

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin berputar (*rotating machinery*) merupakan komponen yang banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, seperti motor listrik, pompa, kipas, generator, dan kompresor. Keandalan mesin berputar sangat menentukan kelangsungan proses produksi, sehingga kerusakan yang terjadi dapat menyebabkan terhentinya operasi, menurunnya produktivitas, serta berkurangnya daya saing perusahaan. Selain itu, biaya perawatan mesin dalam industri modern tergolong tinggi, yaitu dapat mencapai 15% hingga 60% dari total biaya produksi, bahkan pada industri berat dapat mencapai sekitar 50% dari total biaya produksi (Romanssini, de Aguirre, Compassi-Severo, & Girardi, 2023).

Kerusakan pada mesin berputar umumnya disebabkan oleh pengoperasian yang berlangsung secara terus-menerus dan adanya beban berulang selama masa pemakaian. Proses tersebut mengakibatkan keausan bertahap pada komponen mesin, seperti pada *bearing*, rotor, dan stator yang pada akhirnya meningkatkan risiko terjadinya kegagalan sistem. Seiring dengan meningkatnya tuntutan industri terhadap efisiensi energi dan penurunan biaya operasional, perhatian terhadap metode pemeliharaan yang mampu mendeteksi potensi kerusakan sejak dini menjadi semakin penting. Pemantauan kondisi mesin secara rutin dan deteksi dini kerusakan merupakan langkah strategis untuk mencegah kerugian besar, mengurangi waktu henti tak terduga, serta memperpanjang umur pakai motor induksi (Garcia-Calva, Morinigo-Sotelo, Fernandez-Cavero, & Romero-Troncoso, 2022).

Salah satu metode yang umum digunakan dalam analisis kondisi dan deteksi kerusakan pada motor induksi adalah pemantauan getaran menggunakan sensor *accelerometer*. Getaran merupakan indikator penting karena perubahan karakteristik getaran dapat mencerminkan adanya ketidakseimbangan, keausan, maupun kerusakan pada komponen mesin. Pemantauan vibrasi secara berkala maupun berkelanjutan menjadi bagian dari penerapan pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*) yang efektif, sehingga potensi kegagalan sistem yang lebih serius dapat dihindari (Das, Das, & Birant, 2023).

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem pemantauan yang mampu mengamati kondisi getaran motor kompresor secara *real time*. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem pemantauan getaran motor kompresor berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dengan memanfaatkan sensor *accelerometer* dan modul pemantauan getaran. Sistem yang



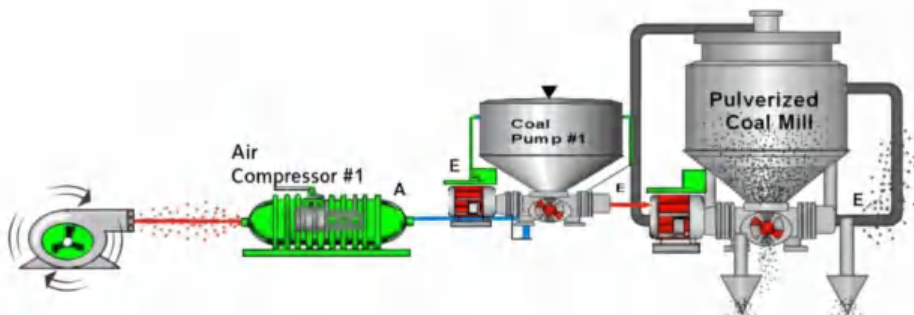
untuk mengakuisisi, memproses, dan menampilkan data a *real time* sehingga potensi kerusakan dapat terdeteksi sejak ian, sistem ini diharapkan mampu mendukung penerapan if dan meningkatkan keandalan serta kontinuitas operasi motor

1.2 Landasan Teori

Penelitian ini didasarkan pada beberapa konsep dan teori yang relevan, yang dijelaskan sebagai berikut.

1.2.1 Alur Kerja *Coalmill*

Coalmill berperan untuk mengolah batubara sebelum digunakan sebagai bahan bakar dalam proses produksi. Fungsi utama *coalmill* adalah memperkecil ukuran batubara serta menurunkan kadar kelembaban agar batubara memiliki karakteristik yang sesuai untuk proses pembakaran. Batubara yang masuk ke sistem *coalmill* umumnya memiliki ukuran awal sekitar 30 mm, kemudian melalui proses penggilingan hingga mencapai ukuran partikel halus sekitar 90 mikron. Selain memperkecil ukuran, proses ini juga bertujuan mengurangi kadar kelembaban batubara, dari sekitar 10% menjadi 5%. Hasil akhir berupa bubuk didistribusikan ke tungku tanur pengering (*dryer*) dan tanur pereduksi (*reduction kiln*) sebagai sumber bahan bakar.



Gambar 1. Alur Kerja *Coalmill*

Sistem *coalmill* terdiri dari beberapa peralatan utama yang saling terintegrasi, yaitu motor *lube pump*, kompresor, *coal pump*, dan *pulverized coal system*. Setiap peralatan memiliki fungsi spesifik dan berperan penting dalam menjaga kelangsungan proses pengolahan batubara. Pengoperasian sistem *coalmill* diawali dengan pengaktifan motor *lube pump* yang berfungsi menggerakkan pompa pelumasan. Pompa ini mendistribusikan oli pelumas ke *bearing* dan komponen berputar pada peralatan utama sistem, seperti motor penggerak dan kompresor. Setelah tekanan oli mencapai batas aman, sistem dianggap siap untuk melanjutkan proses berikutnya.

