IMPLEMENTASI SMART QUALITY CONTROL MOTOR INDUKSI REWINDING BERBASIS INTERNET OF THINGS SESUAI ISO 2372 DAN IEC 60034

Fairus Zakaria[1*], Septriandi Wirayoga[2]

[1,2]Prodi Teknik Elektronika Kampus Kediri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: [1]Fairuszkr@gmail.com, [2]yoga.septriandi@polinema.ac.id

Nomor Handphone : 085804637426

Abstrak

Motor induksi merupakan salah satu penggerak utama yang banyak digunakan pada sektor industri karena memiliki konstruksi yang sederhana, biaya perawatan yang relatif rendah, dan tingkat keandalan yang tinggi. Namun, penggunaan motor induksi secara terus-menerus dapat menyebabkan kerusakan pada kumparan sehingga memerlukan proses *rewinding*. Setelah proses *rewinding* selesai, diperlukan *quality control* untuk memastikan bahwa performa motor masih sesuai dengan standar yang ditetapkan. Proses *quality control* yang masih dilakukan secara manual menggunakan Vibrasimeter, Tachometer, Thermogun dan Sound Level Meter yang berpotensi menimbulkan kesalahan diagnosis dan kurang efisien dalam dokumentasi data. Penelitian ini bertujuan mengembangkan SMART QC berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan parameter yang digunakan pada saat proses *quality control* pengujian *running test* tanpa beban menggunakan sensor ADXL345 (mm/s), MLX90614 (°C), INMP441 (dB), dan laser receiver (RPM). Sistem juga dilengkapi *rule-based expert system* menggunakan metode *forward chaining* berdasarkan standar ISO 2372, IEC 60034-1, dan IEC 60034-9. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata akurasi parameter sebesar 96,62% dan akurasi diagnosis sistem pakar sebesar 90%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa SMART QC mampu membantu proses monitoring dan pengambilan keputusan *quality control* motor induksi *rewinding* secara lebih efektif dan terintegrasi.

Kata kunci: Motor Induksi, *Quality Control*, *Internet of Things*, SMART QC, *Rule-Based Expert System*

Abstract

Induction motors are widely used in industrial applications due to their simple construction, relatively low maintenance costs, and high reliability. However, continuous operation can lead to winding damage, requiring a rewinding process to restore motor performance. After rewinding, a quality control procedure is necessary to ensure that the motor still meets the required operational standards. In practice, quality control is commonly performed manually using separate instruments such as a vibration meter, tachometer, thermogun, and sound level meter, which may increase the risk of diagnostic errors and reduce the efficiency of data documentation. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based SMART QC system that integrates the main parameters used during no-load running tests, including vibration measured by the ADXL345 sensor (mm/s), temperature measured by the MLX90614 sensor (°C), noise level measured by the INMP441 sensor (dB), and rotational speed measured by a laser receiver sensor (RPM). The system is also equipped with a rule-based expert system employing the forward chaining method based on ISO 2372, IEC 60034-1, and IEC 60034-9 standards. The test results showed an average parameter accuracy of 96.62% and an expert system diagnostic accuracy of 90%. These results indicate that SMART QC can support a more effective and integrated monitoring and decision-making process for quality control of rewound induction motors.

Keywords: Inductio Motors, *Quality Control*, *Internet of Things*, SMART QC, *Rule-Based Expert System.*

This work is an open access article and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. PENDAHULUAN

Motor Induksi adalah aktuator penting pada industri, dimana prinsip kerja pada motor induksi dengan cara arus listrik pada rotor tidak langsung disuplai melainkan dengan cara terinduksi yang menghasilkan perbedaan antara medan magnet antara stator dan rotor, proses tersebut yang menghasilkan putaran rotor mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, perubahan energi tersebutlah yang dibutuhkan oleh kebutuhan mesin di industri. Dalam penggunaan motor induksi di kawasan industri indonesia sangatlah banyak, seperti yang dijelaskan oleh [1], indonesia adalah salah satu negara yang mendominasi pasar motor induksi dengan memiliki nilai penghasilan sebesar 472,98

juta dolar pada tahun 2022, dimana kenaikan pasar ini diperkirakan akan tumbuh hingga sampai tahun 2028 dengan tingkat pertumbuhan per tahunya sebesar 3,88%.

