

**PERANCANGAN SISTEM PERHITUNGAN UNTUK
PENGEMBANGAN MODUL PENGUKURAN NILAI *OVERALL
EQUIPMENT EFFECTIVENESS* SECARA OTOMATIS DAN
REAL-TIME PADA MESIN LAS *METAL INERT GAS* DENGAN
KONSEP *INDUSTRY 4.0*
TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh:

**Nama : Erwin Arga Pratama
No. Mahasiswa : 20525125
NIRM : 2009090073**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

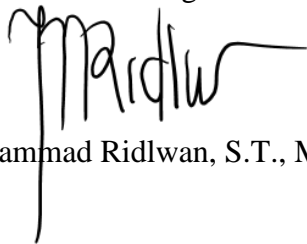
**PERANCANGAN SISTEM PERHITUNGAN UNTUK
PENGEMBANGAN MODUL PENGUKURAN NILAI *OVERALL
EQUIPMENT EFFECTIVENESS* SECARA OTOMATIS DAN
REAL-TIME PADA MESIN LAS *METAL INERT GAS* DENGAN
KONSEP *INDUSTRY 4.0*
TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:

Nama : Erwin Arga Pratama
No. Mahasiswa : 20525125
NIRM : 2009090073

Bandung, 28 Mei 2024

Pembimbing I



Muhammad Ridlwan, S.T., M.T.

Pembimbing II



Dr. Ir. Sri Raharno, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PERANCANGAN SISTEM PERHITUNGAN UNTUK
PENGEMBANGAN MODUL PENGUKURAN NILAI *OVERALL*
EQUIPMENT EFFECTIVENESS SECARA OTOMATIS DAN
REAL-TIME PADA MESIN LAS *METAL INERT GAS* DENGAN
KONSEP *INDUSTRY 4.0*
TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:

Nama : Erwin Arga Pratama
No. Mahasiswa : 20525125
NIRM : 2009090073

Tim Penguji

Muhammad Ridlwan, Ir., S.T., M.T.,
IPP
Ketua



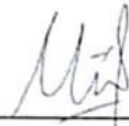
Tanggal : 4-10-2024

Dr. Ir. Sri Raharno, S.T, M.T.
Anggota I



Tanggal : 3-10-2024

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T.,
M.T., IPP
Anggota II



Tanggal : 3-10-2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Erwin Arga Pratama
NIM : 20525125
Program Studi : S1, Teknik Mesin
Institusi : Universitas Islam Indonesia
Judul Laporan : PERANCANGAN SISTEM PERHITUNGAN UNTUK
PENGEMBANGAN MODUL PENGUKURAN NILAI
OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS SECARA
OTOMATIS DAN *REAL-TIME* PADA MESIN LAS METAL
INERT GAS DENGAN KONSEP *INDUSTRY 4.0*

Dengan Ini saya menyatakan, semua yang saya tulis pada Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan atau ringkasan yang saya ambil sebagai referensi dan telah saya cantumkan sumber-sumbernya. Apabila dikemudian hari pengakuan saya terbukti tidak benar, maka saya bersedia mengikuti hukuman atau sanksi yang diberikan sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 4 Oktober 2024



Erwin Arga Pratama

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan nikmat, karunia serta hidayah dan inayah-Nya. Rasa syukur yang tidak terbatas atas petunjuk-Nya untuk bisa membuat dan menyelesaikan tugas ini. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda Rasul Muhammad SAW yang kita nantikan safaatnya.

Saya mempersembahkan karya ini untuk:

1. Orang tua Bapak dan Ibu Saya.
2. Adik saya.
3. Dosen pembimbing I Bapak Muhammad Ridlwan, ST., MT.
4. Dosen pembimbing II Bapak Dr. Ir. Sri Raharno, M.T.
5. Jurusan Teknik Mesin FTI UII dan Keluarga besar HMTM FTI UII.
6. Universitas Islam Indonesia.
7. Institut Teknologi Bandung.
8. Kost Putra Anugrah.

HALAMAN MOTTO

Berlatih seperti tidak akan pernah menang dan tampil seperti tidak akan pernah kalah (Erwin Arga Pratama)

“Tuntutlah ilmu mulai dari buaian hingga liang lahat”

[HR.Bukhori]

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Waromatullohi Wabarokatuh

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat hidayah serta inayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul :
“PERANCANGAN SISTEM PERHITUNGAN UNTUK PENGEMBANGAN MODUL PENGUKURAN NILAI *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* SECARA OTOMATIS DAN *REAL-TIME* PADA MESIN LAS *METAL INERT GAS* DENGAN KONSEP *INDUSTRY 4.0*”. Sholawat serta salam tidak lupa penulis panjatkan kepada junjungan Nabi agung Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya yang kita nantikan syafaatnya di akhirat nanti.

Pelaksanaan tugas akhir harus ditempuh oleh setiap mahasiswa untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikannya dan memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Allah SWT, yang memberikan nikmat Iman, Islam dan Ikhsan kepada penulis serta Nabi agung Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya yang telah membawa kita dari zaman yang gelap menuju zaman yang terang benerang seperti sekarang.
2. Bapak dan Ibu beserta seluruh keluarga tercinta yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan selama menempuh pendidikan dan menyelesaikan laporan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Ir Sri Raharno, M.T. dan Bapak Muhammad Ridlwan, ST., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dan meluangkan waktunya untuk membantu penulis.
5. Bapak Agung Nugroho Adi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.

6. Seluruh dosen dan karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas ilmu yang sudah diberikan kepada penulis.
7. Mas Suryandaru S.T.,M.T., Mbak Wardatul S.T.,M.T., & Mas Ricky S.T. selaku asisten yang membantu saya untuk belajar dan untuk berdikusi ketika di Laboratorium Institut Teknologi Bandung
8. Saudara Fahrul Ramadhan dan Bagas Prasetya selaku rekan magang dari Teknik Mesin FTI Universitas Bengkulu dan Universitas PGRI Semarang.
9. Teman teman angkatan 2020 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah menjadi keluarga di kampus. Semoga kekeluargaan ini akan terus terjalin sampai akhir hayat nanti.
10. Kos Putra Anungrah Kos Perjuangan saya di Yogyakarta dan Kos Sakura Kos perjuangan saya di Bandung.

Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan kepada penulis.

Bandung, 28 Juni 2024



Erwin Arga Pratama

ABSTRAK

Industri terus mengalami perubahan untuk mencapai keunggulan kompetitif. Efisiensi dan produktivitas tinggi menjadi kunci dalam mencapai tujuan tersebut. Salah satu metode yang digunakan adalah *key performance indicators* seperti *overall equipment effectiveness*, yang menilai efisiensi peralatan berdasarkan *availability*, *performance*, dan *quality*. Namun, perhitungan *overall equipment effectiveness* secara manual sulit dilakukan karena memerlukan banyak sumber daya, seperti pengumpulan data berkala dan waktu yang lama. Digitalisasi peralatan menjadi solusi melalui konsep *industry 4.0*, termasuk *internet of things* dan *cyber physical system*. Penelitian ini bertujuan merancang sistem perhitungan *overall equipment effectiveness* untuk mesin las *metal inert gas* agar dapat mengetahui data operasi secara *real-time*. Data dikombinasikan dengan penjadwalan produksi dan inspeksi kualitas manual menggunakan *cyber physical system*. Sistem dikembangkan dengan sensor *internet of things* untuk pengumpulan data *real-time* dari mesin las *metal inert gas*, yang diolah menggunakan *cyber physical system* untuk menghasilkan nilai *overall equipment effectiveness*. Hasil *overall equipment effectiveness* ditampilkan melalui antarmuka *website* yang dapat diakses dengan *scan quick response code* menggunakan *smartphone*. Sistem perhitungan *overall equipment effectiveness* secara *real-time* dan otomatis berhasil dibuat, mempermudah pengukuran *overall equipment effectiveness*. Antarmuka *website* dirancang informatif, sehingga pengguna dapat dengan mudah memahami data yang tersedia. Pemanfaatan *internet of things* dan *cyber physical system* memungkinkan industri manufaktur meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas produk, serta mendukung pengembangan modul pengukuran *overall equipment effectiveness* yang lebih efisien. Diharapkan, implementasi sistem ini dapat diadopsi secara luas, mempercepat adopsi teknologi *industry 4.0*, dan meningkatkan daya saing industri secara global.

Kata Kunci : *key performance indicator*, *overall equipment effectiveness*, *internet of things*, *cyber physical system*, *industry 4.0*.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	Error! Bookmark not defined.
Pernyataan Keaslian	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.4 Manfaat Perancangan	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 <i>Key Performance Indicator (KPI)</i>	6
2.3 <i>Overall Equipment Effectiveness (OEE)</i>	7
2.4 <i>Industry 4.0</i>	8
2.5 <i>Internet of Things</i>	9
2.6 <i>Cyber Physical System</i>	9
2.7 <i>Database Management System (DBMS)</i>	10
2.8 <i>Node-RED</i>	10
2.9 Javascipt	11
2.10 <i>Quick Response (QR) Code</i>	11
2.11 Komunikasi Serial	11