Pada kondisi tersebut, motor kompresor dioperasikan untuk menghasilkan udara bertekanan. Udara ini digunakan sebagai media pendukung transportasi dan membantu proses pembakaran. Pengoperasian kompresor dan pelumasan aktif agar seluruh bagian mekanis tetap berada dalam proses kompresi berlangsung. Selanjutnya, ketika suplai oli telah tersedia, *coal pump* mulai dioperasikan untuk mendorong batubara ke proses penggilingan menuju jalur distribusi. *Coal pump* bekerja secara

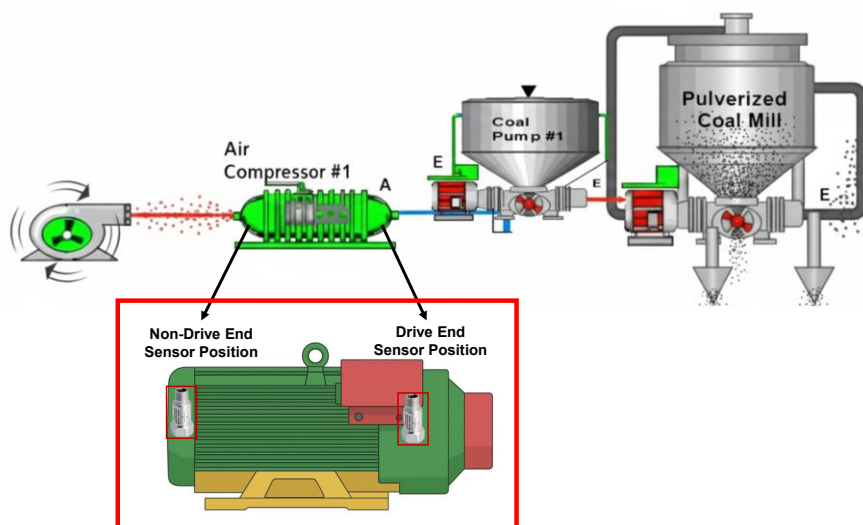


kontinu untuk memastikan aliran batubara menuju unit pembakaran berjalan stabil dan sesuai dengan kebutuhan proses.

Pada bagian akhir rangkaian sistem, *pulverized coal system* berfungsi memastikan batubara yang telah digiling dan dikeringkan dapat dialirkan dengan baik menuju unit pembakaran. Batubara yang dihasilkan oleh coalmill selanjutnya akan didistribusikan ke tungku tanur pengering (*dryer*) dan tanur pereduksi (*reduction kiln*), di mana material tersebut dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar utama untuk mendukung proses pemanasan dan reaksi reduksi secara berkelanjutan.

1.2.2 Motor Kompresor

Kompresor pada sistem *coalmill* berfungsi menyediakan udara bertekanan untuk proses penggilingan dan pengeringan batubara. Udara bertekanan ini berfungsi sebagai media transportasi batubara halus sekaligus membantu proses pengeringan sehingga kadar kelembaban batubara dapat diturunkan sebelum dialirkan ke unit pembakaran. Kompresor ini menggunakan *3 Phase Induction Motor* yang dimana sekitar 90% peralatan industri di seluruh dunia menggunakan motor jenis ini sebagai penggerak utama yang menunjukkan betapa vitalnya peran motor induksi dalam operasi industri (Burgos-Payan, Semiao, Roldan-Fernandez, & Paramo-Balsa, 2025). Keandalan operasi kompresor sangat menentukan kestabilan keseluruhan sistem *coalmill*, karena gangguan pada suplai udara bertekanan dapat berdampak langsung pada seluruh proses kerja di *coalmill*.



Gambar 2. Motor Kompresor *Coalmill*



perasian, motor induksi dapat mengalami berbagai jenis kerusakan yang disebabkan oleh faktor mekanis maupun elektrik. Kerusakan dapat berupa keausan *bearing*, ketidakseimbangan rotor, maupun masalah pada kopling, sedangkan kerusakan elektrik terjadi pada stator atau rotor. Setiap jenis kerusakan tersebut akan memiliki karakteristik tersendiri pada perilaku motor, yang dapat diamati melalui

perubahan pada parameter operasi seperti getaran, kecepatan putar poros, arus listrik, dan temperatur. Oleh karena itu, deteksi dini terhadap perubahan karakteristik operasi motor menjadi sangat penting untuk mencegah terjadinya kegagalan yang lebih serius.

Motor induksi terdiri dari dua ujung utama yaitu *Drive End* (DE) dan *Non-Drive End* (NDE). *Drive End* (DE) sisi motor yang terhubung langsung dengan beban kompresor melalui kopling, sehingga area ini sangat dipengaruhi oleh interaksi antara motor dan beban dan *Non-Drive End* (NDE) merupakan sisi yang biasanya menampung *bearing* sisi belakang dan tidak terhubung langsung dengan beban. Pemantauan getaran di kedua titik ini sangat penting karena masing-masing dapat memberikan gambaran kondisi mesin dari sudut yang berbeda. DE lebih sensitif terhadap interaksi beban dan kopling, sementara NDE mencerminkan resonansi struktur serta kondisi *bearing* non-penggerak.

