

**REPLIKASI SISTEM PAKAR KERUSAKAN MESIN INDUSTRI BERBASIS  
RULE-BASED, FORWARD CHAINING, DAN CERTAINTY FACTOR DARI  
PENELITIAN RELEVAN.**

*Tugas ini dibuat untuk memenuhi mata kuliah Sistem Pakar*

Dosen Pengampu :

Liptia Venica, S.T., M.T



**disusun oleh :**

<b>Andre Saputra</b>	<b>2312601</b>
<b>Nabil Bagus Satrio</b>	<b>2307198</b>

**PROGRAM STUDI MEKATRONIKA DAN KECERDASAN BUATAN  
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA  
KAMPUS DAERAH PURWAKARTA**

**2025**

## REFERENSI JURNAL SISTEM PAKAR:

<b>Judul</b>	Sistem Pakar untuk Mengidentifikasi Kerusakan Mesin Industri Menggunakan Metode <i>Certainty Factor</i> (2018)
<b>Penulis (Author)</b>	Dedi Suryadi, Rifki Meilianda, Ahmad Fauzan Suryono, Munadib dari Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

## DESKRIPSI SISTEM PAKAR PADA PENELITIAN ASLI :

Metode Inferensi	Forward Chaining (Data-Driven)
Certainty Factor	<ul style="list-style-type: none"><li>• <math>CF(H,E) = CF(E) \times CF(H)</math></li><li>• <math>CF\_combine = CF\_old + (CF\_new \times (1 - CF\_old))</math> untuk <b>multiple evidence</b></li></ul>
Knowledge Base	Knowledge base sistem terdiri dari basis aturan yang menghubungkan gejala dengan jenis kerusakan. Terdapat lima jenis kerusakan yang dapat diidentifikasi: unbalance, misalignment, mechanical looseness, bent shaft, dan bearing defect. Setiap kerusakan memiliki kombinasi gejala spesifik yang harus terpenuhi, misalnya kerusakan unbalance memerlukan gejala Q2 (getaran dominan di arah radial) dan Q8 (terdapat puncak pada 1x rpm). Basis pengetahuan ini dikembangkan berdasarkan pengalaman pakar dan standar industri analisis getaran
Tujuan	Mengidentifikasi kerusakan mesin industri berdasarkan analisis getaran. Spesifik: <ul style="list-style-type: none"><li>• Menggantikan peran pakar getaran yang tidak selalu tersedia</li><li>• Mempermudah teknisi pemula dalam diagnosis</li><li>• Predictive maintenance untuk mencegah kerusakan parah</li><li>• Analisis cepat dan praktis berbasis Android</li></ul>

## REPLIKASI SISTEM YANG KAMI MODIFIKASI (perubahan atau penyesuaian yang dilakukan)

Berdasarkan analisis terhadap jurnal asli dan pengembangan sistem yang dilakukan, kami melakukan replikasi dan significant enhancement pada sistem pakar identifikasi kerusakan mesin. Dalam jurnal awal, sistem hanya mencakup **5 jenis kerusakan** (Unbalance, Misalignment, Mechanical Looseness, Bent Shaft, dan Bearing Defect) dengan **14 gejala** (Q1 hingga Q14) yang diimplementasikan dalam platform Android. Kami mengembangkan sistem ini menjadi platform web-based menggunakan **Flask, HTML, CSS, dan JavaScript** dengan knowledge base yang jauh lebih komprehensif.

Perluasan knowledge base yang kami lakukan sangat signifikan. Dari sebelumnya hanya **5 aturan dasar**, kami mengembangkan menjadi **66 rules** yang mencakup **13 jenis kerusakan** berbeda. Jenis kerusakan baru yang ditambahkan meliputi **Resonance, Coupling Problem, Foundation Problem, Rotor Rub, Gear Problem, Oil Whirl, Cavitation, dan Thrust Bearing Failure**. Gejala juga diperluas dari **14 menjadi 30 gejala** (Q1 hingga Q30) dengan penambahan kategori baru seperti **Trend, Time Waveform, Visual, dan Operation**.

Dalam hal struktur rules, kami menerapkan pendekatan hierarkis yang lebih sophisticated. Sistem sekarang memiliki rules dengan variasi complexity dari single symptom rules (36.4%) hingga complex rules dengan 6 gejala (3.0%). Nilai Certainty Factor juga dioptimalkan dengan range yang lebih luas (0.2 hingga 0.9) dan distribusi yang lebih granular, memungkinkan sistem memberikan diagnosis dengan confidence level yang lebih akurat.