Penggunaan motor induksi pada industri secara berkepanjangan dengan seiring waktu dapat mengalami penurunan performa hingga mengalami kerusakan seperti yang dialami oleh penelitian [2], dimana penggunaan motor separator 65SP14 secara terus menerus yang menghasilkan nilai temperatur sangat tinggi, dengan suhu rata-rata mencapai 99,35°C hingga 102,22°C pada gulungan rotornya, yang menunjukkan risiko *overheating*. Untuk mengatasi risiko motor induksi agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah maka salah satu cara perbaikan yang umum dilakukan untuk mengembalikan performa seperti semula adalah melakukan *rewinding* atau penggulungan ulang pada lilitan stator untuk mengembalikan fungsi motor induksi tersebut, seperti yang dilakukan oleh penelitian [3] menunjukan bahwa kondisi setelah *rewinding* mendapatkan hasil pengujian kondisi tanpa beban dengan putaran lambat menghasilkan arus sebesar 1,3 A, frekuensi 50,45 Hz, faktor daya 0,86, serta kecepatan putar 1515 RPM. Sedangkan pada kondisi berbeban dengan putaran cepat, arus yang terukur sebesar 1,9 A, frekuensi 50,29 Hz, faktor daya 0,997, dan kecepatan putar mencapai 2949 RPM. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses *rewinding* berpengaruh terhadap kinerja motor, terutama pada kecepatan putar dan karakteristik operasionalnya.

Rewinding merupakan proses penggulungan kumparan pada stator dan rotor kembali, ketika kumparan yang terbakar tidak dapat dipakai kembali, maka akan dipotong sehingga perlu dibuat kembali dengan kawat yang baru [4]. Namun, kualitas pada perbaikan motor induksi dengan cara *rewinding* tidak selalu sama dengan kondisi awal motor induksi, Penelitian oleh [5] para pekerja *engineering* menunjukkan bahwa efisiensi motor induksi tiga fasa dapat menurun dari 68,31% dalam kondisi sebelum *rewinding* menjadi 64,1% setelah *rewinding*, temperatur kerja sebelum *rewinding* 22°C dan setelah *rewinding* 24,6°C, vibrasi sebelum *rewinding* 2,79 mm/s dan setelah *rewinding* 4,17 mm/s. Faktor penyebab gejala tersebut dapat terjadi disebabkan oleh perbedaan material konduktor dan kurang rapatnya lilitan dalam kumparan yang akan menambah nilai impedansi yang akan terlihat dalam proses *quality control* menggunakan metode *running test* tanpa beban.

Metode *quality control running test* tanpa beban pada motor induksi *rewinding*, secara umum masih mengandalkan sistem konvensional yang terbatas pada inspeksi manual yang dilakukan oleh para teknisi *quality control* untuk motor induksi yang telah di *rewinding*, dengan melibatkan beberapa parameter seperti vibrasi meter untuk getaran yang dihasilkan motor induksi, tachometer untuk kecepatan as shaft motor induksi, sound level meter untuk kebisingan motor induksi, dan thermogun untuk suhu motor induksi. Sehingga, dalam inspeksi manual tersebut cenderung menyebabkan kesalahan umum pada teknisi *quality control* seperti kegagalan dalam mendiagnosis gejala motor induksi, keterbatasan dokumentasi data dan jaminan keselamatan kerja pada proses *running test* tanpa beban.

Penelitian sebelumnya [6] telah merancang beberapa parameter yang digunakan oleh tim *quality control* yang bertujuan untuk membuat alat pengukur getaran, suara dan suhu motor induksi 3-phasa sebagai indikasi kerusakan pada motor induksi 3-phasa berbasis Arduino sebagai indikator kerusakan motor induksi. Namun, pada penelitian tersebut belum mengintegrasikan parameter untuk mengukur kecepatan as shaft motor induksi sebagai indikator performa motor. Selain itu, metode diagnosis yang digunakan masih sederhana, yaitu hanya berdasarkan *HIGH* dan *LOW*, sehingga tingkat akurasi dalam mendiagnosis gejala motor induksi masih terbatas, disertai penelitian tersebut masih mengandalkan monitoring secara langsung menggunakan LCD 16 x 2.