1.2.3 Sensor Getaran

Sensor getaran merupakan perangkat yang berfungsi mengubah getaran mekanik menjadi sinyal yang dapat diproses, umumnya dalam bentuk sinyal listrik, sehingga menjadi komponen utama dalam teknologi pengukuran getaran. Penelitian dan pengembangan sensor getaran telah dimulai sejak tahun 1920-an, ketika McCollum dan Peters pertama kali mengomersialkan sensor getaran tipe jembatan resistansi yang dikenal sebagai akselerometer. Selanjutnya, pengembangan akselerometer berbasis *strain gauge* memperluas rentang kerja sensor getaran hingga mencapai ± 500 g dengan frekuensi alami sekitar 4500 Hz. Namun, sensor-sensor mekanik-elektrik awal ini memiliki keterbatasan, seperti rasio *signal-to-noise* yang rendah, frekuensi resonansi yang terbatas, kerentanan terhadap kerusakan mekanis, serta kestabilan temperatur yang kurang baik (Ma, Li, Yang, & Wang, 2025).

Sensor getaran merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur getaran mekanik yang terjadi pada suatu sistem atau peralatan berputar, seperti motor listrik, pompa, kipas, dan kompresor. Getaran yang muncul pada peralatan tersebut umumnya dihasilkan akibat interaksi antara komponen mekanik yang berputar, adanya ketidakseimbangan, keausan, atau gangguan pada sistem. Secara umum terdapat 3 jenis sensor getaran berdasarkan cara instalasinya:

1. *Eddy Current Probe*

getaran relatif antar poros (*shaft*) dan *bearing*. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip arus eddy, di mana perubahan jarak antara ujung sensor dan permukaan logam poros menghasilkan variasi tegangan yang merepresentasikan pergerakan atau getaran poros (*shaft*). Sensor jenis ini digunakan untuk masalah seperti *unbalance*, *shaft misalignment*, *shaft rub* karena beberapa besar poros bergerak terhadap posisi *bearing*nya frekuensi < 10 Hz.

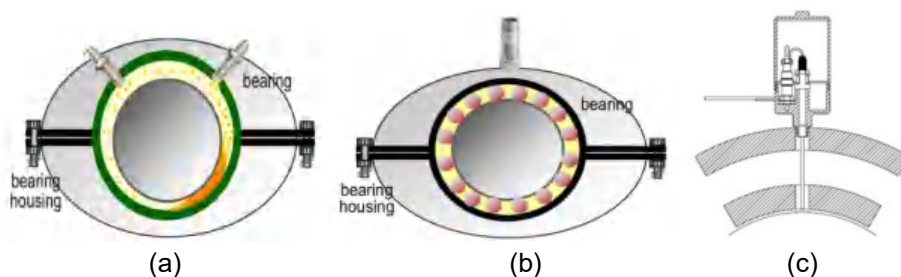


berfungsi untuk mengukur getaran pada *casing* atau *bearing* ini dipasang langsung pada di *bearing housing* atau *casing*

mesin, langsung ditempelkan dengan dengan metode *stud*, *adhesive*, atau magnet dengan *range* frekuensi 10 Hz – 1 kHz. Hasil pengukuran dari *accelerometer* memberikan informasi mengenai kondisi umum mesin, termasuk getaran yang dihasilkan oleh ketidakseimbangan rotor ataupun kerusakan *bearing*.


3. Eddy Current Probe & Accelerometer

Kombinasi antara *Eddy Current Probe* dan *Accelerometer* digunakan untuk mengukur getaran absolut pada poros (*shaft*) terhadap ruang bebas. Dalam instalasinya, kedua sensor ini dipasang pada lokasi dan orientasi yang sama, di mana sinyal dari *eddy current* dijumlahkan dengan sinyal *accelerometer*. Dengan metode ini, diperoleh nilai getaran absolut poros yang memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi dinamis mesin (Rockwell Automation, 2019).



Gambar 3. Posisi (a) Instalasi *Eddy Current Probe* (b) Instalasi *Accelerometer* (c) Instalasi *Eddy Current Probe & Accelerometer*.

Pemilihan sensor getaran pada penelitian ini didasarkan pada karakteristik mekanis motor kompresor yang digunakan, khususnya kecepatan putar motor dan rentang frekuensi getaran yang dihasilkan. Mengacu pada spesifikasi motor yang digunakan yang mengacu pada spesifikasi vendor, motor induksi yang digunakan memiliki kecepatan nominal sebesar 1485 rpm.



GLOBAL MAX			
PREMIUM EFFICIENCY SEVERE DUTY			
NEMA Premium			
HP/kW	350	TYPE	AFHP-WT
Hz	50	CAT. NO.	CD1807
VOLTS	3300	FRAME	5011C
AMPS	55.9	ENCL.	TEFC
R. P. M.	1485	RATING	CONT.
CODE	H	INS.	F
S. F.	1.15	PHASE	3
NOM. EFF.	95.0	AMBIENT	40 °C
MIN. EFF.	94.1	WEIGHT	4350 lb
DESIGN	B	DE BRG	NU324C3
SER. NO.		ODE BRG	6320C3
PWN VFD	VT	CT	CP
DUTY	Hz	Hz	Hz
MEETS MOST RELEVANT FEATURES OF IEEE841			
TECO@Westinghouse			
MOTOR COMPANY ROUND ROCK, TEXAS			

MADE IN TAIWAN 3A045M1B80002

Gambar 4. Spesifikasi Motor Kompresor.