2.12	Raspberry Pi 4 Model B.....	12
2.13	Arduino Nano	13
2.14	Sensor Arus Listrik	14
2.15	Sensor Putaran Kawat	16
2.16	Sensor Aliran Fluida	17
2.17	Modul Baterai Raspberry Pi Power Pack.....	18
2.18	<i>Power Supply</i>	18
2.19	<i>Las Metal Inert Gas</i>	19
2.20	<i>System Testing</i>	20
Bab 3 Metode Penelitian		23
3.1	Alur Penelitian	23
3.2	Peralatan dan Bahan.....	24
3.2.1	Alat	24
3.2.2	Bahan	27
3.3	Pemilihan Studi Kasus modul pengukuran nilai OEE	28
3.3.1	Pemilihan Mesin Las <i>Metal Inert Gas</i> (MIG)	28
3.3.2	Konsep Modul Pengukuran Nilai OEE	29
3.4	Kriteria Desain Spesifikasi Sistem Perhitungan Nilai OEE	31
3.5	Komponen Modul Pengukuran Nilai OEE	33
3.6	Sistem Kerja Modul Pengukuran Nilai OEE	34
3.7	Perancangan Sistem Perhitungan Nilai OEE	35
3.7.1	Proses Transfer Data Sistem Perhitungan Nilai OEE.....	35
3.7.2	Model Data Sistem Perhitungan Nilai OEE	37
3.7.3	Perancangan Sistem Pengolahan Data Operasi Mesin	39
3.7.4	Perancangan Sistem Data Rencana Kerja Mesin dan Hasil Kualitas Produk.....	40
3.7.5	Perancangan Antarmuka <i>Website</i> Sistem Perhitungan Nilai OEE.....	42
3.8	Sistem Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE.....	44
Bab 4 Hasil dan Pembahasan		49
4.1	Hasil Pengujian Pembacaan Modul Pengukuran Nilai OEE	49

4.2	Pengujian Keandalan Modul Pengukuran Nilai OEE dan Sistem Perhitungan nilai OEE	53
4.3	Hasil Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE.....	54
4.3.1	Hasil Pengujian Pengiriman Data pada Basis Data.....	54
4.3.2	Hasil Pengujian Sistem Pengolahan Data Operasi Mesin	56
4.3.3	Hasil Perancangan Sistem Data Rencana Kerja Mesin dan Hasil Kualitas Produk	58
4.3.4	Hasil Perancangan Antarmuka <i>Website</i> Sistem Perhitungan Nilai OEE.....	59
4.3.5	Hasil Perancangan Sistem Penginputan Total Produk dan Kualitas Produk.....	63
4.4	Hasil Pengujian Sistem Perhitungan Modul Pengukuran dan Sistem Perhitungan Nilai OEE	66
4.4.1	Pengujian Tipe I	66
4.4.2	Pengujian Tipe II	74
4.4.3	Pengujian Tipe III.....	83
4.4.4	Pembahasan	88
Bab 5	Penutup.....	93
5.1	Kesimpulan	93
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	93
	Daftar Pustaka	94
	LAMPIRAN	99
	Lampiran A.....	100
	Lampiran B	102
	Lampiran C.....	105
	Lampiran D.....	112
	Lampiran E	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B	12
Tabel 2-2 Spesifikasi Arduino Nano	14
Tabel 2-3 Spesifikasi Sensor Arus Listrik.....	15
Tabel 2-4 Spesifikasi Sensor Putaran Kawat.....	16
Tabel 2-5 Spesifikasi Sensor Aliran gas.....	18
Tabel 3-1 Alat dan Fungsi	25
Tabel 3-2 Bahan dan Fungsi.....	27
Tabel 3-3 Spesifikasi Mesin Las MIG.....	29
Tabel 3-4 Status Operasi Mesin.....	30
Tabel 3-5 Kriteria Desain Spesifikasi Sistem Pengukuran Nilai OEE.....	32
Tabel 4-1 Klasifikasi Ketelitian Alat Ukur Listrik (IEC 13B-23).....	49
Tabel 4-2 Hasil Pembacaan Sensor Arus dan <i>Clampmeter</i>	50
Tabel 4-3 Hasil Pembacaan Sensor Kecepatan Putaran dan <i>Tachometer</i>	52
Tabel 4-4 Hasil Pembacaan Sensor Aliran Gas dan <i>Flowmeter</i>	53
Tabel 4-5 Hasil Pengujian Sistem Pengolahan Data Operasi Mesin.....	57
Tabel 4-6 Data Rancangan Sistem Rencana Kerja Mesin dan Hasil Kualitas Produk	59
Tabel 4-7 Hasil Perhitungan Nilai <i>Availability</i> Pengujian Tipe I.....	67
Tabel 4-8 Hasil Perhitungan Nilai <i>Performance</i> Pengujian Tipe I	68
Tabel 4-9 Hasil Perhitungan Nilai <i>Quality</i> Pengujian Tipe I	68
Tabel 4-10 Hasil Perhitungan Nilai OEE Pengujian Tipe I	69
Tabel 4-11 Hasil Perhitungan Nilai <i>Availability</i> Pengujian Tipe II	75
Tabel 4-12 Hasil Perhitungan Nilai <i>Performance</i> Pengujian Tipe II.....	75
Tabel 4-13 Hasil Perhitungan Nilai <i>Quality</i> Pengujian Tipe II.....	76
Tabel 4-14 Hasil Perhitungan Nilai OEE Pengujian Tipe II	76
Tabel 4-15 Hasil Perhitungan Nilai <i>Availability</i> Tipe III.....	84
Tabel 4-16 Hasil Perhitungan Nilai <i>Performance</i> Pengujian Tipe III	84
Tabel 4-17 Hasil Perhitungan Nilai <i>Quality</i> Pengujian Tipe III.....	85
Tabel 4-18 Hasil Perhitungan Nilai OEE Pengujian Tipe III.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Raspberry Pi Model 4.....	13
Gambar 2-2 Arduino Nano	14
Gambar 2-3 Sensor Arus Listrik.....	15
Gambar 2-4 Sensor Putaran Kawat	16
Gambar 2-5 Sensor Aliran Gas.....	17
Gambar 2-6 Modul Baterai Raspberry Pi Power Pack	18
Gambar 2-7 <i>Power Supply</i>	19
Gambar 2-8 Mekanisme <i>Las Metal Inert Gas</i>	20
Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian.....	24
Gambar 3-2 Mesin Las Metal Inert Gas (MIG).....	28
Gambar 3-3 Komponen Modul Pengukuran Nilai OEE.....	34
Gambar 3-4 Perancangan Perangkat Keras Modul Pengukuran Nilai OEE.....	35
Gambar 3-5 Proses Transfer Data Modul Pengukuran Operasi Mesin dan Sistem Perhitungan Nilai OEE	36
Gambar 3-6 Model Basis Data Lokal	38
Gambar 3-7 Model Basis Data Utama.....	39
Gambar 3-8 Nodal tabel "kerjamesin"	40
Gambar 3-9 Nodal Tabel "rencanakanerjamesin"	41
Gambar 3-10 Diagram Aliran Perancangan Antarmuka <i>website</i> Tampilan Pertama	43
Gambar 3-11 Diagram Aliran Perancangan Antarmuka <i>website</i> Tampilan Kedua	44
Gambar 3-12 Ukuran Baja A36.....	45
Gambar 3-13 Rancangan Pengujian Keandalan Modul Pengukuran dan Sistem Perhitungan OEE	46
Gambar 4-1 Pengukuran Durasi Keandalan Modul dalam Mengirim Data ke Sistem Perhitungan Nilai OEE	54
Gambar 4-2 Penyimpanan Data Sensor Arus, Kecepatan Putaran, dan Aliran Gas di Basis Data Lokal	55

Gambar 4-3 Penyimpanan Data Sensor Arus, Kecepatan Putaran, dan Aliran Gas di Basis Data Server	56
Gambar 4-4 <i>Use Case Diagram</i> Antarmuka <i>Website</i>	60
Gambar 4-5 Tampilan Pertama Antarmuka <i>Website</i> Sistem Perhitungan Nilai OEE Berisi Nilai OEE Total, <i>Availability</i> , <i>Performance</i> , <i>Quality</i> dan Kategori OEE	61
Gambar 4-6 Tampilan Pertama Antarmuka <i>Website</i> Sistem Perhitungan Nilai OEE Berisi Grafik Garis Sepuluh Data Terakhir Sensor	62
Gambar 4-7 Tampilan Kedua Antarmuka <i>Website</i> Sistem Perhitungan Nilai OEE Berisi History Nilai OEE Berdasarkan Input Tanggal Awal dan Akhir.....	63
Gambar 4-8 Tampilan Antarmuka Penginputan Produk Total.....	64
Gambar 4-9 Tampilan Antarmuka Penentuan Produk Bagus	65
Gambar 4-10 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe I Pada Tanggal 21 Juni 2024	71
Gambar 4-11 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe I pada 21 Juni 2024.....	72
Gambar 4-12 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe I Pada Tanggal 22 Juni 2024	73
Gambar 4-13 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe I pada 22 Juni 2024.....	74
Gambar 4-14 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe II Pada Tanggal 23 Juni 2024	78
Gambar 4-15 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe II pada 23 Juni 2024	79
Gambar 4-16 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe II Pada Tanggal 24 Juni 2024	80
Gambar 4-17 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe II pada 24 Juni 2024	81
Gambar 4-18 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe II Pada Tanggal 25 Juni 2024	82
Gambar 4-19 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe II pada 25 Juni 2024	83
Gambar 4-20 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe I Pada Tanggal 26 Juni 2024	87
Gambar 4-21 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe III pada 26 Juni 2024.....	88

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri terus mengalami perubahan dan dinamika dalam upaya mencapai tujuan organisasi. Efisiensi, produktivitas, dan pengurangan *downtime* produksi adalah hal krusial untuk mencapai tujuan tersebut. Sebab itu, diperlukan sistem yang dapat digunakan untuk mengukur, mengevaluasi, dan meningkatkan kinerja industri sebagai instrumen dalam mencapai sasaran tersebut. *Key Performance Indicator* (KPI) merupakan salah satu alat yang umum digunakan untuk mengevaluasi kinerja industri (Sukmana, 2020).

