasuk anggota himpunan sedangkan nilai yang lebih besar dari 0 merupakan anggota himpunan.[12]

Dalam metode Tsukamoto Fuzzyfikasi adalah proses untuk mengubah variabel yang bersifat non fuzzy menjadi variabel bersifat fuzzy. Variabel akan dilakukan fuzzyfikasi untuk memudahkan pengolahan data pada system. Hasil dari fuzzyfikasi diperlukan proses interfensi adalah proses untuk membuat aturan – aturan yang akan dipakai dalam sistem fuzzy. Biasanya aturan akan dinotasikan dengan IF-THEN.[13]

Langkah terakhir dari fuzzy tsukamoto adalah Konfirmasi (defuzzifikasi) dimana input pada proses defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan fuzzy dan keluaran yang dihasilkan berupa bilangan pada domain himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy dalam rentang tertentu ia harus dapat memperoleh nilai tertentu. [14]

Pada penelitian ini, fuzzy tsukamoto digunakan untuk melakukan pemantauan terhadap suhu dan asap untuk menentukan seberapa parah kebocoran minyak pelumas. Dengan menggunakan fuzzy tsukamoto, maka dapat ditentukan seberapa parah mesin mengalami kebocoran minyak pelumas, sehingga dapat dilakukan perbaikan lebih awal sebelum merusak mesin lebih parah.

Sistem ini dirancang berbasis Arduino. Arduino merupakan interface sistem microcontroller untuk membaca dan mengendalikan perangkat-perangkat yang terhubung pada suatu micro controller.[15] Setiap perangkat memiliki port-port input yang mampu membaca data yang dihasilkan dari suatu sensor. [16]

Tujuan dan Manfaat Penelitian ini antara lain :

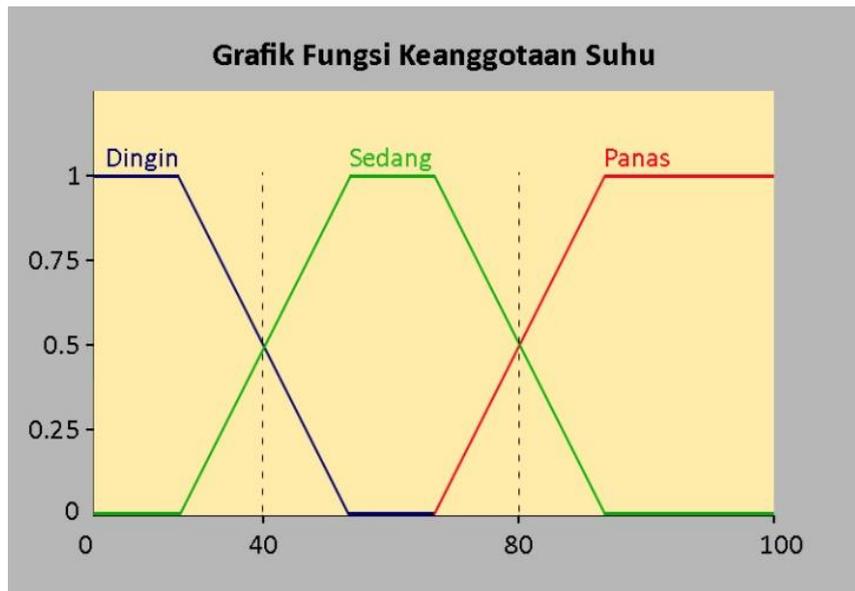
1. Menerapkan metode fuzzy *inference system* tsukamoto pada *prototype smart motorcycle*
2. Menghasilkan *Prototype* yang dapat memberikan faktor keamanan yang dapat melindungi kendaraan dari kebocoran oli di tengah jalan dan memperingatkan pengendara tentang keadaan motornya