Berdasarkan nilai tersebut, frekuensi mekanis dasar yang dihasilkan oleh motor saat beroperasi dalam kondisi normal dapat dihitung menggunakan persamaan (Chu, Nguyen, Yoo, & Wang, 2024):

$$f_{mech} = \frac{RPM}{60} \quad (1)$$

$$f_{mech} = \frac{1485}{60}$$

$$f_{mech} = 24.75 \text{ Hz}$$

Nilai frekuensi mekanis sebesar 24,75 Hz menunjukkan bahwa getaran dominan yang dihasilkan motor berada pada frekuensi rendah hingga menengah. Berdasarkan klasifikasi rentang frekuensi getaran, frekuensi tersebut termasuk dalam rentang 10 Hz hingga 1 kHz, yang umumnya berkaitan dengan fenomena mekanis seperti *unbalance*, *misalignment*, *mechanical looseness*, serta *structural resonance*. Gangguan-gangguan tersebut merupakan jenis kerusakan yang sering terjadi pada motor induksi dan mesin berputar yang beroperasi secara kontinu.

Mengacu pada standar ISO 13373-3:2015 tentang pemantauan kondisi dan diagnosis mesin berputar, untuk rentang frekuensi tersebut direkomendasikan penggunaan *accelerometer* sebagai sensor getaran yang sesuai (International Organization for Standardization, 2015). Dalam penelitian ini, sensor *accelerometer* dipilih karena memiliki rentang frekuensi yang lebih luas, sensitivitas tinggi, serta kemampuan untuk mendeteksi perubahan getaran secara cepat dan akurat. Selain itu, *accelerometer* lebih fleksibel dalam pemasangan dan kompatibel dengan sistem pemantauan berbasis PLC serta modul pemantauan getaran yang digunakan.

1.2.4 Dynamix 1444

Dynamix 1444 merupakan modul pengukuran dan pemantauan kondisi mesin yang dirancang untuk mendukung sistem *condition monitoring* pada mesin berputar. Modul ini digunakan untuk mendeteksi dan mengukur parameter getaran secara *real time*, sehingga memungkinkan pemantauan kondisi operasional mesin secara berkelanjutan. Dynamix 1444 banyak diaplikasikan pada sistem pemantauan getaran dan perlindungan mesin berputar seperti motor, pompa, kipas, dan kompresor di berbagai sektor industri.

Dalam implementasinya, Dynamix 1444 bekerja sebagai bagian dari sistem *condition monitoring* yang terintegrasi dengan sistem kontrol industri, khususnya *Programmable Logic Controller* (PLC) dari Allen Bradley-Rockwell Automation. Modul ini menerima sinyal dari sensor getaran, seperti *accelerometer* atau *eddy current probe*, yang kemudian diproses untuk menghasilkan nilai parameter getaran yang difigurasi pengukuran. Data hasil pengukuran selanjutnya melalui jaringan komunikasi industri untuk diproses lebih lanjut di *Human Machine Interface* (HMI). Integrasi ini memungkinkan pemantau kondisi mesin secara langsung serta melakukan tindakan berbasis data kondisi aktual mesin.





Gambar 5. Modul Utama Dynamix 1444.
Sumber: (Rockwell Automation, 2018).

Modul Dynamix 1444 tidak hanya terdiri dari modul utama, tetapi juga dilengkapi dengan beberapa modul ekspansi yang berfungsi untuk memperluas kemampuan sistem sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Modul utama yang digunakan adalah Dynamix 1444-DYN04-01RA, yang berperan sebagai pusat pemrosesan data getaran dan pengelolaan konfigurasi sistem. Untuk mendukung fungsionalitas tambahan, modul utama ini dapat dihubungkan dengan beberapa *expansion module*, antara lain:

1. *Analog Output Expansion Module*

Analog Output Expansion Module (1444-AOFX00 04RB) yang digunakan sebagai keluaran yang menghasilkan sinyal analog 4-20 mA. Sinyal ini mempresentasikan nilai pengukuran yang diperoleh dari modul utama Dynamix 1444 (1444-DYN04 01RA), sehingga dapat digunakan untuk mengirimkan hasil pengukuran secara *real time* ke HMI.

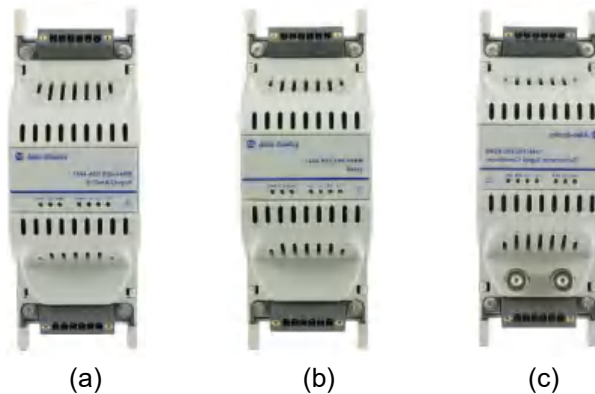
2. *Relay Expansion Module*

Relay Expansion Module (1444-RELX00-04RB) digunakan sebagai keluaran untuk memberikan sinyal alarm atau menjalankan tindakan proteksi otomatis apabila nilai getaran melebihi batas yang telah ditentukan.