KPI adalah metode yang membantu dalam menetapkan dan mengukur tujuan organisasi, yang menjadi landasan bagi keberlangsungan dan kesuksesan perusahaan (Setiawan and Purba, 2022). KPI memiliki peranan yang sangat penting bagi industri yang menerapkan sistem manajemen kinerja yang dapat diukur dari berbagai perspektif fungsi organisasi sehingga target produksi dapat dicapai. Salah satunya pada industri manufaktur tidak bisa terlepas dari kebutuhan elemen produksi yaitu mesin-mesin manufaktur dalam pembuatan produk sehingga KPI sangat penting dalam mengukur capaian target Industri. Salah satu cara untuk menghitung nilai KPI pada mesin di industri manufaktur menggunakan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

OEE adalah salah satu metode evaluasi kinerja yang digunakan untuk mengukur produktivitas peralatan industri sebagai KPI karena parameter yang dimiliki OEE meninjau operasi produksi dan kualitas produk (Atikno and Purba, 2021). Penggunaan OEE sebagai indikator yang menggabungkan parameter *availability*, *performance*, dan *quality* merupakan kontribusi penting dalam industri manufaktur untuk menilai efisiensi peralatan (Cercós et al., 2019). Ketiga Parameter perhitungan OEE tersebut bisa dihitung berdasarkan dari rencana data operasi produksi dan data aktual operasi produksi. Namun, untuk merealisasikan perhitungan OEE pada dunia industri ada beberapa hal yang perlu ditinjau salah satunya adalah mesin yang digunakan tersebar pada rantai produksi sehingga

perhitungan OEE akan sulit dilakukan secara manual karena pengecekan manual membutuhkan sumber daya manusia dan membuang waktu. Maka dari itu perlunya pengukuran secara *real-time* dengan memanfaatkan digitalisasi teknologi. Proses digitalisasi teknologi dapat dilakukan dengan menerapkan *Industry 4.0*, yang berperan sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi manufaktur (Kristiawan et al., 2021). Teknologi ini meliputi *Cyber Physical System (CPS)*, *Big Data Analytic*, *Artificial Intelligence (AI)*, dan *Internet of Things (IoT)* untuk memantau dan mengendalikan elemen produksi secara otomatis (Singh, 2020).

Implementasi yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan IoT dan CPS. IoT dan CPS tersebut diperlukan agar semua komponen pada mesin dapat tersambung secara digital yang digunakan untuk pengukuran jarak jauh dan mesin tersebut dapat dimodelkan ke bentuk digital untuk mempermudah perhitungan OEE. *Industry 4.0* sebagai sistem integrasi mesin dan perangkat fisik yang kompleks dengan jaringan sensor dan perangkat lunak, yang bertujuan untuk memprediksi, mengendalikan, dan merencanakan hasil komersial (Skender and Ali, 2019). Penerapan *industry 4.0* pada sistem dapat membantu untuk pengambilan data aktual produksi, perhitungan OEE secara *real-time* dan otomatis tetapi untuk melakukan hal tersebut diperlukan alat deteksi/sensor, alat olah data/*microkontroller* dan alat untuk penyimpanan menggunakan *Database Management System (DBMS)*. Hal tersebut dilakukan sebagai bentuk upaya untuk mengintegrasikan alat- alat tersebut untuk dibuat sistem yang *real-time* untuk memantau dalam lingkup konsep *industry 4.0*.

Penelitian ini dirancang modul pengukuran nilai OEE yang di implementasikan pada salah satu mesin di industri manufaktur yaitu mesin las *Metal Gas Inert (MIG)*. Alat tersebut dirancang dengan memasang sensor aliran arus, sensor kecepatan putar, dan sensor kecepatan aliran gas pada mesin las MIG. Data dari sensor tersebut menghasilkan data operasi mesin yang dapat dimanfaatkan untuk mengolah data aktual operasi mesin. Kemudian, data penjadwalan operasi produksi dan hasil kualitas produk dimasukkan secara manual. Penerapan sistem tersebut dapat menghitung OEE mesin las MIG secara *real-time* dan menampilkan visualisasi perhitungan nilai OEE melalui *website* dengan melakukan *scan Quick Response (QR) code* pada mesin las MIG.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perancangan sistem perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara *real-time* dan otomatis berdasarkan parameter pada mesin las *Metal Inert Gas* (MIG) dengan konsep *Industry 4.0*?
2. Bagaimana membuat tampilan antarmuka *website* untuk menampilkan hasil perhitungan nilai OEE secara *real-time* dan otomatis pada las MIG?

1.3 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Merancang sistem perhitungan nilai OEE secara *real-time* dan otomatis berdasarkan parameter pada mesin las MIG dengan konsep *Industry 4.0*.
2. Membuat tampilan antar muka *website* untuk menampilkan hasil perhitungan nilai OEE pada mesin las MIG secara *real-time* dan otomatis.

1.4 Manfaat Perancangan

Manfaat dari perancangan ini adalah :

1. Mampu Merancang sistem perhitungan nilai OEE secara *real-time* dan otomatis berdasarkan parameter pada mesin las MIG dengan konsep *Industry 4.0*.
2. Mampu membuat tampilan antarmuka *website* untuk menampilkan hasil perhitungan nilai OEE pada mesin las MIG secara *real-time* dan otomatis.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian hanya menghitung nilai OEE mesin las dengan jenis mesin las MIG.
2. Penelitian hanya memantau otomatis dan *real-time* data aktual operasi mesin las MIG.

3. Data penjadwalan, *ideal cycle time*, total produk, dan *good unit* dimasukkan secara manual.
4. Penelitian hanya menggunakan material plat baja A36 dengan ukuran panjang x lebar x tinggi yaitu 150 mm x 50 mm x 5 mm sebagai bahan pengujian.
5. Penelitian ini menggunakan waktu kerja 480 menit dalam satu hari untuk pengukuran nilai OEE.
6. Penelitian menggunakan inspeksi manual untuk mengukur nilai produk bagus pada pengukuran nilai *Quality*.
7. Penelitian menggunakan jaringan lokal untuk menghubungkan sistem pengukuran parameter mesin las dengan perangkat pengguna.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun secara sistematis dengan menguraikan setiap bab secara berurutan untuk memudahkan pembahasannya. Terdapat lima bab yang membagi pokok-pokok permasalahan dalam penulisan ini, yaitu:

1. Pada Bab I menjelaskan latar belakang penelitian yang dilakukan, perumusan masalah yang menjadi fokus penelitian, tujuan dari penulisan penelitian ini, batasan-batasan yang mengarahkan ruang lingkup pembahasan, serta manfaat dari perancangan yang diusulkan
2. Pada Bab II memberikan penjelasan tentang teori-teori yang menjadi landasan dalam mengatasi masalah yang dibahas pada tugas akhir ini
3. Pada Bab III dijelaskan langkah-langkah dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan tugas akhir ini
4. Pada Bab IV berisi tentang data pengujian yang diperoleh dan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan
5. Pada Bab V berisi rangkuman kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran yang diberikan sebagai rekomendasi setelah penelitian dilakukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Secara garis besar tema dari penelitian tentang perancangan pengukuran nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sudah pernah dilakukan namun dengan mesin dan konsep aliran data yang berbeda. Penelitian yang sebelumnya sudah sampai pada tahap perancangan. Akan tetapi modul pengukuran nilai OEE dan konsep dari penelitian sebelumnya masih terbilang sederhana dan tidak terlalu rumit karena hanya menguji keberhasilan sistem *digital twin* pada kasus *die cutting machine* (DCM) untuk mendapatkan nilai OEE (Wang et al., 2021). Sedangkan, pada penelitian ini menggunakan mesin las as *Metal Inert Gas* (MIG) dan sistem aliran datanya berbeda.

Perancangan modul pengukuran nilai OEE ini memiliki konsep penyimpanan dan mesin yang berbeda dari sebelumnya dimana mesin akan menyimpan sementara data dari sensor untuk menjadi backup data sehingga ketika terjadi pengiriman data yang gagal dapat dicegah dengan penyimpanan data sementara di modul ini sehingga data akan lebih *real-time* dan sesuai industri karena pada keadaan industri dimana jarak antar stasiun kerja belum tentu dekat sehingga masalah pengiriman data akan terhambat jika terputus oleh server sistem pusat sehingga penelitian ini lebih ditingkatkan masalah pengiriman data karena menggunakan dua basis data yaitu basis data lokal untuk kondisi mesin dan basis data utama untuk memantau semua mesin jika terdapat banyak mesin.

Perancangan modul ini juga dilengkapi sensor arus, sensor aliran gas, dan sensor putaran kawat untuk memantau kondisi mesin las MIG dan juga mikrokontroler untuk mengolah data dari sensor. Modul ini juga dilengkapi *single board computer* digunakan sebagai basis data lokal mesin las. Selanjutnya basis data lokal tersebut mengirim data ke server utama yang berada *mini Personal Computer (PC)* untuk diolah agar mendapatkan perhitungan nilai OEE. Berikutnya, untuk menampilkan antarmuka *website* nilai perhitungan nilai OEE

dibantu dengan platform *Internet of Things* (IoT) dan jika pengguna ini mengakses antarmuka *website* dengan *Quick Response (QR) code*.

2.2 Key Performance Indicator (KPI)

Industri manufaktur mengalami perkembangan signifikan yang mengakibatkan perubahan dalam dinamika pasar. Dalam menghadapi tantangan ini, fleksibilitas yang tinggi, standar kualitas yang ketat, dan produktivitas yang berkelanjutan menjadi kunci untuk kesuksesan. Salah satu pendekatan yang diambil oleh industri manufaktur untuk mengatasi tantangan ini adalah dengan menerapkan sistem pengukuran kinerja, yang memungkinkan evaluasi yang komprehensif terhadap operasi dan aktivitas manufaktur. Melalui sistem pengukuran kinerja, manajemen operasi manufaktur dapat mengevaluasi efisiensi dan efektivitas operasional mereka. Ini memungkinkan mereka untuk memantau pencapaian tujuan strategis, serta mengidentifikasi area-area di mana perbaikan diperlukan. Pendekatan ini dikenal sebagai *Key Performance Indicators* (KPI), yang memberikan gambaran tentang kinerja keseluruhan perusahaan (Zhu et al., 2017). Sebab memantau KPI, perusahaan manufaktur dapat memastikan bahwa mereka berada di jalur yang benar menuju tujuan mereka. Hal ini juga membantu dalam mengidentifikasi potensi peningkatan proses, sehingga memungkinkan perusahaan untuk terus berkembang dan bersaing di pasar yang semakin kompetitif.