Sedangkan manfaat dari penelitian adalah

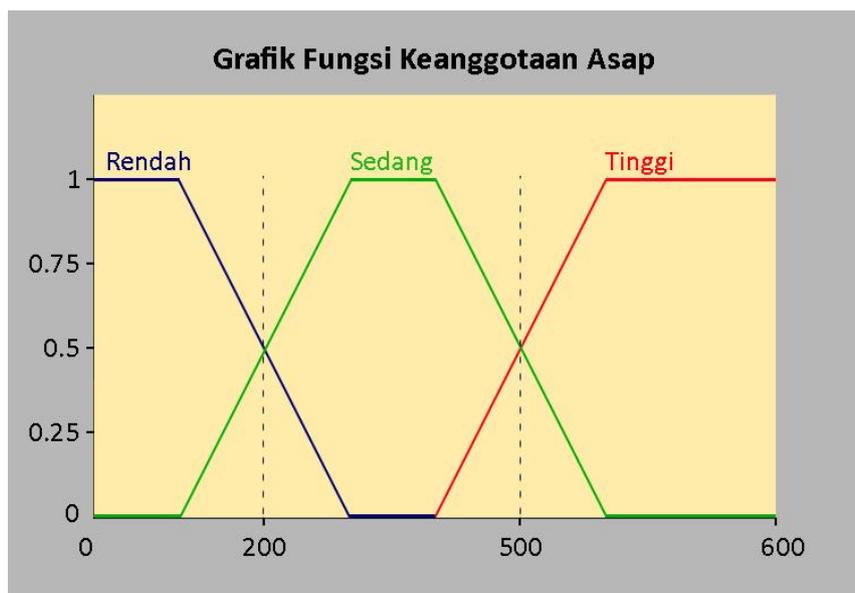
1. Mempermudah pengguna sepeda motor berteknologi karburator untuk mendapatkan keamanan berkendara pada sepeda motornya
2. Meminimalisir terjadinya kebocoran oli pada mesin dikarenakan ketidaktahuan pengendara tentang kendaraannya

METODOLOGI PENELITIAN

Pada prototype Engine Health Monitoring ini, penulis menggunakan metode Fuzzy Logic Inference System: Tsukamoto untuk melakukan pemrosesan. Fuzzy Logic Inference System: Tsukamoto dipilih karena dinilai lebih mudah untuk menentukan nilai ambang batas bagi masing-masing penilaian parameter pada saat Fuzzyfikasi.



Gambar 1. Derajat keanggotaan Suhu



Gambar 2. Derajat Keanggotaan Asap

Untuk menerapkan *Fuzzy Logic Inference System* : Tsukamoto diperlukan inputan berupa Suhu (Dingin, Normal, Panas), Asap (Rendah, Normal, Tinggi), Kecepatan Rata-rata (Diatas rata-rata, normal), Jarak Tempuh (Normal, Berlebihan). Langkah-langkah algoritma dilakukan untuk membantu mempermudah pemahaman pembangunan sistem melalui algoritma tersebut. **Gambar 1.** Merupakan Derajat keanggotaan suhu. Suhu mempunyai dua variabel linguistic yaitu dingin, sedang dan panas. Dingin memiliki batas nilai 0-39 (oC), Sedang memiliki batas nilai 40-79 (oC), sedangkan panas memiliki batas nilai 80-100 (oC). Nilai linguistik terbagi menjadi 3 himpunan yaitu Dingin, Sedang, dan Panas. Batasan-batasan nilai tersebut akan diubah menjadi nilai derajat berkisar 0-1 menggunakan rumus (1).

Asap mempunyai tiga variabel linguistic yaitu rendah, sedang dan tinggi. Rendah memiliki batas nilai 0-200, Sedang memiliki batas nilai 201-499, sedangkan kotor memiliki batas nilai 500-600. **Gambar 2.** Merupakan derajat keanggotaan Asap.

Batasan nilai input diproses dengan Rumus (1)