Platform migrasi dari Android ke web-based Flask memungkinkan akses yang lebih universal dan maintainability yang lebih baik. Penyimpanan rules dalam format JSON memberikan fleksibilitas untuk update knowledge base tanpa perlu modifikasi kode utama. Inference engine yang dikembangkan menggunakan Python mengimplementasikan forward chaining dengan Certainty Factor, mempertahankan metodologi dari jurnal asli namun dengan optimisasi algoritma dan kombinasi evidence yang lebih robust.

Adapun aspek yang dilakukan dalam implementasi ulang ini,

Aspek	Jurnal	Implementasi
Platform	Android Mobile	Web-based (Flask)
Frontend	Native Android	HTML, CSS, JS
Backend	Java/Kotlin	Python Flask

<b>Penyimpanan Rules</b>	Hard-coded dalam app	JSON Files
<b>Jumlah Jenis Kerusakan</b>	5 jenis	13 jenis
<b>Jumlah Gejala</b>	14 gejala (Q1-Q14)	30 gejala (Q1-Q30)
<b>Jumlah Rules/Aturan</b>	5 rules dasar	66 rules
<b>Kategori Gejala</b>	6 kategori dasar	13 kategori lengkap

## Ekspansi Knowledge Base

- **Jurnal:** 5 rules → **Replikasi:** 66 rules (**13x lipat**)
- **Jurnal:** 14 gejala → **Replikasi:** 30 gejala (**2.1x lipat**)
- **Jurnal:** 5 kerusakan → **Replikasi:** 13 kerusakan (**2.6x lipat**)

## TABEL ATURAN (RULE BASE) DAN REPRESENTASI JSON

Berikut adalah tabel aturan rule-based yang lengkap, yang dikembangkan berdasarkan jurnal dan hasil ekspansi kami:

<b>Rule ID</b>	<b>Jenis Kerusakan</b>	<b>Gejala</b>	<b>CF Rule</b>	<b>Deskripsi</b>
<b>R1</b>	Unbalance	Q2, Q8	0,8	Getaran dominan radial + puncak 1x RPM
<b>R2</b>	Unbalance	Q2, Q5	0,6	Radial vibration + 3x RPM
<b>R3</b>	Unbalance	Q8, Q14	0,7	1x RPM + phase difference 90°
<b>R4</b>	Misalignment	Q1, Q2, Q3, Q6, Q7, Q13	0,8	Complete misalignment symptoms
<b>R5</b>	Misalignment	Q1, Q3, Q13	0,7	Axial + 2x RPM + 180° phase
<b>R6</b>	Misalignment	Q2, Q3, Q7	0,6	Radial + 2x RPM dominan
<b>R7</b>	Mechanical_Looseness	Q2, Q4, Q9	0,8	Radial vibration + sub harmonik + sideband
<b>R8</b>	Mechanical_Looseness	Q4, Q9, Q10	0,7	Sub harmonic + sideband + random vibration
<b>R9</b>	Mechanical_Looseness	Q2, Q4	0,5	Radial + sub harmonic
<b>R10</b>	Bent_Shaft	Q1, Q3	0,8	Axial vibration + puncak 2x RPM
<b>R11</b>	Bent_Shaft	Q1, Q3, Q14	0,9	Axial + 2x RPM + 90° phase
<b>R12</b>	Bearing_Defect	Q10, Q11, Q12	0,6	Random vibration + panas + suara bising
<b>R13</b>	Bearing_Defect	Q10, Q12	0,5	Random vibration + suara bising
<b>R14</b>	Bearing_Defect	Q11, Q12	0,4	Panas + suara bising
<b>R15</b>	Resonance	Q8, Q10, Q14	0,7	1x RPM + random + 90° phase
<b>R16</b>	Resonance	Q5, Q8, Q10	0,6	3x RPM + 1x RPM + random vibration