KPI adalah indikator krusial dalam menilai keberhasilan sistem produksi. Mereka mencerminkan faktor-faktor kunci yang berkontribusi pada pencapaian tujuan yang telah ditetapkan dalam Standar ISA95. Penggunaan KPI memungkinkan pengukuran kemajuan dan perbandingan dengan tujuan perusahaan, memberikan gambaran apakah tujuan telah tercapai. Dalam mencapai KPI, ada dua pendekatan yang umum digunakan: pendekatan langsung dan tidak langsung. Pendekatan langsung terfokus pada entitas yang bisa diukur secara langsung, seperti jumlah unit yang diproduksi atau waktu pengiriman. Sementara itu, pendekatan tidak langsung melibatkan perhitungan atau analisis tambahan sebelum memberikan informasi yang bermakna, misalnya, waktu siklus di lini

produksi yang memerlukan perhitungan berdasarkan data yang ada (Samir et al., 2018).

2.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall Equipment Effectiveness (OEE) sebagai salah satu metrik KPI yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitas mesin dalam proses produksi (Ramadhan et al., 2021). OEE merupakan sebuah nilai yang dihitung sebagai rasio antara nilai output aktual dengan output maksimum yang dapat dicapai oleh peralatan tersebut dalam kondisi kinerja terbaik. Tujuan utama dari OEE adalah untuk mengevaluasi efektivitas dan kinerja suatu mesin atau proses produksi. Perhitungan nilai OEE memberikan wawasan yang penting mengenai tiga komponen yang memengaruhi efektivitas mesin, yaitu Ketersediaan (*Availability*), Kinerja Produksi (*Performance rate*), dan Kualitas Output (*Quality rate*) (Zhou et al., 2020). Dengan memantau dan menganalisis nilai OEE serta tiga komponennya, perusahaan dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana mesin atau proses produksi beroperasi. Hal ini memungkinkan mereka untuk mengidentifikasi area-area di mana perbaikan dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas secara keseluruhan. Berikut merupakan rumus untuk menghitung OEE pada persamaan 2.1

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \dots \dots (2.1)$$

1. Availability

Availability atau Ketersediaan (A) merupakan perbandingan antara waktu operasional atau *runtime* mesin dengan total waktu yang tersedia untuk produksi (waktu tersedia). Ketersediaan mempertimbangkan waktu henti atau *downtime* yang tidak digunakan dalam waktu produksi. *Runtime* diperoleh dengan mengurangi waktu henti yang direncanakan (*planned downtime*) dari waktu tersedia yang direncanakan untuk produksi. *Planned downtime* menentukan jumlah waktu henti yang telah dijadwalkan untuk keperluan produksi. Berikut rumus dari *availability*:

$$Availability = \frac{Run Time}{Planned Production Time} \dots \dots (2.2)$$

$$Availability = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Planned\ Production\ Time} \times 100\% \dots \dots (2.3)$$

2. *Performance*

Kinerja atau *Performance* (P) adalah perbandingan antara tingkat produksi aktual dengan tingkat produksi yang diharapkan, atau perbandingan antara kemampuan mesin yang terealisasi dengan perkalian jumlah barang yang seharusnya diproduksi dengan waktu ideal, kemudian hasilnya dibagi dengan *runtime* mesin. Hasilnya dinyatakan dalam bentuk persentase untuk menggambarkan efisiensi atau kinerja mesin dalam mencapai target produksi. Berikut rumus dari *performance*:

$$Performance = \frac{(Ideal\ cycle\ time \times Total\ Count)}{Runtime} \times 100\% \dots \dots (2.4)$$

3. *Quality*

Faktor ini berkaitan dengan komponen-komponen yang dihasilkan dalam proses produksi, termasuk kerugian dalam kualitas seperti produk yang tidak memenuhi standar atau memiliki cacat yang memerlukan tindakan perbaikan agar sesuai dengan standar kualitas. Faktor kualitas meliputi semua bagian yang diproduksi, baik yang memenuhi standar maupun yang tidak. Berikut rumus dari *quality*:

$$Quality = \frac{Good\ Count}{Total\ Count} \times 100\% \dots \dots (2.5)$$

Good count merujuk pada jumlah produk yang diproduksi dan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan, sedangkan total count adalah jumlah dari semua bagian yang diproduksi, termasuk baik yang memenuhi standar maupun yang tidak.

2.4 *Industry 4.0*

Dampak signifikan dari Revolusi *Industry 4.0* telah dirasakan dalam industri manufaktur di seluruh dunia (Isyanto and Raharno, 2022). Sebagian besar negara di Amerika Serikat dan Eropa telah mengadopsi konsep *Industry 4.0* untuk mendorong pengembangan teknologi manufaktur yang otomatis dan meningkatkan

konektivitas (Paulo J.D.S Bartolo, 2020). Tujuan utama dari Industri 4.0 mencakup peningkatan efisiensi, pengurangan pemborosan, dan penurunan biaya produksi (Nurlaila et al., 2023). Salah satu prasyarat penting untuk menerapkan paradigma *Industry 4.0* adalah bahwa semua komponen produksi, termasuk peralatan, operator, dan benda kerja, harus dilengkapi dengan kecerdasan manufaktur. *Industry 4.0* menggunakan teknologi seperti *Cyber Physical System* (CPS), *Big Data Analytics*, *Artificial Intelligence* (AI), dan *Internet of Things* (IoT) untuk secara otomatis memonitor dan mengendalikan berbagai elemen produksi (Singh, 2020).

2.5 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) adalah sistem di mana perangkat komputasi, mesin mekanik dan digital, objek, hewan, atau manusia saling terkoneksi, dilengkapi dengan pengenalan unik (*unique identifiers/UIDs*), dan memiliki kemampuan untuk bertukar data melalui jaringan tanpa interaksi langsung antara manusia atau antara manusia dengan komputer. Tujuan utama dari konsep IoT adalah untuk memperluas keuntungan dari konektivitas internet yang terus-menerus tersambung. Pertumbuhan pesat IoT didorong oleh kemajuan teknologi nirkabel, sistem mekanik mikro-elektronik (MEMS), dan evolusi Internet. RFID seringkali terkait dengan IoT sebagai salah satu metode komunikasinya (Obaidat et al., 2020).

2.6 *Cyber Physical System*

Salah satu teknologi yang mendukung pengembangan sistem *Industry 4.0* adalah *Cyber Physical System* (CPS), yang merupakan sistem di mana entitas komputasi terhubung secara erat dengan lingkungan fisik dan proses yang sedang berlangsung, memungkinkan akses dan pengolahan data secara *real-time* yang tersedia melalui internet. Fungsi utama dari CPS adalah sebagai berikut:

1. *Advanced gateways* yang memastikan pengumpulan data secara *real-time* dari dunia fisik.
2. Pemrosesan data intelektual, simulasi komputer, dan analisis data yang memungkinkan konversi dunia nyata menjadi dunia virtual.

Ilustrasi dari sistem fisik-siber menunjukkan bahwa objek fisik dalam dunia nyata memiliki representasi dalam dunia virtual. Representasi objek fisik dalam dunia virtual merupakan entitas komputasi yang memungkinkan CPS untuk menggunakan data sensor yang dikumpulkan untuk menghasilkan kecerdasan yang dapat diaplikasikan. Dengan demikian, komponen fisik (sensor, aktuator, perangkat komputasi, dan infrastruktur jaringan) dan cyber (data yang dikumpulkan dan diolah, algoritma, model sistem, protokol jaringan, dan bandwidth) bekerja sama untuk memecahkan masalah yang terjadi (Rai and Sahu, 2020).

2.7 Database Management System (DBMS)

Sebuah basis data adalah sekumpulan data yang berkaitan satu sama lain, biasanya disimpan sesuai dengan suatu model data tertentu. Umumnya, basis data digunakan oleh satu atau beberapa aplikasi perangkat lunak melalui DBMS. Secara keseluruhan, istilah "sistem basis data" merujuk pada kumpulan basis data, DBMS, dan aplikasi perangkat lunak yang digunakan (Taipalus, 2023). Pemisahan antara basis data dan DBMS, terutama dalam konteks basis data relasional, seringkali tidak dapat dilakukan tanpa mengonversi basis data ke format lain. Dalam situasi semacam itu, basis data umumnya tidak bisa digunakan oleh DBMS kecuali basis data tersebut diubah kembali ke format yang dapat dikenali oleh DBMS. Karena ketidakmungkinan ini untuk dipisahkan, baik DBMS maupun basis data yang mendasarinya sering disebut secara umum sebagai basis data.

2.8 Node-RED

Node-RED adalah alat pengembangan terbuka yang menggunakan alur untuk mengintegrasikan perangkat keras IoT, API, dan layanan *online*. Dikembangkan oleh IBM Emerging Technology (Lekić and Gardašević, 2018). *Node-RED* berbasis JavaScript dan berjalan di atas platform Node.js. Alat ini menyediakan editor alur visual yang memungkinkan pengguna untuk menyeret, menjatuhkan, dan menghubungkan node dengan representasi grafis yang intuitif. Dengan *Node-RED*, pengguna dapat memantau alur, membaca dan menulis data menggunakan node-node khusus, serta membuat alur pemrosesan data,

mengendalikan perangkat keras, atau mengirimkan peringatan (Gardasevic et al., 2017). Alur yang dibuat disimpan menggunakan format JSON. *Node-RED* memfasilitasi koneksi antara layanan *website* dan perangkat keras, memungkinkan eksekusi fungsi seperti pengiriman data sensor melalui email atau Twitter, serta melakukan analisis data kompleks secara mudah.