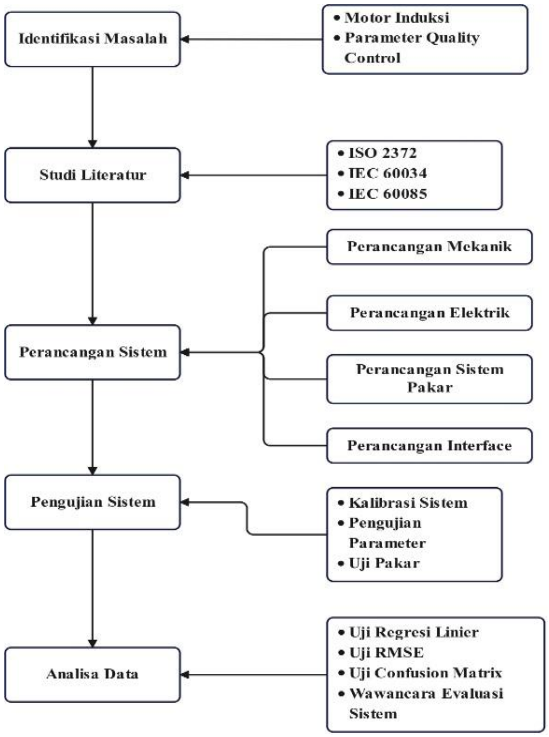
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem parameter *quality control* yang terintegrasi menggunakan sensor ADXL345 sebagai mengukur getaran [7], sensor MLX90614 untuk mengukur suhu [8], sensor laser receiver untuk mengukur kecepatan putaran [9], dan sensor INMP441 untuk mengukur kebisingan [10]. Keempat sensor tersebut akan di integrasikan secara embedded system berbasis *Internet of Things* menggunakan metode *rule-based expert system* guna mendeteksi kualitas motor induksi yang telah di *rewinding* secara klasifikasi yang telah ditentukan serta memberikan rekomendasi perbaikan berdasarkan standar ISO 2372 dan IEC 60034.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research dan Develpoment (R&D) untuk mengembangkan metode pengukuran parameter *running test* tanpa beban dengan menggunakan sistem pakar sebagai diagnosis gejala motor induksi yang diseusaikan dengan data skunder menggunakan pedoman ISO 2372,

IEC 60034-1 dan IEC 60034-9. Sebelum pengujian penelitian ditampilkan, gambar 1 dijelaskan alur pada tahapan keseluruhan penelitian yang digunakan.
Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut.

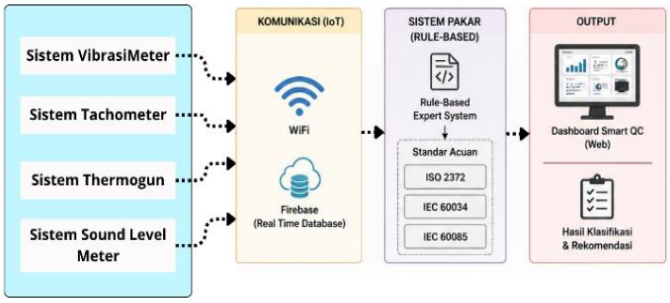
a. Identifikasi Masalah dilakukan guna mencari beberapa permasalahan umum yang terjadi pada motor induksi dan parameter yang umum digunakan oleh *quality control*.
b. Studi Literatur sebagai acuan referensi sistem pakar dengan menggunakan standard ISO 2372, IEC 60034-1 dan IEC 60034-9.
c. Perancangan Sistem terbagi menjadi 4 tahap dimulai dari perancangan mekanik, perancangan elektrik, perancangan sistem pakar dan perancangan interface.
d. Pengujian Sistem meliputi 3 tahap yang berguna untuk melihat keandalan sistem yang telah dirancang, meliputi pengujian kalibrasi sistem, pengujian parameter dan pengujian sistem pakar.
e. Analisa data digunakan sebagai menganalisa hasil yang dikeluarkan oleh pengujian sistem, dengan melibatkan 4 pengujian seperti uji regresi linier, uji *Root Mean Square Error* (RMSE), uji confusion matrix dan melakukan wawancara evaluasi sistem



Gambar 1. Alur Penelitian

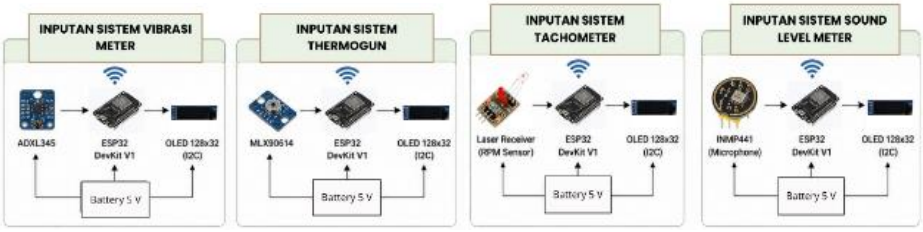
3.1. Blok Diagram Sistem

Dalam perancangan diagram blok sistem dibagi menjadi dua bagian, yaitu diagram blok sistem utama gambar 2 dan diagram blok sub sistem gambar 3.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem utama terdiri dari empat bagian utama, yaitu integrasi sistem inputan, komunikasi *berbasis Internet of Things* (IoT), sistem pakar (*rule-based expert system*), dan sistem keluaran (*output*). Bagian integrasi sistem input berfungsi untuk mengumpulkan data dari berbagai sensor, seperti sensor vibrasi, tachometer, thermogun, dan sound level meter.