$$\frac{\mu[x]-0}{1-0} = \frac{x-a}{b-a} \quad (1)$$

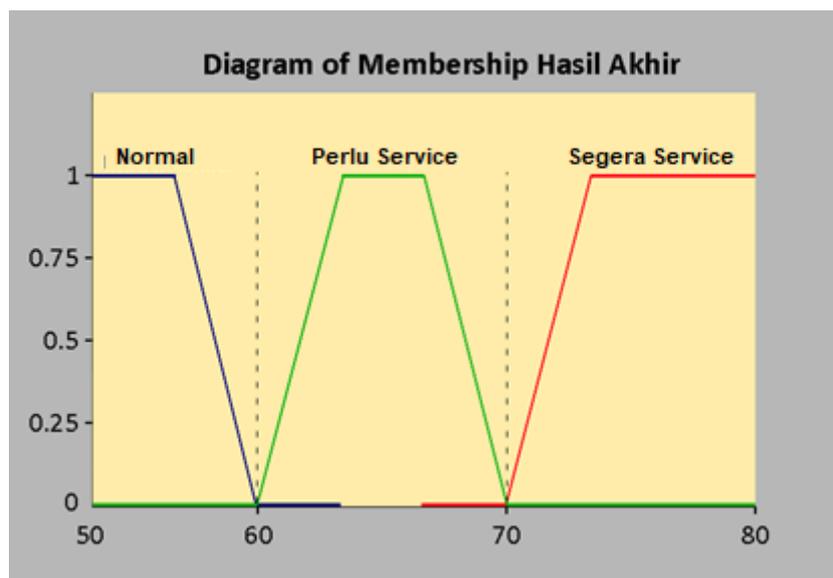
Keterangan :

x : nilai input

a : batas rendah rentan

b : batas tinggi rentan

Output hasil akhir mempunyai tiga output yaitu , 1. “Kondisi Motor Normal”, 2. “perlu Service” dan 3. ”Segera Service”. Hasil 1 memiliki batas nilai 50-60, Hasil 2 memiliki batas nilai 61-70, sedangkan Hasil 3 memiliki batas nilai 71-80. **Gambar 3** merupakan derajat keanggotaan Output Hasil Akhir.



Gambar 3. Derajat Keanggotaan Output

Kondisi normal tidak memerlukan service, kalau ada kerusakan masih sangat ringan dan dapat diabaikan. Kondisi “Perlu Service” terdapat kerusakan ringan sampai berat, seharusnya kendaraan memerlukan perbaikan, tetapi masih kondisional, misalkan karena alasan tertentu, maka dapat ditunda, tetap nilai output menunjukkan seberapa perlu motor perlu diperbaiki. Semakin kecil nilai output, maka tidak terlalu mendesak diperbaiki, semakin tinggi nilainya, semakin perlu segera diperbaiki. Sedangkan kondisi ketiga adalah “Segera Service”, kondisi ini berapapun nilainya perlu segera melakukan perbaikan kendaraan.

Rule atau aturan pada algoritma *fuzzy logic inference system* : tsukamoto dibentuk dengan mesin inferensi untuk membentuk nilai derajat keanggotaan menjadi nilai α dan Z. Fungsi implikasi nilai minimum dilakukan untuk mendapatkan nilai α , sedangkan nilai Z dicari setelah nilai α didapat. Rule atau aturan pada algoritma fuzzy ditentukan nilai derajat keanggotaannya berdasarkan input dari sensor Suhu dan sensor Asap dan Sensor GPS yang mengolah data Jarak tempuh dengan menggunakan fungsi implikasi min Terdapat 9 Rule pada Defuzzifikasi untuk menentukan Output, dan 3 Rule pada defuzzifikasi jarak

1. IF asap rendah AND suhu rendah THEN *show notification* “Normal” AND *Fan Speed* 0%
2. IF asap rendah AND suhu sedang THEN *show notification* “Asap rendah Suhu sedang” AND *Fan Speed* 50-80%
3. IF asap rendah AND suhu tinggi THEN *show notification* “Asap rendah Suhu tinggi” AND *Fan Speed* 100%
4. IF asap sedang AND suhu rendah THEN *show notification* “Asap sedang Suhu rendah” AND *Fan Speed* 0%
5. IF asap sedang AND suhu sedang THEN *show notification* “Asap sedang Suhu sedang” AND *Fan Speed* 50-80%
6. IF asap sedang AND suhu tinggi THEN *show notification* “Asap sedang Suhu tinggi” AND *Fan Speed* 100%
7. IF asap tinggi AND suhu rendah THEN *show notification* “Asap tinggi Suhu rendah” AND *Fan Speed* 0%
8. IF asap tinggi AND suhu sedang THEN *show notification* “Asap tinggi Suhu sedang” AND *Fan Speed* 50-80%
9. IF asap tinggi AND suhu tinggi THEN *show notification* “Asap tinggi Suhu tinggi” AND *Fan Speed* 100%
10. IF jarak jauh AND asap rendah THEN *show notification* “Motor Terlalu Sering digunakan tanpa mengganti oli”
11. IF jarak jauh AND asap sedang THEN *show notification* “Motor Terlalu Sering digunakan tanpa mengganti oli”
12. IF jarak jauh AND asap tinggi THEN *show notification* “Motor Terlalu Sering digunakan tanpa mengganti oli”