3. *Tachometer Signal Conditioner Expansion Module*

Tachometer Signal Conditioner Expansion Module (1444-TSCX02-02RB) berfungsi membaca sinyal dari sensor berupa kecepatan mesin dan mengubahnya menjadi sinyal digital *once per revolution* untuk menentukan putaran (RPM). Modul ini membantu analisis getaran berbasis mikrokontroler yang dikendalikan langsung oleh modul utama (1444 DYN04-01RA) dan konfigurasi (Rockwell Automation, 2018).





Gambar 6. (a) *Analog Expansion Module* (b) *Relay Expansion Module* (c) *Tachometer Expansion Module*.

Sumber: (Rockwell Automation, 2018).

Pada sistem ini digunakan modul utama Dynamix 1444 dan *Analog Output Expansion Module* untuk memproses dan mengirimkan hasil pembacaan sensor *accelerometer*. Sinyal getaran yang dihasilkan oleh sensor *accelerometer* diterima dan diolah oleh modul utama Dynamix 1444, kemudian nilai pengukuran tersebut diteruskan melalui *Analog Output Expansion Module* dalam bentuk sinyal analog. Dengan konfigurasi ini, nilai getaran pada motor kompresor dapat dipantau dan ditampilkan secara *real time*, sehingga kondisi operasi mesin dapat diketahui secara langsung.

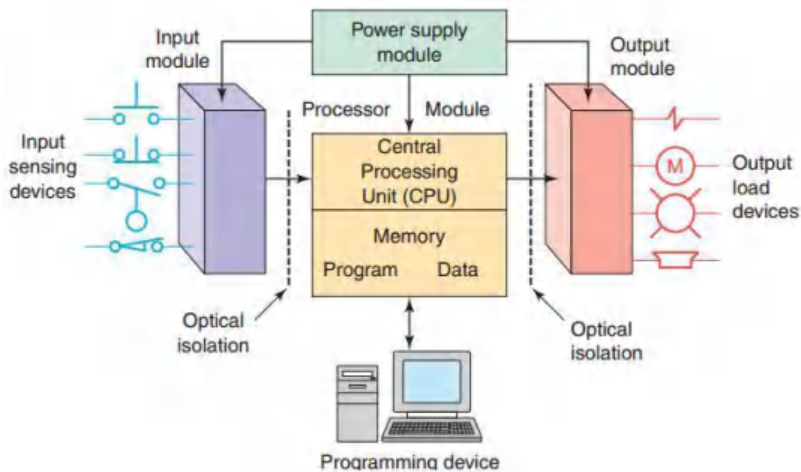
1.2.5 *Programmable Logic Controller*

Perkembangan manufaktur produk telah mengalami berbagai tahapan, mulai dari otomatisasi, produksi massal, hingga globalisasi. Dalam menghadapi masa depan, sektor produksi dan manufaktur diperkirakan akan dipengaruhi oleh dua kecenderungan utama. Kecenderungan pertama adalah adanya dorongan dari konsep *Smart Manufacturing* yang menuntut sistem produksi menjadi lebih cerdas, fleksibel, dan terintegrasi secara digital. Kecenderungan kedua berasal dari realitas berkurangnya jumlah tenaga kerja, sehingga industri dituntut untuk mengandalkan sistem otomasi guna menjaga produktivitas dan efisiensi.

Dalam kondisi tersebut, *Programmable Logic Controller* (PLC) hingga saat ini masih dianggap sebagai pilihan terbaik dalam penerapan otomasi industri. *Programmable Logic Controller* (PLC) adalah sebuah komputer industri yang mengendalikan proses otomatis, khususnya pada lingkungan kendali industri. PLC menggantikan sistem kontrol berbasis analog memberikan fleksibilitas, kemampuan pemrograman ulang, serta kinerja yang stabil dalam jangka panjang. PLC banyak digunakan dalam sistem otomasi, termasuk pengendalian mesin, pengolahan data, atau penonaktifan aktuator, hingga pemantauan data sensor



PLC bekerja dengan cara membaca sinyal dari perangkat *input* (sensor), memproses logika berdasarkan program yang ditanamkan, dan kemudian menghasilkan sinyal *output* untuk mengendalikan perangkat aktuator atau sistem lain yang terhubung. Arsitektur PLC biasanya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), modul *input/output* (I/O), memori program, serta jalur komunikasi (*communication bus*) yang memungkinkan integrasi dengan perangkat lain seperti HMI, SCADA, atau sistem jaringan industry (Alphonsus & Abdullah, 2016).