<b>R17</b>	Coupling_Problem	Q1, Q2, Q3, Q9	0,7	Axial + radial + 2x RPM + sideband
<b>R18</b>	Coupling_Problem	Q3, Q9, Q13	0,6	2x RPM + sideband + 180° phase
<b>R19</b>	Foundation_Problem	Q2, Q4, Q10	0,8	Radial + sub harmonic + random
<b>R20</b>	Foundation_Problem	Q4, Q9, Q10, Q11	0,9	Sub harmonic + sideband + random + heat
<b>R21</b>	Rotor_Rub	Q1, Q8, Q15	0,7	Axial + 1x RPM + vibration increase at specific speed
<b>R22</b>	Rotor_Rub	Q10, Q16	0,6	Random vibration + subsynchronous vibration
<b>R23</b>	Gear_Problem	Q3, Q5, Q17	0,8	2x RPM + 3x RPM + gear mesh frequency
<b>R24</b>	Gear_Problem	Q9, Q18	0,7	Sideband + modulation
<b>R25</b>	Oil_Whirl	Q1, Q2, Q19	0,6	Axial + radial + vibration changes with load
<b>R26</b>	Oil_Whirl	Q8, Q20	0,5	1x RPM + non-synchronous vibration
<b>R27</b>	Cavitation	Q10, Q21	0,7	Random vibration + broadband noise
<b>R28</b>	Cavitation	Q12, Q22	0,6	Suara bising + pressure fluctuation
<b>R29</b>	Thrust_Bearing_Failure	Q1, Q23	0,8	Axial vibration + axial position change
<b>R30</b>	Thrust_Bearing_Failure	Q11, Q23	0,7	Panas + axial position change
<b>R31</b>	Unbalance	Q2	0,2	Radial vibration saja
<b>R32</b>	Unbalance	Q8	0,3	1x RPM saja
<b>R33</b>	Misalignment	Q1	0,2	Axial vibration saja
<b>R34</b>	Misalignment	Q3	0,4	2x RPM saja
<b>R35</b>	Bent_Shaft	Q1	0,2	Axial vibration
<b>R36</b>	Bent_Shaft	Q3	0,4	2x RPM indicator
<b>R37</b>	Mechanical_Looseness	Q4	0,3	Sub harmonic
<b>R38</b>	Mechanical_Looseness	Q9	0,3	Sideband
<b>R39</b>	Mechanical_Looseness	Q10	0,2	Random vibration
<b>R40</b>	Bearing_Defect	Q10	0,3	Random vibration indicator
<b>R41</b>	Bearing_Defect	Q11	0,2	Panas berlebih
<b>R42</b>	Bearing_Defect	Q12	0,4	Suara bising
<b>R43</b>	Misalignment	Q13	0,3	180° phase
<b>R44</b>	Unbalance	Q14	0,3	90° phase
<b>R45</b>	Mechanical_Looseness	Q2, Q10	0,4	Radial + random
<b>R46</b>	Misalignment	Q1, Q2	0,3	Axial + radial
<b>R47</b>	Mechanical_Looseness	Q8, Q10	0,4	1x RPM + random
<b>R48</b>	Misalignment	Q3, Q8	0,5	2x RPM + 1x RPM
<b>R49</b>	Misalignment	Q2, Q3	0,4	Radial + 2x RPM
<b>R50</b>	Bearing_Defect	Q10, Q11	0,4	Random + panas
<b>R51</b>	Resonance	Q15	0,5	Speed-specific vibration

<b>R52</b>	Oil_Whirl	Q16	0,4	Subsynchronous
<b>R53</b>	Gear_Problem	Q17	0,6	Gear mesh frequency
<b>R54</b>	Gear_Problem	Q18	0,5	Modulation
<b>R55</b>	Oil_Whirl	Q19	0,4	Load-dependent
<b>R56</b>	Oil_Whirl	Q20	0,4	Non-synchronous
<b>R57</b>	Bearing_Defect	Q21	0,4	Broadband noise
<b>R58</b>	Cavitation	Q22	0,5	Pressure fluctuation
<b>R59</b>	Thrust_Bearing_Failure	Q23	0,5	Axial position
<b>R60</b>	Bearing_Defect	Q24	0,3	Progressive increase
<b>R61</b>	Mechanical_Looseness	Q25	0,5	Impact spikes
<b>R62</b>	Mechanical_Looseness	Q26	0,4	High crest factor
<b>R63</b>	Bearing_Defect	Q27	0,3	Oil leakage
<b>R64</b>	Bearing_Defect	Q28	0,3	Discoloration
<b>R65</b>	Bearing_Defect	Q29	0,4	Warmup effect
<b>R66</b>	Bearing_Defect	Q30	0,3	Startup only

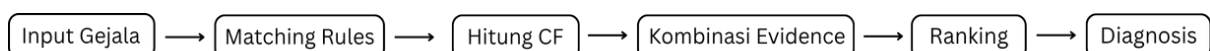
Untuk representasi JSON dapat dilihat di [link github](#) dengan membuka file `knowledge_base.json`

## PENJELASAN PROSES INFERENSI (FORWARD CHAINING + CF)

Sistem ini mengimplementasikan **Forward Chaining** yang digabungkan dengan **Certainty Factor** untuk menangani ketidakpastian. Forward Chaining merupakan strategi inferensi yang bersifat data-driven, dimana proses penarikan kesimpulan dimulai dari fakta-fakta yang diketahui (gejala yang dipilih user) menuju kepada kesimpulan (jenis kerusakan).