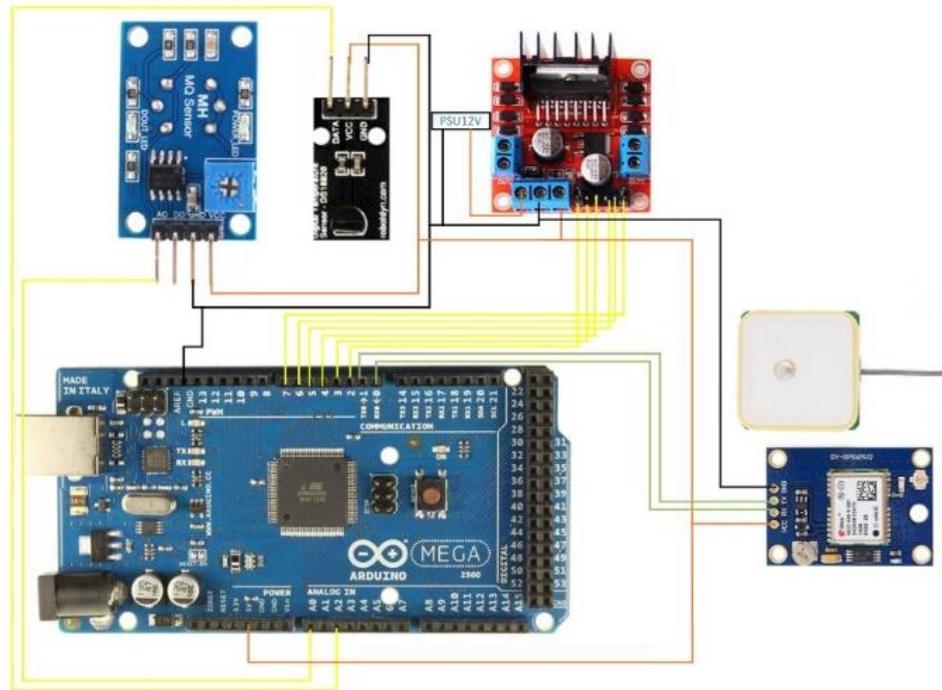
Langkah akhir adalah defuzzifikasi yaitu mengubah output fuzzy yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang digunakan saat fuzzifikasi. Nilai defuzzifikasi akan diambil untuk menentukan sistem prototype. Proses defuzzifikasi dilakukan dengan menggunakan rumus (2).

$$z = \frac{\sum \alpha_1.z_1}{\sum \alpha_1} \quad (2)$$

Keterangan :

- $\sum \alpha_1.z_1$: total penjumlahan seluruh nilai α dan z
- $\sum \alpha_1$: total penjumlahan seluruh nilai α

Diagram skema rangkaian perangkat dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pin yang digunakan pada rangkaian dapat dilihat pada **Tabel 1**. penempatan input / output pada Arduino dihubungkan dan menampilkan perangkat yang terhubung dengan modul Wi-Fi yang terpasang pada Arduino, dan pembacaan data sensor. Konfigurasi power pada seluruh perangkat yang digunakan dalam membuat *Prototype Engine Health Monitoring* dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 4. Skema Rangkaian Perangkat

Tabel 1. PIN Input Output

Pin	Sambungan
0	RX GPS NEO6MV2
1	TX GPS NEO6MV2
2	ENB (DriverMotorL298)
3	IN4 (DriverMotorL298)
4	IN3 (DriverMotorL298)
5	IN2 (DriverMotorL298)
6	IN1 (DriverMotorL298)
7	ENA (DriverMotorL298)
A0	A0 MQ-135
A2	DATA ROBOTDYN DS18B20