2.9 Javascript

JavaScript adalah bahasa pemrograman berbasis skrip yang berjalan pada dokumen HTML (Mariko, 2019). JavaScript dapat meningkatkan tampilan dan sistem pada aplikasi berbasis *website* yang dikembangkan. Adapun karakteristik dari bahasa pemrograman JavaScript adalah: (1) Merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi (*high-level programming*); (2) Beroperasi di sisi klien (*client-side*); (3) Berorientasi pada objek; dan (4) Bersifat *loosely typed*.

2.10 Quick Response (QR) Code

Quick Response (QR) Code adalah jenis simbol dua dimensi yang dikembangkan oleh Denso Wave pada tahun 1994. Setiap simbol *QR Code* berbentuk persegi dan terdiri dari *function patterns* serta *encoding region* (Priyambodo et al., 2020). Seluruh simbol ini dikelilingi oleh batas yang disebut *quiet zone* pada keempat sisinya. Terdapat empat jenis pola fungsi, yaitu *finder pattern*, *separators*, *timing patterns*, dan *alignment patterns*. *Encoding region* berisi data yang mencakup informasi versi, format informasi, data, dan koreksi kesalahan.

2.11 Komunikasi Serial

Komunikasi serial adalah untuk mentransfer atau menerima data menggunakan koneksi USB (*Universal Serial Bus*) dari mikrokontroler ke port USB pada komputer (Albert S. Lutakamale, 2017). Metode ini menawarkan keunggulan karena tidak memerlukan jaringan internet untuk mentransfer data. Menghubungkan mikrokontroler langsung ke komputer melalui kabel USB dapat menghasilkan tingkat pengiriman data yang lebih tinggi daripada komunikasi

melalui jaringan nirkabel seperti protokol MQTT. Dalam komunikasi serial, tidak diperlukan koneksi internet untuk mentransfer data (Hunkeler et al., 2008).

2.12 Raspberry Pi 4 Model B

Salah satu contoh populer dari SBC adalah Raspberry Pi (Süzen et al., 2020). Raspberry Pi merupakan komputer papan tunggal (mini komputer) dengan ukuran yang kecil. Raspberry Pi dikembangkan sebagai media belajar pemrograman generasi terbaru yang bersifat *open-source*. Raspberry Pi memiliki sistem pada chip (*System on a Chip SoC*) yaitu BCM2835 yang terintegrasi dengan processor, *Graphic Processing Unit* (GPU), dan memory dalam board. Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B dapat dilihat pada Tabel 2-1.

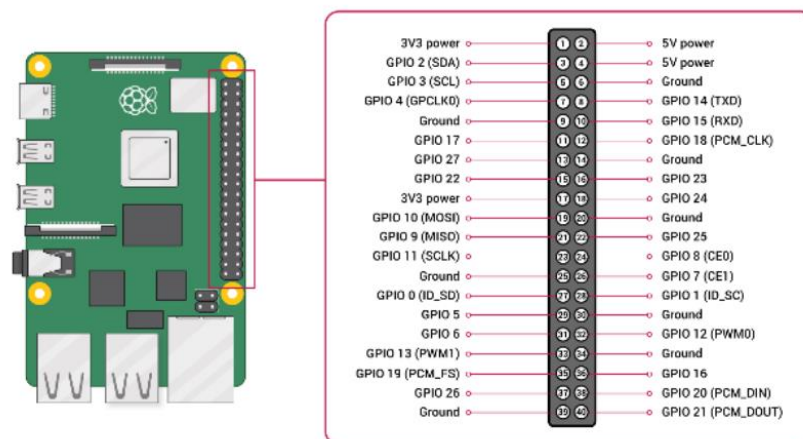
Tabel 2-1 Spesifikasi Raspberry Pi 4 Model B

Komponen	Spesifikasi
Sistem Operasi	Linux, Raspbian, Ubuntu MATE, Windows 10 IoT, Debian
Daya	15 Watt
CPU	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC dengan clock speed 1.5GHz
Kapasitas Penyimpanan	MicroSDHC 1-64GB (Memori Eksternal)
Memori	Tersedia dalam pilihan 2GB, 4GB, atau 8GB LPDDR4-3200 SDRAM
Grafis	VideoCore VI grafik, mendukung OpenGL ES 3.x

Raspberry Pi 4 Model B dilengkapi dengan pin *General Purpose Input-Output* (GPIO), slot USB, *power*, ethernet, audio, dan HDMI. GPIO pin memungkinkan koneksi antara Raspberry Pi dengan berbagai komponen seperti sensor dan kipas pendingin. Meskipun tidak memiliki pin analog, pengguna dapat menggunakan konverter ADC untuk membaca data sensor secara langsung. Dengan empat slot USB, Raspberry Pi 4 Model B memungkinkan pengguna untuk menghubungkan berbagai perangkat seperti mouse dan keyboard. Slot ethernet

memfasilitasi koneksi jaringan internet melalui kabel, sementara slot HDMI memungkinkan koneksi Raspberry Pi ke monitor atau layar lainnya.

Raspberry Pi berfungsi sebagai penerima data pengukuran dari berbagai perangkat seperti mikrokontroler atau Raspberry Pi lainnya. Koneksi data dapat dilakukan secara nirkabel atau melalui koneksi serial. Setelah menerima data, Raspberry Pi mampu mengolah dan menyimpannya dalam basis data. Data yang tersimpan kemudian dapat diproses dan divisualisasikan melalui grafik yang ditampilkan di *website* browser. Raspberry Pi memiliki kemampuan untuk menjalankan fungsi-fungsi tersebut dengan efektif. Raspberry Pi 4 Model B dapat dilihat pada Gambar 2-1.



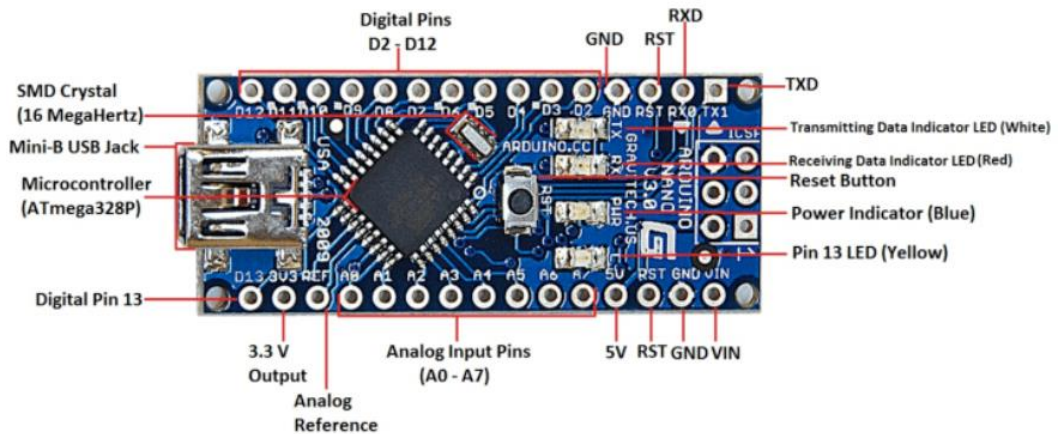
Gambar 2-1 Raspberry Pi Model 4

(Sumber : Adi et al., 2023)

2.13 Arduino Nano

Arduino merupakan suatu platform perangkat keras untuk prototyping yang bersifat sumber terbuka, dirancang dengan perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel serta mudah digunakan (Saputra et al., 2024). Ini juga dikenal sebagai mikrokontroler papan tunggal yang bersumber terbuka, berasal dari platform wiring, yang bertujuan mempermudah pengguna elektronik di berbagai bidang. Arduino Nano dilengkapi dengan sejumlah pin yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai perangkat eksternal seperti sensor. Fungsi dari pin-pin ini memungkinkan pengguna untuk membangun berbagai sistem, termasuk pengukuran data menggunakan sensor. Untuk mentransfer data pengukuran dari

Arduino Nano ke perangkat lain seperti *Single Board Computer* (SBC), dapat dilakukan melalui koneksi data serial. Arduino Nano dapat dilihat pada Gambar 2-2. Spesifikasi Arduino Nano dapat dilihat pada Tabel 2-2.



Gambar 2-2 Arduino Nano
(Sumber : Sanni et al., 2019)

Tabel 2-2 Spesifikasi Arduino Nano

Komponen	Spesifikasi
Mikrokontroler	Atmega328
Tegangan Kerja	5 V
Flash Memori	32 Kb SRAM 2kB
Kecepatan Clock	16 MHz
Pin Digital	22
Konsumsi Daya	19 mA
Ukuran PCB	18 x 45 mm
Berat	7 Gram

2.14 Sensor Arus Listrik

Sensor arus listrik atau trafo arus adalah sensor yang dirancang untuk mendeteksi arus yang mengalir melalui seutas kabel penghantar tanpa harus menyentuh langsung kabel tersebut (Ibadurrahman, 2020). Sensor arus listrik

bekerja dengan menghasilkan medan magnet dalam intinya ketika arus mengalir melalui kumparan primer.

Medan magnet ini menginduksi arus yang sebanding dalam kumparan sekunder. Arus dalam kumparan sekunder ini memiliki hubungan proporsional dengan arus yang mengalir pada kumparan primer. Dengan menambahkan resistor beban, Sensor arus listrik menghasilkan tegangan keluaran yang dapat diukur pada pin ADC mikrokontroler. Sensor arus listrik dapat dilihat pada Gambar 2-2. Spesifikasi sensor arus listrik dapat dilihat pada Tabel 2-2.



Gambar 2-3 Sensor Arus Listrik
(Sumber : Kee et al., 2016)

Tabel 2-3 Spesifikasi Sensor Arus Listrik

<i>Type</i>	SCT-013-000V
<i>Input Current</i>	100A
<i>Output Mode</i>	0-50mA
<i>Frequency Range</i>	50Hz-1kHz
<i>Measurement Ratio</i>	100A:50mA
<i>Accuration</i>	±1%
<i>Aperture Size</i>	13mm x 13mm

2.15 Sensor Putaran Kawat

Sensor putaran kawat adalah sebuah komponen elektronika yang memfasilitasi koneksi berdasarkan cahaya optik (Asmara P, 2021). Komponen ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu *transmitter* dan *receiver*. Sensor ini juga dikenal sebagai optocoupler, terbuat dari bahan semikonduktor, dan terdiri dari kombinasi LED inframerah dan fototransistor. LED berfungsi sebagai *transmitter* sementara fototransistor berfungsi sebagai *receiver*.