**Sistem ini juga menggunakan pendekatan SEQUENTIAL** dalam proses inferensinya.

Berikut alur detailnya:



### Tahap 1: Input Gejala

User memilih gejala yang diamati pada mesin

### Tahap 2: Matching Rules

Sistem scan sequential semua 66 rules untuk mencari yang match

### Tahap 3: Perhitungan Certainty Factor

$$CF(H,E) = CF(Gejala) \times CF(Rule)$$

$$CF(R1) = CF(Q2) \times CF(Q8) \times CF(Rule)$$

$$= 0.2 \times 0.8 \times 0.8 = 0.128$$

### Tahap 4: Kombinasi Evidence

Untuk kerusakan yang sama dari multiple rules

$$CF\_combine = CF\_lama + (CF\_baru \times (1 - CF\_lama))$$

Tahap 5: Ranking Dan Diagnosis

Hasil akhir diurutkan dari CF tertinggi

## Hasil Uji Coba (Tangkapan Layar)

← Back

Sistem Pakar Identifikasi Kerusakan Mesin Industri  
Forward Chaining dengan Certainty Factor (MYCIN)

Pilih Gejala yang Terdeteksi

Cari gejala...

Dipilih: 4 gejala

☒ Q1: Getaran dominan di arah aksial

☒ Q10: Terjadi random vibration pada frekuensi tinggi

☒ Q11: Panas berlebih pada area bantalan

☒ Q12: Suara bising pada bantalan (> 2gE)

☐ Q13: Terdapat beda fasa  $\pm 180^\circ$

☐ Q14: Beda fasa  $\pm 90^\circ$

☐ Q15: Getaran meningkat pada speed tertentu

☐ Q16: Muncul subsynchronous vibration

☐ Q17: Puncak pada gear mesh frequency

☐ Q18: Modulation pada sideband

☐ Q19: Vibration changes dengan load

☐ Q2: Getaran dominan di arah radial

☐ Q20: Non-synchronous vibration

☐ Q21: Broadband high frequency noise

☐ Q22: Pressure fluctuation

☐ Q23: Axial position change

← Back

Sistem Pakar Identifikasi Kerusakan Mesin Industri  
Forward Chaining dengan Certainty Factor (MYCIN)

Hasil Diagnosis

Ditemukan 7 kemungkinan diagnosis

Bearing Defect (Kerusakan Bantalan)

77.4%

Kerusakan pada rolling element bearing menyebabkan noise dan vibration

Tingkat Keyakinan:

77.4%

Risk Level: High

Estimasi Waktu Maintenance: 4-16 jam

Kemungkinan Penyebab:

☐ Lubrication failure/inadequate

☐ Contamination (debu, air, chemical)

☐ Overload mechanical

☐ Fatigue material

☐ Improper installation

☐ Corrosion

Solusi & Rekomendasi:

Step 1: Ganti bearing defective

Step 2: Perbaiki sistem lubricasi

[Link Web Preview](#)



## **Kesimpulan**

Replikasi sistem pakar identifikasi kerusakan mesin telah berhasil melakukan transformasi signifikan dari platform Android ke web-based menggunakan Flask, HTML, CSS, dan JavaScript. Perubahan ini memberikan aksesibilitas lebih luas dan kemudahan maintenance yang lebih baik dibanding sistem sebelumnya.

Knowledge base mengalami ekspansi substantial dari 5 rules dasar menjadi 66 rules yang mencakup 13 jenis kerusakan berbeda. Penambahan 16 gejala baru (dari 14 menjadi 30 gejala) dan struktur rules yang hierarkis meningkatkan kemampuan diagnosis secara signifikan. Sistem kini dapat menangani skenario kerusakan yang lebih kompleks dengan confidence level yang lebih akurat.

Implementasi penyimpanan rules dalam format JSON memberikan fleksibilitas tinggi untuk pengembangan berkelanjutan. Metode Certainty Factor yang dipertahankan terbukti efektif menangani ketidakpastian, sementara enhancement yang dilakukan meningkatkan granularitas diagnosis. Sistem ini siap diimplementasikan dalam lingkungan industri untuk mendukung program predictive maintenance yang lebih efektif dan terstandarisasi.