Gambar 7. Prinsip Kerja PLC

Sumber: <https://www.anakteknik.co.id/property/8763/articles/1570/plc2.jpg>

Dalam sistem PLC, modul *input* dan *output* (I/O) berperan sebagai antarmuka antara sistem kendali dengan perangkat lapangan. Berdasarkan jenis sinyal yang ditangani, modul PLC terdiri atas modul digital dan modul analog. Modul digital digunakan untuk menangani sinyal diskrit ON/OFF, seperti status saklar, sensor *proximity*, dan pengendalian *relay* atau kontaktor. Sementara itu, modul analog digunakan untuk menangani sinyal kontinu yang merepresentasikan besaran fisik tertentu, seperti tegangan atau arus.

Berdasarkan modul yang digunakan pada sistem ini, yaitu MicroLogix 1762-IF2OF2, modul tersebut merupakan modul *analog input* dan *analog output* yang memiliki dua kanal *analog input* dan dua kanal *analog output*. Modul ini mendukung sinyal 4–20 mA sehingga memungkinkan PLC membaca data analog dari sensor serta mengirimkan sinyal analog ke perangkat lain atau sistem *monitoring*. Data analog yang diterima akan dikonversi menjadi data digital untuk diproses oleh CPU dan keluaran dikonversi kembali menjadi sinyal analog untuk pemantauan (Rockwell Automation, 2013).



Human Machine Interface

Industri yang kompleks, *Human Machine Interface* (HMI) memiliki peran yang penting karena menyediakan sarana interaksi yang cepat, efektif, dan aman antara manusia dan mesin. HMI berfungsi sebagai antarmuka

visual untuk menampilkan, memantau, serta merekam data yang dikumpulkan dan diproses oleh *Programmable Logic Controller* (PLC), sehingga operator dapat memahami kondisi sistem secara menyeluruh. HMI berfungsi sebagai media utama yang menghubungkan manusia dengan sistem otomatis, sehingga memungkinkan operator untuk memahami kondisi sistem, memantau kinerja mesin, serta melakukan pengendalian secara efektif. Oleh karena itu, sistem HMI modern dituntut untuk mampu menyediakan interaksi yang cepat, intuitif, dan alami agar operator dapat merespons perubahan kondisi operasi dengan tepat dan efisien (Hofmann, Kreitlein, Franke, & Bründl, 2025).



Gambar 8. Tampilan *Human Machine Interface*

Sumber: <https://www.reylenferna.com/wp-content/uploads/2019/06/HMI-Software.jpg>

Pada sistem pemantauan getaran ini, tampilan HMI tidak hanya menyajikan nilai getaran aktual motor kompresor secara *real time*, tetapi juga dilengkapi dengan indikator alarm yang berfungsi sebagai peringatan dini. Indikator alarm ini akan aktif ketika nilai getaran mendekati atau melebihi batas ambang yang telah ditentukan. Keberadaan alarm tersebut membantu operator dalam mengidentifikasi peningkatan getaran yang berpotensi mengindikasikan adanya ketidakseimbangan, keausan, atau kerusakan pada komponen mesin.

Penentuan batas alarm pada sistem ini mengacu pada referensi *Metric Machinery Vibration Severity Chart* yang dikeluarkan oleh Entek IRD International, di mana nilai *set point* untuk *alarm High* ditetapkan sebesar 7 mm/s, sedangkan alarm sebesar 11 mm/s (Entek IRD International, 2004). Berdasarkan alarm pada HMI dikonfigurasi agar sesuai dengan standar berlaku. Dengan penerapan *set point* ini, sistem pemantauan memberikan peringatan dini terhadap kondisi operasi yang tidak memungkinkan tim operasi melakukan tindakan korektif secara diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem, mengurangi



risiko kerusakan mesin, serta menjaga keselamatan dan kontinuitas operasi motor kompresor.

1.2.7 State of The Art

Berikut ini merupakan penelitian-penelitian yang terkait dengan penelitian yang diajukan dalam sistem instrumentasi pengukuran getaran motor kompresor berbasis PLC :

Tabel 1. *State of the Art.*

Referensi	Masalah yang dibahas	Sensor/ECU yang digunakan	Hasil Penelitian
(O'Kane & Sander, 2000)	<i>Predictive maintenance</i> untuk motor induksi	Sensor suhu, sensor vibrasi, dan mikroprosesor	Mengurangi <i>downtime</i> tak terduga
(Thomson & Fenger, 2020)	Kegagalan motor induksi	Sensor arus	Kerusakan dideteksi dari analisis arus motor
(Nandi, Toliyat, & Li, 2006)	Kesulitan mendeteksi dini kerusakan motor listrik	<i>Review</i> teknik deteksi kerusakan motor, seperti analisis arus motor, getaran dan tegangan	Kerusakan dapat dideteksi secara dini
(Aburakhia, Tayeh, Myers, & Shami, 2022)	Prediksi kerusakan motor terhambat karena kurangnya data	Analisis waktu, FFT, dan STFT	Pendekatan <i>similarity</i> terbukti mampu identifikasi kondisi motor
(Resendiz-ochoa, Osornio-Rios, Benitez-Rangel, Romero-Troncoso, & Morales-Hernandez,	Keterbatasan metode mendeteksi semua kerusakan motor	<i>Infrared camera</i>	<i>Infrared</i> efektif mendeteksi mampu kerusakan tersembunyi



penelitian yang diajukan, yaitu sebagai berikut.