Proses kerja optocoupler terjadi ketika arus listrik mengalir melalui LED, menyebabkan LED memancarkan sinyal cahaya yang kemudian ditangkap oleh fototransistor. Jika sinyal cahaya yang dipancarkan oleh LED diterima oleh fototransistor tanpa adanya halangan, indikator sensor akan menyala (*high*). Sebaliknya, jika sinyal cahaya terhalang, indikator sensor akan padam (*low*). Sensor putaran kawat dapat dilihat pada Gambar 2-4. Spesifikasi sensor putaran kawat dapat dilihat pada Tabel 2-4.



Gambar 2-4 Sensor Putaran Kawat

(Sumber : Anandita, 2018)

Tabel 2-4 Spesifikasi Sensor Putaran Kawat

<i>Type</i>	<i>IR Sensor MH-Series</i>
<i>Operational Voltage</i>	3.3-5V
<i>Communication interface</i>	<i>Digital Output</i>
<i>Comparator Output Signal</i>	15 mA
<i>Detection distance</i>	1-10cm
<i>Signal</i>	<i>Active low</i>

<i>Distance</i>	<i>Adjustable</i>
<i>Sample Rate Max</i>	38 kHz
<i>Module Dimensions</i>	3.2cm x 1.4cm

2.16 Sensor Aliran Fluida

Sensor aliran fluida adalah jenis sensor aliran air yang sering digunakan untuk memantau aliran air dalam berbagai sistem, seperti sistem irigasi atau perpipaan. Dengan desain yang kompak, sensor ini mudah diintegrasikan ke dalam sistem yang ada. Prinsip kerjanya didasarkan pada efek Hall, di mana medan magnet yang dihasilkan oleh aliran fluida, seperti air, memengaruhi sensor di dalamnya.

Sensor Hall effect merupakan salah satu transduser yang sering digunakan untuk mendeteksi medan magnet (Hakim et al., 2019). Perubahan medan magnet ini diubah menjadi sinyal listrik yang sesuai dengan kecepatan aliran, yang kemudian diolah oleh sistem elektronik. Outputnya biasanya berupa pulsa listrik dengan frekuensi yang berubah sesuai dengan kecepatan aliran air, cocok untuk pengukuran yang memerlukan pengukuran kontinu. Karena keandalan dan akurasi tingginya, sensor ini banyak digunakan dalam aplikasi di mana pengukuran aliran air sangat penting. Sensor arus listrik dapat dilihat pada Gambar 2-6. Spesifikasi sensor arus listrik dapat dilihat pada Tabel 2-6.



Gambar 2-5 Sensor Aliran Gas
(Sumber : Juniardi et al., 2020)

Tabel 2-5 Spesifikasi Sensor Aliran gas

<i>Type</i>	<i>Gas Flowmeter YF-B5</i>
<i>Operational Voltage</i>	3.3-5V
<i>Communication interface</i>	<i>Digital Output</i>
<i>Operating Current</i>	10Ma
<i>Inlet and Outlet Size</i>	0.5 inch
<i>Capacity</i>	1-30 L/min
<i>maximum pressure</i>	1.75 Mpa
<i>Module Dimensions</i>	60mm x28mm

2.17 Modul Baterai Raspberry Pi Power Pack

Modul baterai adalah catu daya yang berfungsi sebagai sumber untuk mengaktifkan peranti elektronik (Setyawan and Raharno, 2021). Pemilihan kapasitas penyimpanan daya modul baterai ditentukan dari kebutuhan listrik rangkaian elektronika. Modul pengukuran nilai OEE pada mesin Las MIG ini menggunakan modul baterai berkapasitas 4500mAh. Modul Baterai Raspberry Pi Power Pack dapat dilihat pada Gambar 2-6.



Gambar 2-6 Modul Baterai Raspberry Pi Power Pack

(Sumber : Setyawan and Raharno, 2021)

2.18 Power Supply

Power supply adalah perangkat keras yang dapat menyalurkan tegangan listrik secara langsung dari sumber tegangan listrik PLN ke tegangan listrik yang lainnya (Yaqin et al., 2021). Fungsinya adalah untuk mengubah dan mengatur tegangan listrik dari sumber daya (seperti listrik jaringan, baterai, atau sumber

energi lainnya) ke bentuk yang sesuai dan stabil untuk digunakan oleh perangkat elektronik. *Power supply* sering digunakan untuk mengkonversi listrik PLN yang berarus AC ke arus DC untuk sumber daya dari komponen listrik. *Power supply* dapat dilihat pada Gambar 2-7.



Gambar 2-7 *Power Supply*

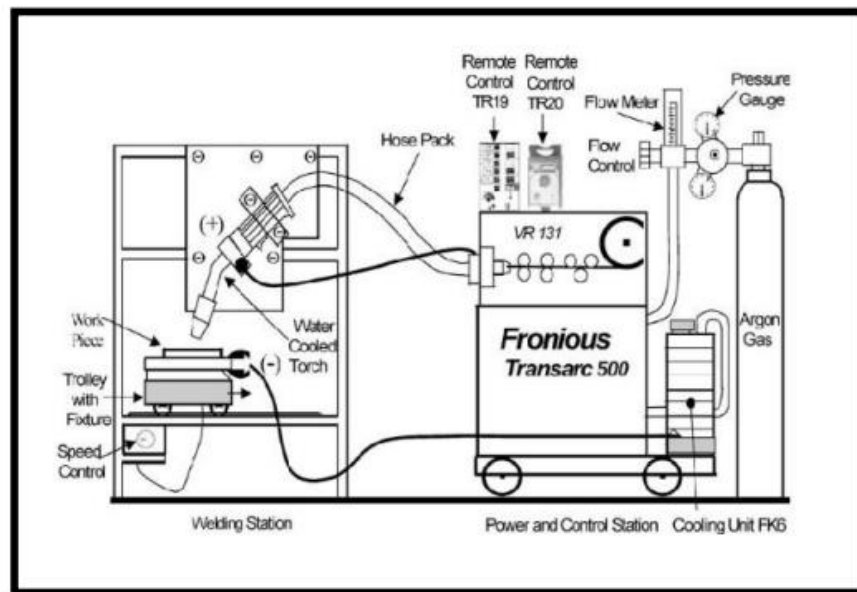
(Sumber: Santosa and Yuliati, 2022)

2.19 Las *Metal Inert Gas*

Pengelasan *Metal Inert Gas* (MIG) adalah metode penyambungan logam dengan menggunakan panas yang dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda kawat habis pakai dan bahan kerja untuk mencapai fusi logam. Gas pelindung digunakan untuk melindungi area pengelasan dari kontaminasi. Proses ini menggunakan tegangan konstan dan arus searah. Logam dapat ditransfer dalam empat mode berbeda: *short-circuiting*, *spray*, *globular*, dan *pulsed-spray*. Setiap mode memiliki karakteristik unik, serta kelebihan dan kekurangan yang berbeda tergantung pada aplikasinya (Lawal et al., 2023).

Pada proses MIG *welding*, terjadi pembentukan busur listrik antara elektroda berbentuk kawat logam yang kontinu dengan permukaan logam kerja yang akan disambung. Kawat logam ini meleleh akibat panas dari busur listrik dan mengalir ke permukaan logam kerja, membentuk sambungan yang kuat setelah proses pendinginan. Selama proses ini, gas pelindung inert seperti argon atau campuran argon dan helium dialirkan melalui pistol las. Gas ini bertugas melindungi busur listrik dan logam yang meleleh dari kontaminasi atmosfer yang dapat mempengaruhi kualitas hasil las. Selain itu, gas pelindung juga membantu menjaga stabilitas busur listrik dan mencegah oksidasi pada logam yang meleleh. Mesin las MIG saat ini sering dilengkapi dengan kontrol otomatis untuk mengatur parameter seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengumpanan kawat secara tepat,

sesuai dengan jenis material yang dilas dan ketebalannya. Mekanisme *las metal inert gas* dapat dilihat pada Gambar 2-7.



Gambar 2-8 Mekanisme *Las Metal Inert Gas*

(Sumber : Sen et al., 2018)

2.20 System Testing

Pengujian sistem merupakan evaluasi untuk memastikan bahwa perangkat lunak memenuhi persyaratan awal yang telah ditetapkan. Proses ini mencakup validasi dan verifikasi terhadap standar yang ditentukan oleh pengguna, dan hasilnya dibandingkan dengan sistem yang diharapkan. Tujuan pengujian perangkat lunak adalah untuk menemukan bug, kesalahan, dan kekurangan dalam sistem yang dikembangkan. Pengujian ini juga dapat dilihat sebagai aktivitas berbasis risiko. Selama proses pengujian, penting bagi penguji perangkat lunak untuk memahami cara mengurangi jumlah pengujian menjadi satu set yang dapat dikelola dengan baik, serta membuat keputusan yang cerdas tentang risiko mana yang harus diprioritaskan untuk diuji (Jamil et al., 2016).

Pengujian perangkat lunak terdiri dari berbagai tingkatan, di mana setiap tingkatan mengacu pada fase-fase tertentu dalam proses pengujian yang dilakukan sepanjang siklus pengembangan perangkat lunak. Berikut adalah penjelasan mengenai setiap tingkatan pengujian tersebut (Umar and Chen, 2021).