Tabel 2. Power Input

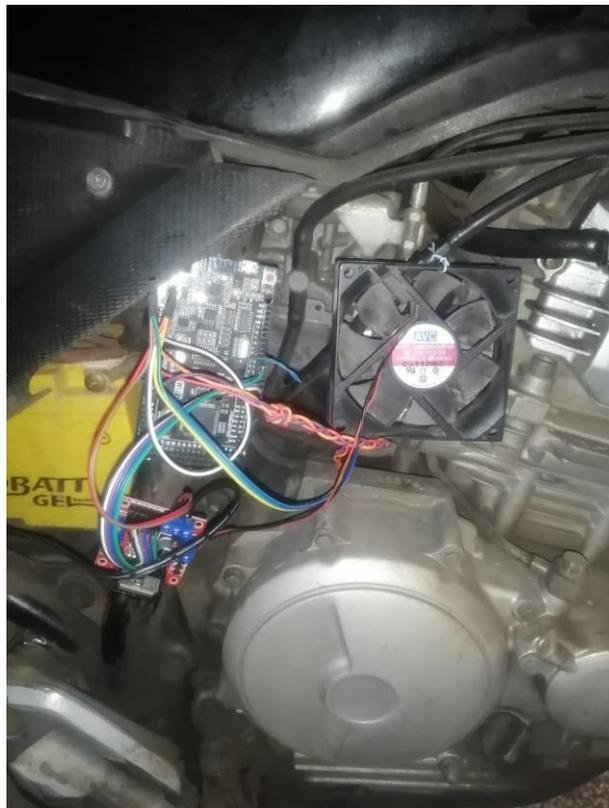
Pin	Sambungan
IOREF	-
RESET	-
3V3	-
5V	GPS NEO6MV2, Driver Motor L298, ROBOTDYN DS18B20, MQ-135
GND	GPS NEO6MV2, Driver Motor L298, ROBOTDYN DS18B20, MQ-135
GND	-
VIN	-

Alur system *Engine Health Monitoring* dimulai dari menjalankan aplikasi Blynk yang sudah terpasang *project Engine Health Monitoring*. Kemudian Perangkat keras akan masuk ke tahap inialisasi dan menghubungkan Arduino dengan *Smartphone* yang digunakan. Apabila gagal terhubung, Sistem akan mencoba untuk menghubungkan kembali, sedangkan apabila terhubung, maka Arduino akan membaca nilai inputan dari sensor yang kemudian akan di proses dengan Fuzzy Tsukamoto untuk mendapatkan rentang nilai yang pasti yang akan digunakan untuk

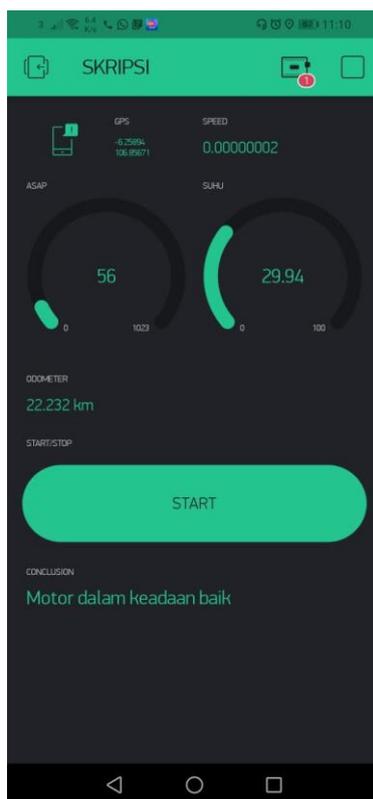
menentukan Output berupa notifikasi, dan aksi pencegahan. Apabila kondisi motor mengalami perubahan, maka proses akan kembali ke tahap inisialisasi. Namun jika tidak ada perubahan pada kondisi motor, maka Blynk akan terus menampilkan informasi mengenai kondisi sepeda motor dan notifikasi yang sesuai dengan rule.