Gambar 3. Diagram Blok Sub Sistem

Pada diagram blok subsistem gambar 3, setiap bagian memiliki peran masing-masing dalam pengolahan parameter. Setiap subsistem terdiri dari satu unit ESP yang terhubung dengan jaringan WiFi dan masing-masing sensor, sehingga mampu melakukan pengiriman data secara otomatis pada inputan diagram blok sistem utama sesuai dengan parameter yang diukur.

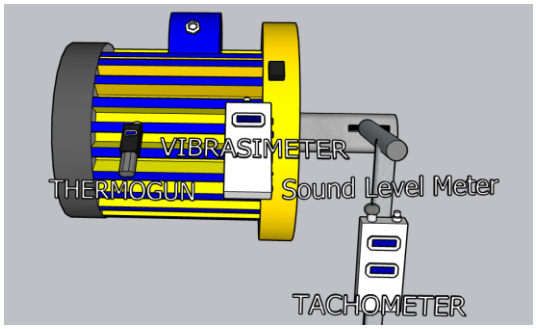
3.2. Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan meliputi sebagai berikut:

a. Tahap awal pengambilan data melalui studi literatur dengan mengkaji beberapa jurnal yang relevan serta standar yang digunakan, yaitu ISO 2372 dan IEC 60034-1 serta IEC 60034-9.
b. Pengambilan data selanjutnya dilakukan secara langsung di lapangan, yaitu di PT Omega Teknik Indonesia yang berlokasi di Gresik. Pada tahap ini, peneliti melakukan observasi terlebih dahulu untuk mengetahui alur pengujian running test tanpa beban yang biasa dilakukan oleh tim *quality control*.
c. Tahapan selanjutnya dilakukan proses pengambilan data menggunakan alat yang telah dirancang oleh peneliti. Data yang diambil meliputi beberapa parameter seperti vibrasi (mm/s), suhu (°C), kebisingan (dB), dan kecepatan putar as shaft rotor (RPM).

3.3. Desain Perancangan Sistem

Dari desain keseluruhan perancangan sistem dapat dilihat pada gambar 4, dimana ke empat parameter yang terintgrasi tersebut harus memenuhi kualifikasi seperti aman dalam berbagai kondisi pengujian, kuat terhadap kesalahan kesalahan yang tidak di inginkan dan juga efisien dalam penempatan nya. Pentingnya penempatan parameter sangat mempengaruhi dikarenakan dapat membuat nilai pembacaan sensor bisa berubah rubah. Maka dari itu pada desain mekanik ini peneliti menentukan penempatan sensor harus sesuai dengan objek nya seperti yang ada pada gambar 5.



Gambar 4. Desain Perancangan Sistem

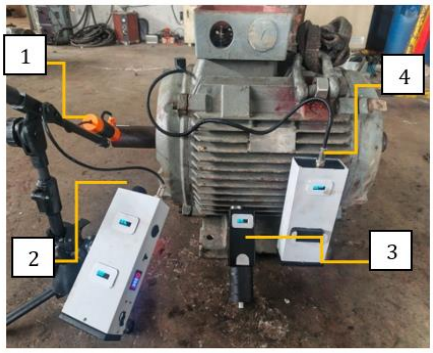
Pentingnya penempatan parameter sangat mempengaruhi dikarenakan dapat membuat nilai pembacaan sensor bisa berubah rubah. Maka dari itu pada desain mekanik ini peneliti menentukan penempatan sensor harus sesuai dengan objek nya seperti yang ada pada gambar 5.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil penelitian dan pembahasan yang disajikan melalui tabel, gambar, serta analisis. Penyajian tersebut dilakukan agar pembaca lebih mudah memahami hasil perancangan, tahapan pembahasan, proses pengujian, serta evaluasi kinerja sistem secara sistematis.

3.1. Hasil Perancangan Sistem

Hasil perancangan mekanik yang di tampilkan pada gambar 5, adalah gambaran keseluruhan pada sistem yang telah dirancang, melibatkan parameter seperti berikut :



Gambar 5. Hasil SMART QC

Keterangan gambar 5 :

1. Tachometer SMART QC
2. Sound Level Meter SMART QC
3. Thermogun SMART QC
4. Vibrasimeter SMART QC

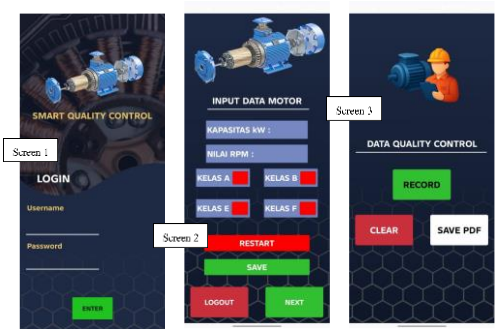
Dalam hasil perancangan mekanik yang melibatkan ke empat parameter tersebut akan di buat sistem portable berbentuk koper yang berguna untuk memudahkan team *quality control* dalam melakukan proses pengujian motor induksi di berbagai tempat seperti di workhshop ataupun on site seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil SMART QC Portabel