- a. **Unit Testing:** Pengujian dimulai pada tingkat paling rendah, yaitu pada tingkat komponen atau modul, untuk memastikan bahwa masing-masing bagian berfungsi sesuai dengan spesifikasi. Tujuannya adalah untuk menemukan kesalahan pada tingkat unit dan memastikan bahwa setiap unit berfungsi dengan benar.
- b. **Integration Testing:** Pengujian dilakukan ketika dua atau lebih unit digabungkan dan diuji bersama untuk memastikan bahwa interaksi dan integrasi antara unit-unit tersebut berjalan dengan baik. Tujuannya adalah untuk menemukan kesalahan dalam interaksi antar unit dan memastikan bahwa integrasi sistem berjalan lancar..
- c. **System Testing:** Pengujian dilakukan pada sistem secara keseluruhan untuk memastikan bahwa semua persyaratan fungsional dan non-fungsional yang telah ditetapkan terpenuhi. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sistem beroperasi sesuai dengan rencana dan dapat digunakan dengan benar.
- d. **Acceptance Testing:** Tahap di mana sistem diserahkan kepada pengguna atau pelanggan untuk diuji secara langsung bertujuan memastikan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan mereka.

Pengujian perangkat lunak harus dikembangkan menggunakan berbagai metode untuk memastikan pengujian yang efektif dan akurat. Metode pengujian yang paling umum digunakan adalah *black box testing* dan *white box testing*. Berikut ini adalah penjelasan dari kedua metode tersebut (Umar and Zhanfang 2020):

1. **White box testing** atau **Pengujian Kotak Putih**

White box testing, atau pengujian kotak putih, adalah metode pengujian yang efektif karena tidak hanya menguji fungsionalitas perangkat lunak tetapi juga struktur internalnya. Merancang kasus uji untuk metode ini memerlukan keterampilan pemrograman. Pengujian kotak putih dapat diterapkan pada semua tingkatan pengujian, termasuk unit, integrasi, dan sistem, serta dapat berfungsi sebagai pengujian keamanan untuk memastikan perlindungan data dan fungsionalitas yang diharapkan.

Pengujian ini mampu memeriksa semua jalur dalam modul, keputusan logis, loop, dan struktur data internal perangkat lunak.

2. ***Black Box Testing* atau Pengujian Kotak Hitam**

Black Box Testing atau Pengujian Kotak Hitam adalah metode pengujian yang berfokus pada memastikan bahwa unit atau modul program memenuhi kebutuhan yang telah ditetapkan dalam *Design Requirement & Objectives* (DRNO). Dalam pengujian kotak hitam, unit atau modul dijalankan atau dieksekusi, dan hasilnya diamati untuk menentukan apakah sesuai dengan proses yang diharapkan. Pengujian kotak hitam memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Pengujian kotak hitam berfokus pada aspek fungsionalitas perangkat lunak sesuai dengan spesifikasi kebutuhan yang telah ditetapkan.
2. Pengujian kotak hitam menyediakan pendekatan yang melengkapi dalam mendeteksi kesalahan, berbeda dengan metode pengujian kotak putih yang memiliki pendekatan yang berbeda.
3. Pengujian kotak hitam dilakukan tanpa memperhatikan detail struktur internal dari sistem atau komponen yang sedang diuji.

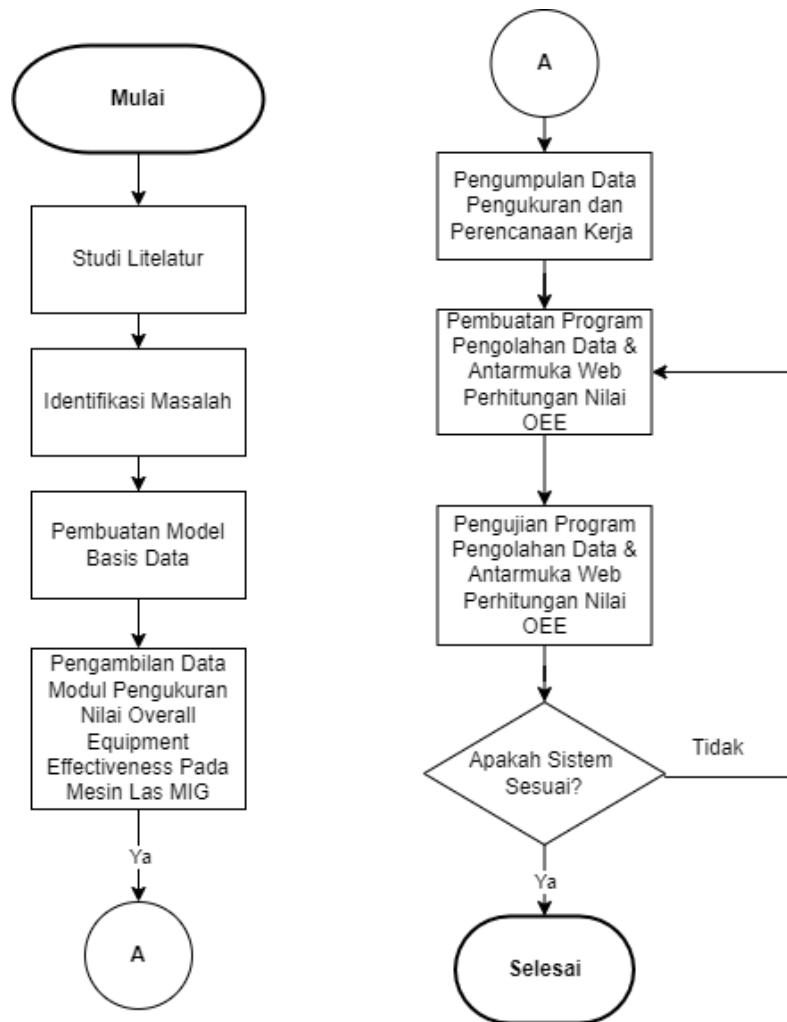
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan tinjauan studi literatur untuk mendapatkan informasi tentang mesin las dan kasus studi yang relevan, baik sumber dari sumber-sumber *online* maupun buku cetak. Fokus pencarian informasi adalah pada konsep perhitungan nilai OEE pada mesin sesuai spesifikasi industri yang diperlukan. Berikutnya melakukan identifikasi masalah yang terjadi pada proses perancangan sistem perhitungan nilai OEE. Selanjutnya, dilakukan pembuatan model basis data yang sedang dikembangkan yaitu sistem perhitungan nilai OEE. Tahap berikutnya, pengambilan data modul pengukuran nilai OEE mesin tersebut pada mesin las MIG untuk mengevaluasi data yang diambil untuk perhitungan nilai OEE.

Data tersebut digunakan untuk pembuatan program sistem perhitungan dan tampilan antarmuka *website* nilai OEE, dan program akan dilakukan pengujian untuk mengevaluasi hasil kinerja program yang dibuat. Jika terdapat ketidaksesuaian maka program diperbaiki agar mendapat hasil sesuai yang diinginkan. Alur perancangan modul pengukuran nilai OEE pada mesin las MIG tergambar pada Gambar 3-1.



Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian


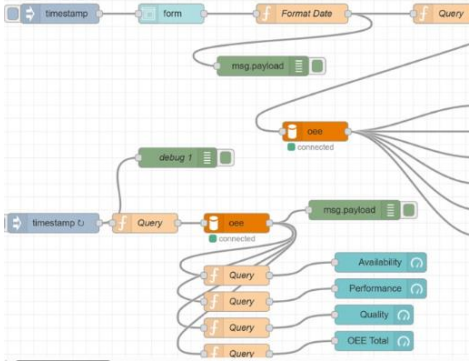
3.2 Peralatan dan Bahan




Penelitian ini menggunakan berbagai peralatan dan bahan untuk mendukung proses pengujian dan analisis. Peralatan utama yang digunakan mencakup mesin las *Metal Inert Gas* (MIG) yang dilengkapi dengan modul pengukuran OEE untuk mengukur efektivitas peralatan secara keseluruhan.


3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam melakukan perancangan modul pengukuran nilai OEE ditunjukkan pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Alat dan Fungsi

No	Alat	Fungsi																																																							
1	<p>Modul Pengukuran Nilai OEE dan Mesin Las <i>Metal Inert Gas</i></p> 	<p>Digunakan untuk alat bantu mengukur operasi mesin las <i>Metal Inert Gas</i> (MIG) dan mesin untuk penelitian dalam perancangan modul.</p>																																																							
2	<p><i>Database Management System</i> (DBMS)</p> <table border="1" data-bbox="411 1137 922 1541"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>flowrod</th> <th>flowgas</th> <th>arus</th> <th>waktu</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>321</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2024</td></tr> <tr><td>322</td><td>0</td><td>0</td><td>0,09</td><td>2024</td></tr> <tr><td>323</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2024</td></tr> <tr><td>324</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2024</td></tr> <tr><td>325</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2024</td></tr> <tr><td>326</td><td>0</td><td>0</td><td>0,1</td><td>2024</td></tr> <tr><td>327</td><td>0</td><td>0</td><td>0,1</td><td>2024</td></tr> <tr><td>328</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2024</td></tr> <tr><td>329</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2024</td></tr> <tr><td>330</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>2024</td></tr> </tbody> </table>	#	flowrod	flowgas	arus	waktu	321	0	0	0	2024	322	0	0	0,09	2024	323	0	0	0	2024	324	0	0	0	2024	325	0	0	0	2024	326	0	0	0,1	2024	327	0	0	0,1	2024	328	0	0	0	2024	329	0	0	0	2024	330	0	0	0	2024	<p>Digunakan untuk penyimpanan data nilai pembacaan sensor dan mengolah data untuk mendapatkan nilai perhitungan nilai OEE</p>
#	flowrod	flowgas	arus	waktu																																																					
321	0	0	0	2024																																																					
322	0	0	0,09	2024																																																					
323	0	0	0	2024																																																					
324	0	0	0	2024																																																					
325	0	0	0	2024																																																					
326	0	0	0,1	2024																																																					
327	0	0	0,1	2024																																																					
328	0	0	0	2024																																																					
329	0	0	0	2024																																																					
330	0	0	0	2024																																																					
3	<p><i>Node-RED</i></p> 	<p>Digunakan untuk platform penyedia layanan antarmuka <i>website</i></p>																																																							

No	Alat	Fungsi
4	<p><i>Mini PC</i></p> 	<p>Digunakan untuk server utama sebagai pengolah data dan menampilkan nilai perhitungan nilai OEE</p>
5	<p><i>Tachometer</i></p> 	<p>Digunakan untuk pembandingan bacaan sensor putaran kawat</p>
6	<p><i>Flowmeter</i></p> 	<p>Digunakan untuk pembandingan bacaan sensor aliran gas</p>


No	Alat	Fungsi
7	<i>Clampmeter</i> 	Digunakan untuk pembandingan bacaan sensor arus listrik

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam melakukan perancangan modul pengukuran nilai OEE ditunjukkan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Bahan dan Fungsi

No	Bahan	Fungsi
1	Kawat Las 	Digunakan untuk bahan elektroda dalam pengelasan
2	Spesimen Benda Kerja Las 	Digunakan untuk spesimen bahan uji pengelasan untuk pengujian modul

No	Bahan	Fungsi
3	Kompresor 	Digunakan untuk pengganti gas pelindung saat uji pengelasan las <i>Metal Inert Gas</i> (MIG)

3.3 Pemilihan Studi Kasus modul pengukuran nilai OEE

Pemilihan studi kasus modul pengukuran nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang relevan untuk memastikan aplikasi dan pengujian modul dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan.