yang membahas pemeliharaan prediktif motor induksi suhu dan getaran berbasis mikrokontroler, fokus penelitian penggabungan beberapa parameter kondisi motor untuk *time* tak terduga, sedangkan penelitian yang diajukan hanya

- memfokuskan pada parameter getaran sebagai indikator utama kondisi motor kompresor.
2. Pada penelitian yang mengkaji deteksi kegagalan motor induksi melalui analisis arus motor, metode yang digunakan berbasis *Motor Current Signature Analysis* (MCSA) tanpa melibatkan pengukuran getaran, sedangkan penelitian yang diajukan menggunakan sensor *accelerometer* untuk mengukur respons getaran mekanis, yang lebih sensitif terhadap gangguan seperti *unbalance*, *misalignment*, dan kerusakan *bearing* pada motor kompresor.
 3. Pada penelitian berupa studi tinjauan terkait teknik deteksi kerusakan motor listrik, penelitian tersebut hanya membahas berbagai metode secara konseptual, seperti analisis arus, getaran, dan tegangan, tanpa implementasi sistem nyata, sedangkan penelitian yang diajukan melakukan perancangan dan implementasi sistem pemantauan getaran secara langsung pada motor kompresor, sehingga menghasilkan sistem yang aplikatif dan siap digunakan.
 4. Pada penelitian yang menerapkan analisis sinyal lanjutan seperti FFT, STFT, atau metode berbasis *machine learning*, penelitian tersebut memerlukan data dalam jumlah besar serta proses komputasi yang relatif kompleks, sedangkan penelitian yang diajukan menggunakan pendekatan pemantauan nilai getaran berbasis standar industri, sehingga sistem lebih sederhana, andal, dan mudah diintegrasikan dengan PLC dan HMI.
 5. Pada penelitian yang menggunakan *infrared camera*, sistem dirancang agar dapat memantau kondisi motor secara real time melalui pengamatan distribusi temperatur. Namun, fokus utama penelitian tersebut masih terbatas pada analisis kondisi termal sebagai indikator adanya kerusakan tersembunyi. Sedangkan pada penelitian yang diajukan, pemantauan dilakukan menggunakan sensor getaran yang terintegrasi dengan modul Dynamix 1444, PLC, dan HMI, sehingga sistem tidak hanya bersifat *real time*, tetapi juga dilengkapi dengan sistem alarm berbasis standar getaran industri untuk mendukung pemeliharaan prediktif secara lebih terstruktur dan aplikatif.
 6. Pada penelitian ini, pemantauan kondisi motor kompresor dilakukan menggunakan sensor *accelerometer* yang terhubung ke modul Dynamix 1444 dan PLC, dengan hasil pengukuran ditampilkan pada HMI serta dilengkapi sistem alarm berdasarkan standar getaran. Pendekatan ini menekankan keandalan sistem, pemantauan *real time*, dan dukungan terhadap pemeliharaan prediktif, yang belum menjadi fokus utama pada penelitian-penelitian terdahulu.

1.3 Rumusan Masalah



latar belakang yang telah dipaparkan, dalam sistem instrumentasi pengukuran getaran motor kompresor, dan masalah sebagai berikut:
 Bagaimana perancangan sistem instrumentasi pengukuran getaran motor kompresor menggunakan PLC menggunakan modul Dynamix 1444 agar mampu memantau getaran secara *real time*?

2. Bagaimana tingkat akurasi sistem pengukuran getaran yang dirancang dibandingkan dengan nilai referensi yang dihasilkan oleh *vibration generator*?
3. Bagaimana pengaruh posisi pemasangan sensor *accelerometer* terhadap akurasi pembacaan getaran dan potensi munculnya *false alarm*?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem instrumentasi pengukuran getaran pada motor kompresor berbasis PLC dengan integrasi modul Dynamix 1444 dan sensor *accelerometer* secara *real time*.
2. Menguji akurasi sistem dalam membaca nilai getaran melalui perbandingan antara pembacaan sensor *accelerometer*, Dynamix 1444, dan tampilan HMI terhadap nilai referensi melalui *vibration generator*.
3. Mengevaluasi sensitivitas sensor *accelerometer* terhadap perbedaan posisi pemasangan sensor *accelerometer* untuk memastikan kualitas data dan mencegah *false alarm* dalam pemantauan secara *real time*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini, meliputi:

1. Memberikan solusi sistem pemantauan getaran secara *real time* yang dapat meningkatkan efektivitas *predictive maintenance* pada motor kompresor.
2. Menjadi referensi teknis dalam implementasi modul Dynamix 1444 dan PLC untuk pemantauan kondisi mesin berputar di industri.
3. Membantu perusahaan mengurangi potensi *downtime* melalui deteksi dini terhadap ketidakseimbangan, keausan, dan kerusakan motor berdasarkan nilai getaran.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Sistem pemantauan getaran yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya menggunakan sensor *accelerometer* dengan parameter utama berupa kecepatan getaran (mm/s), sesuai dengan konfigurasi pada modul Dynamix 1444 tanpa mencakup analisis lanjutan seperti *Fast Fourier Transform*.
2. Pengujian dan validasi sistem dilakukan menggunakan *vibration generator* sebagai sumber getaran acuan serta motor kompresor sebagai objek uji pada kondisi operasi tanpa mempertimbangkan pengaruh variasi beban, temperatur,



rgkungan lainnya.
 ancing hanya berfungsi sebagai sistem pemantauan dan
 getaran berbasis HMI dengan penetapan batas *High* dan *High-*
 mencakup *vibration control*.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2025 hingga September 2025. Seluruh proses penelitian mulai dari perancangan sistem hingga analisis hasil eksperimen dilakukan di Laboratorium *Instrument Engineering Project Services* dan area *Coalmill* PT. Vale Indonesia Tbk.