3.2. Hasil Perancangan Aplikasi User

Pada perancangan aplikasi user ini diberikan nama aplikasi “SMART QC” yang memiliki arti sebagai aplikasi pemantauan cerdas motor induksi. Dapat dilihat pada gambar 8 yang telah disajikan, menunjukkan bahwa hasil perancangan aplikasi SMART QC telah sesuai dengan apa yang diharapkan oleh Tim *quality control*, seperti pencatatan data parameter pengujian running test tanpa beban motor induksi dan pengoperasian pada dashboard itu sendiri



Gambar 7. Aplikasi SMART QC

3.3. Hasil Perancangan Dashboard

Dashboard dirancang untuk mempermudah tim *quality control* pada saat melakukan dokumentasi hasil pengujian motor induksi tanpa harus mencatat data secara manual. Seluruh data hasil pembacaan sensor seperti RPM, suhu, vibrasi, kebisingan, serta hasil diagnosis motor akan otomatis menjadi laporan arsip pengujian motor induksi yang lebih rapi dan mudah dibaca seperti pada gambar 8. Setelah proses running test selesai, tim *quality control* hanya perlu menekan tombol simpan PDF pada aplikasi SMART QC dan sistem dashboard akan langsung membuat file laporan berdasarkan data yang tampil pada dashboard seperti pada gambar 9 tersebut.



Gambar 8. Dashsboard SMART QC



Gambar 9. Hasil SAVE PDF

3.4. Hasil Kalibrasi Vibrasimeter

Pada uji kalibrasi vibrasimeter sendiri, nilai vibrasimeter Smart QC yang telah dirancang akan dikalibrasi terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai yang mendekati menggunakan vibrasimeter konvenisonal. Setelah itu, dilanjut dengan menguji kedua nilai parameter vibrasimeter tersebut seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kalibrasi Vibrasimeter SMART QC

No	Kapasitas Motor (kW)	Posisi Pengukuran	Vibrasi Smart QC (mm/s)	Vibrasimeter (mm/s)	Error %	Nilai Gain
1	7.5	DE NDE	0.55 0.62	0.5 0.59	7.34	0.46
2	0.75	DE NDE	0.26 0.29	0.3 0.29	6.78	0.46
3	45	DE NDE	0.98 1.1	1.0 1.3	9.57	0.46
4	94	DE NDE	1.23 1.19	1.3 1.24	4.72	0.47
5	110	DE NDE	0.74 0.8	0.7 0.95	6.67	0.46
6	5.5	DE NDE	0.11 0.18	0.14 0.16	3.33	0.45
7	11	DE NDE	0.74 0.83	0.81 0.84	4.85	0.46
8	24	DE NDE	0.44 0.52	0.52 0.55	10.28	0.46
9	15	DE NDE	0.31 0.42	0.31 0.46	5.19	0.46
10	55	DE NDE	1.4 2.1	1.6 2.3	10.26	0.46
				Hasil Nilai Rata Rata Error :	**6.499 %**	

3.5. Hasil Kalibrasi Thermogun

Uji kalibrasi pada parameter Thermogun menggunakan dengan cara membandingkan nilai Thermogun Smart QC dengan Thermogun konvensional yang didapatkan hasil seperti yang disajikan oleh tabel 2.

Tabel 2. Kalibrasi Thermogun SMART QC

No	Kapasitas Motor (kW)	Suhu Smart QC (°C)	Suhu Thermogun (°C)	Nilai Gain	Error (%)
1	7.5	43.4	43.9	- 2.40	1.14
2	0.75	31.2	31.7	- 2.40	1.58
3	45	32.5	32.0	- 2.40	1.56
4	94	30.4	31.2	- 2.40	2.56
5	110	33.1	32.0	- 2.40	3.44
6	5.5	32.1	33.4	- 2.40	3.89
7	11	40.7	41.0	- 2.40	0.73
8	24	38.9	39.2	- 2.40	0.77
9	15	46.7	46.5	- 2.40	0.43
10	55	32.9	32.4	- 2.40	1.54
			Hasil Nilai Rata Rata Error :		1.76 %

3.6. Hasil Kalibrasi Tachometer

Pengujian kalibrasi pada parameter Tachometer Smart QC melibatkan Tachometer konvensional untuk membandingkan nilai selisih yang dihasilkan kedua parameter Tachometer tersebut seperti yang ditujukan pada tabel 3.