Alur prototype dimulai dari penghubungan modul wi-fi dengan aplikasi Blynk yang terinstal pada perangkat *smartphone*, kemudian data-data yang didapat dari sensor ditampilkan pada layar *smartphone* dengan nilai minimal dan maksimal yang ditentukan. Kemudian data-data yang didapat dari sensor akan di olah oleh arduino dengan melakukan fuzifikasi sehingga menjadi data yang berupa 0 atau 1, data-data parameter yang dimaksud adalah tingkat suhu mesin(dingin, sedang, panas), jarak tempuh(normal/overused), dan hasil buangan asap(rendah, sedang, tinggi) yang masing-masing memiliki 2 dan 3 nilai dan bersaran ambang yang sudah ditentukan. Kemudian Fuzzy akan menghitung untuk menentukan output berupa notifikasi dengan rules yang sudah ditentukan

Gambar 5 merupakan tampilan Prototype yang sudah terpasang pada motor. Prototype ini akan dikendalikan dan dipantau melalui aplikasi Blynk. Yang dapat dilihat pada **Gambar 6**. Tampak Aplikasi monitoring yang dibuat dengan Blynk yang menampilkan data-data yang diambil dari sensor yang digunakan, yaitu Suhu, Asap, Jarak.



Gambar 5. Tampilan Prototype Terpasang Pada Motor



Gambar 6. Tampilan Aplikasi Blink

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan terhadap 3 kondisi kendaraan, yaitu kendaraan dalam kondisi baik, kendaraan dalam kondisi rembes kecil, kondisi asal mulai berbau secara kasat mata belum terlihat. Kondisi ketiga adalah kendaraan dalam kondisi bocor sampai berasap tebal. Hasil uji coba dapat dilihat pada tabel Percobaan dilakukan pada 30 kendaraan dalam kondisi baik, 30 kendaraan dalam kondisi kemungkinan ada kerusakan yang ditandai dengan asap yang mulai berbau ataupun adanya asap tipis. Sedangkan kendaraan dengan bocor parah dilakukan pada 30 kendaraan juga.

Kondisi	Terdeteksi Baik	Terdeteksi rusak ringan	Terdeteksi rusak berat
Baik	96.67%	3.33%	0%
Rusak Ringan	0%	93.33%	6.67%
Rusak Berat	0%	0%	100%

Berdasarkan pengujian didapatkan untuk kondisi kendaraan dalam kondisi baik memiliki hasil yang sesuai sebesar 96.67%, 3.33% kendaraan masuk kondisi disarankan diservice, tetapi tidak masuk ke kondisi perlu segera diservice. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan bahan bakar yang digunakan pada kendaraan, dan perlu diteliti lebih lanjut.

Kondisi kendaraan dalam kondisi rembes kecil dan asap mulai berbau memiliki kesesuaian 93.33%, 6.67% kendaraan justru dianggap sebagai kondisi kendaraan yang perlu segera service. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan bahan bakar yang digunakan pada kendaraan ataupun memang ada kerusakan kebocoran di dalam mesin yang tidak terdeteksi, dan perlu diteliti lebih

lanjut. Sedangkan kondisi kendaraan rusak atau perlu segera di service menghasilkan kesesuaian output 100%. hal ini kemungkinan berhubungan dengan pemakaian bahan bakar. Rata-rata keseluruhan kesesuaian adalah 96.67%. Rata-rata kesesuaian diambil berdasarkan nilai rata-rata hasil uji coba yang hasilnya sesuai.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan kesesuaian adalah 96.67% untuk kendaraan yang dianggap baik, 93.33% untuk kendaraan dalam kondisi rusak ringan dan 100% kendaraan dalam kondisi rusak parah. Dengan total rata-rata kesesuaian adalah 6.67%. Dengan demikian dapat disimpulkan prototype dapat bekerja dengan baik sesuai dengan kondisi yang mendekati akurasi dari yang diharapkan

SARAN

Berdasarkan ada yang tidak sesuai hasil pada kerusakan ringan, perlu prototype yang dapat mendeteksi adanya kebocoran minyak pelumas yang langsung masuk ke ruang baji