2.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, digunakan berbagai alat dan bahan yang mendukung proses penelitian, yaitu sebagai berikut.

1. Motor kompresor, digunakan sebagai objek pengujian dalam penelitian untuk dilakukan pemantauan getaran selama proses operasi.
2. Sensor *accelerometer*, digunakan untuk mendeteksi dan mengukur getaran pada motor kompresor.
3. Modul utama Dynamix 1444, digunakan sebagai modul yang mengolah sinyal getaran dari sensor *accelerometer* dan mengonversinya menjadi data yang dapat diproses oleh sistem PLC.
4. *Analog expansion module* Dynamix 1444, digunakan untuk menampilkan parameter pengukuran getaran di HMI.
5. Modul PLC, sebagai pengendali utama yang memproses data hasil pengukuran, menjalankan logika pengendalian, serta mengirimkan data ke HMI.
6. *Power supply*, digunakan sebagai sumber catu daya untuk menyuplai tegangan yang dibutuhkan oleh sensor *accelerometer* dan modul Dynamix 1444.
7. Komputer, digunakan untuk konfigurasi modul Dynamix 1444, pemrograman PLC, serta pengolahan dan analisis data hasil pengujian.
8. *Vibration generator*, digunakan sumber getaran untuk pengujian dan kalibrasi sistem pengukuran getaran.
9. *Loop meter*, digunakan untuk mengukur dan memverifikasi sinyal analog 4-20 mA yang dihasilkan oleh modul Dynamix 1444.
10. Perangkat lunak Studio 5000, digunakan untuk pemrograman dan konfigurasi modul Dynamix 1444.
11. Perangkat lunak RSLogix 500, digunakan untuk pemrograman PLC dan HMI.

2.3 Alur Penelitian



Alur penelitian ini menjelaskan tahapan – tahapan yang dilakukan dalam ari identifikasi permasalahan hingga penarikan kesimpulan. uan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem motor kompresor secara *real time* sebagai upaya deteksi dini asin.

2.3.1 Identifikasi Masalah dan Kebutuhan Sistem

Tahap awal penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan yang terjadi pada motor kompresor karena beroperasi secara kontinu dan berisiko mengalami kerusakan yang sulit dideteksi secara visual. Kerusakan yang tidak terdeteksi secara dini dapat menyebabkan *downtime* tak terduga dan menurunkan keandalan sistem. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan sistem pemantauan kondisi yang mampu mendeteksi kerusakan motor secara dini.

2.3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengkajian berbagai referensi yang berkaitan dengan pemantauan kondisi mesin, teknik deteksi dini kerusakan motor, analisis getaran, sensor *accelerometer*, serta penerapan modul Dynamix 1444 dan PLC dalam sistem pemantauan di industri.

2.3.3 Perancangan dan Konfigurasi Sistem

Tahap ini mencakup perancangan sistem pemantauan getaran motor kompresor yang meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras dilakukan dengan memilih dan mengintegrasikan sensor *accelerometer*, modul utama Dynamix 1444, *analog expansion module* Dynamix 1444, modul PLC, motor kompresor sebagai objek uji termasuk penentuan titik pemasangan sensor, serta perancangan skema pengkabelan. Perancangan perangkat lunak meliputi konfigurasi sensor *accelerometer* dan modul Dynamix 1444, penentuan batas alarm sesuai standar, pemrograman PLC, serta perancangan tampilan *Human Machine Interface* (HMI) untuk menampilkan getaran secara *real time*.

2.3.4 Pemasangan dan Pengujian Sistem

Setelah tahap perancangan dan konfigurasi selesai, dilakukan implementasi sistem yang meliputi pemasangan sensor *accelerometer* pada motor kompresor, pemasangan modul Dynamix 1444 dan modul PLC, serta integrasi seluruh komponen sesuai dengan rancangan sistem. Selanjutnya dilakukan pengujian sistem menggunakan *vibration generator* sebagai sumber getaran terkontrol dan pengujian pada motor kompresor dalam kondisi operasi untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam membaca, memproses, dan menampilkan nilai getaran secara *real time*. Data yang dikumpulkan meliputi nilai getaran hasil pembacaan sistem, respons sistem alarm, serta kestabilan tampilan data pada *Human Machine Interface* (HMI).



valuasi Hasil Pengujian

1 dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem pemantauan bandingkan nilai getaran hasil pembacaan sistem terhadap nilai *vibration generator* guna mengetahui tingkat akurasi dan eror itu, dilakukan evaluasi terhadap kestabilan pembacaan data andalan sistem alarm, serta pengaruh pemasangan sensor dan

konfigurasi modul terhadap kualitas data yang diperoleh untuk menilai kemampuan sistem dalam mendeteksi dini potensi kerusakan motor kompresor.



Optimized using
trial version
www.balesio.com