Tabel 3. Kalibrasi Tachometer SMART QC

No	Kapasitas Motor (kW)	Sistem Smart QC (RPM)	Tachometer (RPM)	Nilai Gain	Error (%)
1	7.5	2993	2997	1.00	0.13
2	0.75	1440	1438	1.00	0.14
3	45	2998	2993	1.00	0.17
4	94	591	584	1.00	1.20
5	110	1495	1498	1.00	0.20
6	5.5	2991	2996	1.00	0.17
7	11	2884	2881	1.00	0.10
8	24	1492	1478	1.00	0.95
9	15	2984	2991	1.00	0.23
10	55	1485	1478	1.00	0.47
			Hasil Nilai Rata Rata Error :		0.37 %

3.7. Hasil Kalibrasi Sound Level Meter

Pada uji kalibrasi parameter sound level meter dengan melibatkan sensor sound level meter konvensional dengan cara membandingkan kedua nilai sistem parameter tersebut seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Kalibrasi Sound Level Meter SMART QC

No	Kapasitas Motor (kW)	Kebisingan Smart QC (dB)	Kebisingan SLM (dB)	Nilai Gain	Error (%)
1	7.5	75	78	20.00	3.85
2	0.75	69	72	20.00	4.17
3	45	76	78	20.00	2.56
4	94	78	76	20.00	2.63
5	110	82	82	20.00	0.00
6	5.5	65	60	20.00	8.33
7	11	75	78	20.00	3.85
8	24	68	71	20.00	4.23
9	15	94	80	20.00	17.50
10	55	68	73	20.00	6.85
			Hasil Nilai Rata Rata Error:		5.40 %

3.8. Hasil Uji Kalibrasi SMART QC

Berdasarkan hasil pengujian kalibrasi parameter seperti pada tabel 5, parameter Thermogun SMART QC memperoleh nilai Error sebesar 1.76 % dengan akurasi 98.23 %, parameter Vibrasimeter SMART QC memperoleh nilai Error sebesar 6.49 % dengan akurasi 94.02 %, parameter Tachometer SMART QC memperoleh nilai Error sebesar 0.37 % dengan akurasi 99.63 %, dan parameter Sound Level Meter Smart QC memperoleh nilai Error sebesar 5.40 % dengan akurasi 94.60 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pembacaan parameter SMART QC memiliki error yang relatif kecil terhadap parameter konvensional sehingga hasil pembacaan parameter SMART QC masih dalam kategori ideal digunakan dalam pengujian motor induksi *running test* tanpa beban.

Tabel 5. Hasil Uji Parameter SMART QC

No	Parameter	Nilai Error	Nilai Akurasi
1	Suhu	1.76 %	98.23 %
2	Vibrasi	6.499 %	94.02 %
3	RPM	0.37 %	99.63 %
4	Kebisingan	5.40 %	94.60 %

Setelah mendapatkan keempat nilai akurasi masing-masing parameter tersebut dihitung untuk mengetahui tingkat akurasi sistem SMART QC secara keseluruhan. Perhitungan akurasi keseluruhan sistem dilakukan menggunakan rata-rata dari seluruh nilai akurasi parameter yang telah diperoleh sebelumnya dengan persamaan matematis sebagai berikut :

$$Akurasi\ sistem = \frac{98.23 + 94.02 + 99.63 + 94.60}{4}$$
$$Akurasi\ Sistem = 96.62\ \% \quad (1)$$

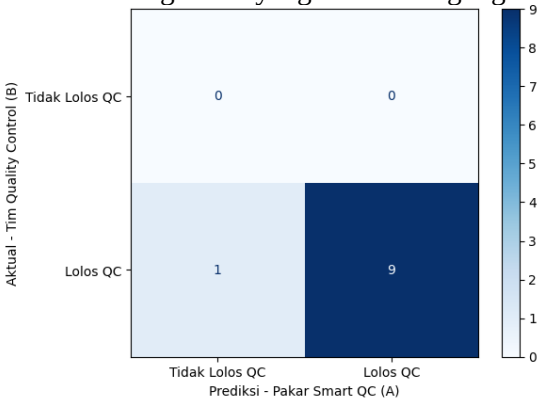
Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata akurasi dari seluruh parameter diperoleh nilai akurasi sistem sebesar 96.62 %. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem SMART QC mampu melakukan monitoring kondisi motor induksi dengan tingkat akurasi yang baik dengan menggunakan pembacaan parameter yang terintegrasi.