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Nyoman Suparta, I. Made Suarta, P. Gede, S. Rahtika, D. Putu, and W. Sunu, "Perbandingan konsumsi bahan bakar pada sistem injeksi dan sistem karburator," *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology Journal homepage*, vol. 2, pp. 108–113, 2021, [Online]. Available: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
- [2] Abdurrohman, "Analisis Pengaruh Turunnya Tekanan Minyak Pelumas Terhadap Kinerja Motor Diesel Penggerak Utama," *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*, vol. 4, no. 1, pp. 28–37, May 2022, doi: 10.51578/j.sitektransmar.v4i1.47.
- [3] B. Prabowo, "Kebocoran Oli Engine Turboprop Akibat Vibrasi Dari Ketidak-seimbangan Rotor AC Wild Generator," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 13, no. 2, Dec. 2024, doi: 10.24127/trb.v13i2.3785.
- [4] W. Diatniti, A. Supriyanto, and G. A. Pauzi, "Analisis Penurunan Kualitas Minyak Pelumas Pada Kendaraan Bermotor Berdasarkan Nilai Viskositas, Warna dan Banyaknya Bahan Pengotor," *JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 03, no. 02, pp. 171–178, 2015.
- [5] J. Aprianda, "ANALISA KEBOCORAN DAN PEMELIHARAAN PENDINGIN OLI BANTALAN DORONG UNIT 2," *Jurnal Teknik MESin*, vol. 7, no. 2, pp. 51–62, 2021.
- [6] A. Adha, "PENERAPAN LOGIKA FUZZY PADA MESIN CUCI DAN MENENTUKAN LAMA WAKTU PENCUCIAN," *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, vol. 6, no. 1, p. 125, Feb. 2022, doi: 10.26798/jiko.v6i1.289.
- [7] D. O. Kurniawati and T. Feri Efendi, "Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Diagnosa Penyakit Demam Berdarah," *Jurnal Informatika, Komputer dan Bisnis*, vol. 1, [Online]. Available: <https://jurnal.itbaas.ac.id/index.php/jikobis>
- [8] N. Khairina, "Analisis Fungsi Keanggotaan Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Status Kesehatan Tubuh Seseorang," *Sinkron*, vol. 1, no. 1, p. 19, Apr. 2017, doi: 10.33395/sinkron.v1i1.5.

- [9] F. D. Ragestu and A. J. P. Sibarani, “Penerapan Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Pemilihan Siswa Teladan di Sekolah,” *Teknika*, vol. 9, no. 1, pp. 9–15, Jul. 2020, doi: 10.34148/teknika.v9i1.251.
- [10] S. Maryam, E. Bu, and E. Hatmi, “Penerapan Metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Harga Mobil Bekas,” 2021. [Online]. Available: <https://djournals.com/jieee>
- [11] C. C. Citra, T. Matius, S. Mulyana, H. Agung, D. B. Rarasati, and M. Sipayung, “Implementasi Metode Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Supply BBM Pada Pertashop,” *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, vol. 5, no. 2, pp. 157–166, 2022.
- [12] F. Sari, S. F. Mahmud, and R. Faisal, “Sistem Optimalisasi Pengadaan Alat Kesehatan Menggunakan Metode Fuzzy Time Series,” *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, vol. 7, no. 4, p. 1766, Oct. 2023, doi: 10.30865/mib.v7i4.6405.
- [13] N. Rahmi, L. Tri Syahyaningsih, W. Wahyuni, and D. Fatmarani Suriyanto, “Analysis of the Application of Fuzzy Tsukamoto in Determining Eligibility for Student Participation in SNMPTN,” *Jurnal SISFOTEKNIKA*, vol. 14, no. 2, 2024, doi: 10.30700/sisfotenika.v14i2.457.
- [14] H. Hartono, J. F. Andry, B. G. Liebe Imbing, and C. Gunawan, “DECISION SUPPORT SYSTEM PERUSAHAAN MANUFACTURING DALAM MENENTUKAN PEMASOK MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS,” *Infotech: Journal of Technology Information*, vol. 5, no. 2, pp. 77–84, May 2020, doi: 10.37365/jti.v5i2.68.
- [15] W. Oktodinata and Y. Purnomo, “Perangkat Jam Portabel dengan Fungsi Pembaca Suhu dan Pelacakan Suara Melalui Buzzer Menggunakan Modul Nrf Berbasis Arduino,” *Jurnal Teknik Indonesia*, vol. 3, no. 7, pp. 115–128, Jul. 2024, doi: 10.58860/jti.v3i7.446.
- [16] A. Suherman and D. Widyaningrum, “Implementasi Fuzzy Tsukamoto pada Sistem Internet of Things Budidaya Tanaman Bayam,” *SMATIKA JURNAL*, vol. 14, no. 01, pp. 195–204, Jul. 2024, doi: 10.32664/smatika.v14i01.1332.