3.9. Hasil Analisis Pakar

Berdasarkan hasil pengujian pakar yang telah dilakukan, diperoleh nilai *True Positive* (TP) sebanyak 9 data karena terdapat 9 sampel pengujian yang menghasilkan keputusan lolos *quality control* baik pada Smart QC (A) maupun Tim *Quality Control* (B). Sedangkan nilai *False Negative* (FN) didapat sebanyak 1 data karena pada sampel ke 9 dengan kapasitas motor induksi 15 kW, SMART QC (A) mendeteksi motor tidak lolos *quality control* akibat nilai kebisingan yang tinggi, sedangkan Tim *Quality Control* (B) masih menyatakan motor lolos *quality control*, sehingga didapatkan hasil gambar 10 dan persamaan confusion matrix sebagai berikut :

$$\text{Confusion Matrix} = \begin{bmatrix} 9 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dengan hasil confusion matrix berbentuk gambar yang dihasilkan google colabs sebagai berikut :



Gambar 10. Hasil Confusion Matrix

Berdasarkan hasil pengujian confusion matrix diperoleh nilai *True Positive* (TP) sebanyak 9 data, *False Negative* (FN) sebanyak 1 data, serta tidak ditemukan nilai *False Positive* (FP) dan *True Negative* (TN). Nilai hasil tersebut menunjukkan bahwa keputusan pakar yang dihasilkan sistem SMART QC (A) sudah sesuai dengan keputusan aktual dari Tim *Quality Control* (B). pada sampel ke 9 dengan pengujian *No Load Running Test* dengan kapasitas motor induksi sebesar 15 kW dimana sistem Smart QC (A) mendeteksi kondisi motor induksi tidak lolos quality control dikarenakan nilai kebisingan sebesar 94 dB yang terdeteksi tidak ideal oleh sistem pakar. Namun pada hasil keputusan Tim Quality Control (B), pengujian No Load Running Test motor induksi masih dinyatakan lolos *quality control* karena kebisingan yang dihasilkan oleh sistem SMART QC dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pengujian yang ada di workshop PT Omega Teknik Indonesia. Setelah nilai confusion matrix diperoleh, tahap selanjutnya dilakukan perhitungan akurasi sistem menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Pakar} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}} = \frac{9 + 0}{9 + 0 + 0 + 1} \times 100\% = 90\% \quad (3)$$

Hasil perhitungan akurasi pakar SMART QC menunjukkan bahwa hasil sistem SMART QC (A) memperoleh tingkat akurasi pakar sebesar 90% terhadap keputusan Tim *Quality Control* (B). Nilai akurasi tersebut menunjukkan bahwa sistem SMART QC yang telah dirancang sudah mampu melakukan monitoring beserta diagnosis berdasarkan ISO 237 dan IEC 60034, serta berhasil melakukan pengambilan keputusan quality control dengan hasil yang mendekati keputusan tim *quality control* (B). Faktor hasil menjadi tidak sesuai pada satu sampel pengujian ke 9 dipengaruhi oleh noise lingkungan pada area running test yang ada di workshop PT Omega Teknik Indonesia, sehingga Parameter Sound Level Meter SMART QC membaca intensitas suara dari lingkungan workshop sekitar, bukan sepenuhnya berasal dari noise yang dihasilkan oleh motor induksi. Oleh karena itu, diperlukan area pengujian no load running test dengan intensitas kebisingan lingkungan yang lebih terkontrol agar proses pembacaan parameter dapat bekerja lebih maksimal dan hasil monitoring sistem SMART QC menjadi lebih akurat.

4. KESIMPULAN

Dalam perancangan sistem SMART QC berbasis *Internet of Things* berhasil dirancang dengan baik sehingga mendapatkan nilai kalibrasi dengan tingkat akurasi yang ideal digunakan dalam pengujian running test tanpa beban. Hasil pengujian kalibrasi menunjukan perancangan Vibrasimeter menggunakan sensor ADXL345 pada pengukuran vibrasi (mm/s) menghasilkan tingkat akurasi sebesar 94,02%, Thermogun yang dirancang menggunakan sensor MLX90614 pada pengukuran suhu (°C) memperoleh nilai akurasi sebesar 98,23%, Tachometer yang telah dirancang menggunakan sensor laser receiver pada pengukuran kecepatan putar motor induksi (RPM) mendapatkan akurasi sebesar 99,63%, sedangkan Sound level Meter yang menggungakan sensor INMP441 pada pengukuran kebisingan (dB) memperoleh tingkat akurasi sebesar 94,60%, dengan jumlah perhitungan rata rata akurasi keseluruhan parameter SMART QC sebesar 96.62 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem parameter terintegrasi mampu melakukan pembacaan nilai parameter dengan nilai error yang kecil dan tingkat pembacaan akurasi yang tinggi, sehingga layak digunakan dalam proses *quality control* pengujian *running test* tanpa beban motor induksi *rewinding*.

Pada sistem pakar berbasis *rule-based expert system* menggunakan metode *forward chaining* berhasil diterapkan untuk melakukan diagnosis kondisi motor induksi sesuai standar ISO 2372, IEC 60034-1, dan IEC 60034-9. Berdasarkan hasil pengujian analisis hasil uji pakar menggunakan *confusion matrix* terhadap 10 sampel motor induksi dengan kapasitas kW yang berbeda beda, sistem pakar pada SMART QC memperoleh tingkat akurasi diagnosis sebesar 90%, sehingga sistem mampu membantu tim *quality control* dalam menentukan keputusan kondisi motor dan memberikan rekomendasi tindakan terhadap *tim rewinding* dan *tim mekanik* secara otomatis.

Dalam penerapan sistem SMART QC pada industri *rewinding* terutama berlokasi penelitian di PT Omega Teknik Indonesia berhasil memberikan dampak yang baik terhadap proses *quality control* pada pengujian *running test* tanpa beban, terutama dalam mempermudah monitoring parameter pengujian secara *real-time*, mengurangi potensi kesalahan saat mendiagnosis motor induksi, meningkatkan efisiensi proses pengujian menggunakan parameter yang terintegrasi, penyimpanan arsip data pengujian motor induksi berbentuk *database local* yang tersimpan dalam bentuk PDF, serta membantu meningkatkan keselamatan kerja teknisi tim *quality control* karena proses monitoring dapat dilakukan dari jarak yang lebih aman.

5. SARAN

Untuk mendukung keberlanjutan pada pengembangan kedepannya. Maka, peneliti memberikan beberapa saran pengembangan penelitian ini guna dikaji lebih lanjut, sebagai berikut :

a. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan parameter metering kelistrikan seperti tegangan (Volt), arus (Ampere), frekuensi (Hz), dan daya (kW) pada pengujian running test motor induksi tanpa

beban. Penambahan parameter tersebut dapat membantu memberikan gambaran kondisi motor induksi dalam proses running test tanpa beban yang lebih lengkap.

b. Pada proses pengambilan data vibrasimeter, dapat ditambahkan analisa vibrasi menggunakan FFT (Fast Fourier Transform) guna melihat hasil vibrasi motor induksi yang lebih spesifik.
c. Pada pengembangan selanjutnya, desain mekanik SMART QC diharapkan dapat dibuat lebih slim dan ringkas sehingga sistem SMART QC lebih mudah dibawa pada saat pengujian *running test* tanpa beban baik workshop maupun pada saat on site.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] TechSci Research, *Indonesia Electric Motors Market By Type, By Voltage Rating, By End User, By Region, Competition Forecast & Opportunities, 2028*, TechSci Research, 2023.

[2] N. Soedjarwanto, J. Prayoga, and A. Arifin, "Analisis perbandingan temperature winding pada motor separator area raw mill dan cement mill di PT Semen Baturaja Tbk," *JITET*, vol. 13, no. 1, pp. 98–, Jan. 2025.

[3] L. Sartika, A. M. Prasetia, B. Setiawan, and T. Widodo, "Rewinding of 3 phase induction motor double speed," *Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 9, no. 2, pp. 139–148, Dec. 2024.

[4] R. Amri and I. A. Darmawan, "Pengujian standar mutu pada perbaikan motor traksi 130 kW PT. Pindad (Persero) Bandung," Prosiding SENDIKFI, vol. 3, no. 1, p. 415, 2020.

[5] N. Y. Yana, Evaluasi Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa Setelah Rewinding di PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju, Skripsi, Universitas Sriwijaya, 2020.

[6] D. Meidiasha, M. Rif'an, and M. Subekti, "Alat pengukur getaran, suara dan suhu motor induksi tiga fasa sebagai indikasi kerusakan berbasis Arduino," 2019.

[7] Hartono et al., "IoT-Based vibration analysis for induction motor damage monitoring," Jurnal Pamator, vol. 18, no. 4a, pp. 836–844, 2025.

[8] I. G. W. Artana, W. G. Ariastina, and I. N. S. Kumara, "Rancang bangun sistem pemantau suhu bearing motor untuk pompa sirkulasi air berbasis IoT," Jurnal SPEKTRUM, vol. 9, no. 2, pp. 1–10, 2022.

[9] A. Fitriyanto and M. C. Fuad, "Rancang bangun smart single phase motor rewinding test result untuk praktikum perawatan dan perbaikan mesin listrik," Indonesian Journal of Laboratory, vol. 6, no. 2, pp. 114–121, 2023.

[10] S. M. Yoo, H. G. Lee, W. K. Hao, and I. S. Lee, "Induction motor fault diagnosis using low-cost MEMS acoustic sensors and multilayer neural networks," Applied Sciences, vol. 15, 2025.