3.3.1 Pemilihan Mesin Las *Metal Inert Gas* (MIG)

Pada penelitian ini, sebuah alat uji yang dirancang berupa mesin las MIG digunakan untuk mempelajari parameter-parameter yang memengaruhi status mesin. Mesin las ini berfungsi sebagai objek uji untuk mengevaluasi operasi mesin, yang melibatkan penggunaan *torch* untuk mengarahkan panas dan bahan pengisi ke area las. Mesin las MIG dapat dilihat pada Gambar 3-2.



Gambar 3-2 Mesin Las Metal Inert Gas (MIG)

Adapun spesifikasi mesin las MIG dapat dilihat pada Tabel 3-3.

Tabel 3-3 Spesifikasi Mesin Las MIG

Merek Dagang	<i>IZUMI MIG 130</i>
Tegangan Tanpa Beban	<i>25 Volt</i>
Tegangan Masukan	<i>220 Volt/50 Hz</i>
Arus Maksimum	<i>27 Ampere</i>
Arus Keluar	<i>30-130 Ampere</i>
Diameter Kawat Las	<i>0.8-0.9 mm</i>
Efisiensi	<i>70%</i>
Ukuran Mesin	<i>275 x 135 x 238 mm</i>
Kapasitas Kawat Mig	<i>1 Kg</i>

3.3.2 Konsep Modul Pengukuran Nilai OEE

Modul pengukuran nilai OEE dan perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) memerlukan pendekatan yang terstruktur dan terpadu. Langkah awal melibatkan pemasangan sensor dan perangkat pengukuran pada mesin las untuk mengumpulkan data operasional dengan konsep pendekatan *Internet of Things* (IoT). Data yang dikumpulkan mencakup waktu mesin dalam kondisi operasi, diam, dan mati. Sistem ini harus mampu mengidentifikasi dan merekam berbagai kondisi mesin seperti operasional, tidak beroperasi, idle, atau mengalami kerusakan dengan konsep *Cyber Physical System* (CPS) untuk mengidentifikasi kondisi mesin di dunia nyata dan memodelkannya ke dunia digital. Selanjutnya, data yang terkumpul dianalisis menggunakan perangkat lunak khusus untuk menghitung tiga komponen utama OEE yaitu Ketersediaan (*Availability*), Kinerja (*Performance*), dan Kualitas (*Quality*). *Availability* dihitung berdasarkan persentase waktu mesin beroperasi dibandingkan dengan waktu yang direncanakan, *Performance* diukur berdasarkan kecepatan produksi aktual dibandingkan dengan total waktu operasi mesin, dan *Quality* dievaluasi berdasarkan jumlah produk yang memenuhi standar kualitas dibandingkan dengan total produksi. Penerapan sistem ini dalam perusahaan dapat memberikan gambaran yang akurat tentang efisiensi dan efektivitas mesin las serta

mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan untuk meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Adapun Status kerja mesin las dapat dilihat pada Tabel 3-4.

Tabel 3-4 Status Operasi Mesin

Parameter	Status Kerja (Yes/No)		
	<i>Operating</i>	<i>Idle</i>	<i>Off</i>
Arus	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
Aliran Gas	<i>Yes/No</i>	<i>No</i>	<i>No</i>
Aliran Kawat	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>No</i>

Modul pengukuran nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dirancang untuk mengukur efektivitas penggunaan mesin dalam proses produksi di industri. Pada penerapannya, modul ini menggunakan beberapa perangkat pengukuran yang terintegrasi untuk memantau dan mencatat parameter-parameter penting yang mempengaruhi nilai OEE, yaitu *Availability*, *Performance*, dan *Quality*. Penggunaan peralatan pengukuran OEE di industri dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemasangan Sensor pada Mesin Produksi

Modul ini dilengkapi dengan berbagai sensor untuk mengukur parameter-parameter yang dibutuhkan. Misalnya, sensor arus dipasang untuk mengukur aliran arus pada mesin las, sensor *flowmeter* untuk memantau aliran gas, dan sensor infra merah untuk mengukur aliran kawat las. Setiap sensor ini berfungsi untuk mengumpulkan data operasional mesin secara *real-time*.

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data dari sensor dikumpulkan oleh kontroler yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data. Kontroler ini mengintegrasikan semua data dari sensor, seperti waktu aktif mesin (untuk menghitung *Availability*), kecepatan operasi mesin (untuk menghitung *Performance*), dan jumlah produk cacat (untuk menghitung *Quality*). Penggunaan kontroler memastikan bahwa semua data diolah dengan cepat dan akurat sebelum dikirim ke basis data.

3. Penyimpanan Data di Basis Data Lokal dan Server

Modul OEE ini menggunakan dua jenis penyimpanan data, yaitu basis data lokal (*localhost*) dan basis data server. Basis data lokal yang terletak pada *Single Board Computer* (SBC) menyimpan data secara sementara untuk memastikan data tidak hilang jika terjadi gangguan jaringan atau saat mesin berada jauh dari server pusat. Setelah itu, data akan dikirim secara otomatis ke basis data server saat koneksi stabil. Penyimpanan terpusat pada server memungkinkan data dapat diakses oleh beberapa perangkat sekaligus dan memudahkan pengelolaan data secara menyeluruh.

4. Visualisasi dan Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan dan diolah akan divisualisasikan dalam bentuk grafik pada antarmuka website yang terhubung ke basis data server. Pengguna di industri dapat memantau kondisi mesin, melihat nilai OEE secara *real-time*, dan mengidentifikasi area yang perlu diperbaiki untuk meningkatkan efektivitas mesin produksi.

5. Pemantauan Jarak Jauh

Modul OEE juga dilengkapi dengan konektivitas yang memungkinkan pemantauan jarak jauh. Dengan fitur ini, manajer produksi atau teknisi dapat memantau kinerja mesin dari lokasi yang berbeda, memudahkan proses pengawasan tanpa harus berada langsung di dekat mesin.

Dengan adanya modul pengukuran nilai OEE ini, proses pemantauan mesin produksi di industri menjadi lebih efisien dan akurat. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengevaluasi performa mesin secara keseluruhan, mengidentifikasi hambatan, serta merancang strategi perbaikan untuk meningkatkan produktivitas mesin dan efisiensi operasional.

3.4 Kriteria Desain Spesifikasi Sistem Perhitungan Nilai OEE

Sistem perhitungan nilai OEE memiliki kriteria desain yang harus dipenuhi agar modul pengukuran nilai OEE dapat menghitung nilai OEE pada mesin las

MIG. Tabel 3-5 merupakan spesifikasi produk sistem perhitungan nilai OEE pada mesin las MIG. Perencanaan spesifikasi produk dilakukan untuk menjamin produk dapat berfungsi sesuai rencana. Spesifikasi sistem perhitungan nilai OEE adalah sebagai berikut:

1. Kinerja

Modul ini memiliki fungsi untuk mengubah data dari sensor menjadi format digital untuk menyimpannya ke dalam basis data. Data pengukuran sensor yang telah dikonversi dapat diakses oleh pengguna melalui *website* menggunakan jaringan lokal, dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengakses *website* tersebut perlu melakukan *scan Quick Response (QR) code* pada mesin.

2. Fitur

Sistem pengukuran nilai OEE memiliki fitur sebagai berikut:

Antarmuka *website* untuk sistem perhitungan nilai OEE dapat diakses melalui komputer atau telepon genggam menggunakan jaringan lokal. Sistem ini berfungsi sebagai host sistem, dan pengguna mengakses antarmuka *website* dengan mengunjungi alamat *website* untuk perhitungan nilai OEE dengan melakukan *scan Quick Response (QR) code*.

3. Keandalan

Modul pengukuran nilai OEE ini handal dalam menampilkan visualisasi data dan sistem perhitungan nilai OEE secara visual pada antarmuka *website*. Antarmuka tersebut memiliki waktu muat rata-rata sekitar 10 detik dan modul handal beroperasi minimal 5 jam mengirim data.

Tabel 3-5 Kriteria Desain Spesifikasi Sistem Pengukuran Nilai OEE

Kinerja
<ul style="list-style-type: none"> • Mampu menyimpan data pengukuran ke dalam basis data. • Mampu menampilkan diagram data sistem yang diakses oleh pengguna melalui antarmuka <i>website</i> pada jaringan lokal dengan <i>scan Quick Response (QR) code</i> pada mesin las MIG untuk masuk dalam antarmuka <i>website</i>.
Fitur

- Antarmuka *website* sistem perhitungan dapat diakses melalui telepon genggam/komputer melalui jaringan lokal dengan cara *scan Quick Response (QR) code* pada mesin las MIG.

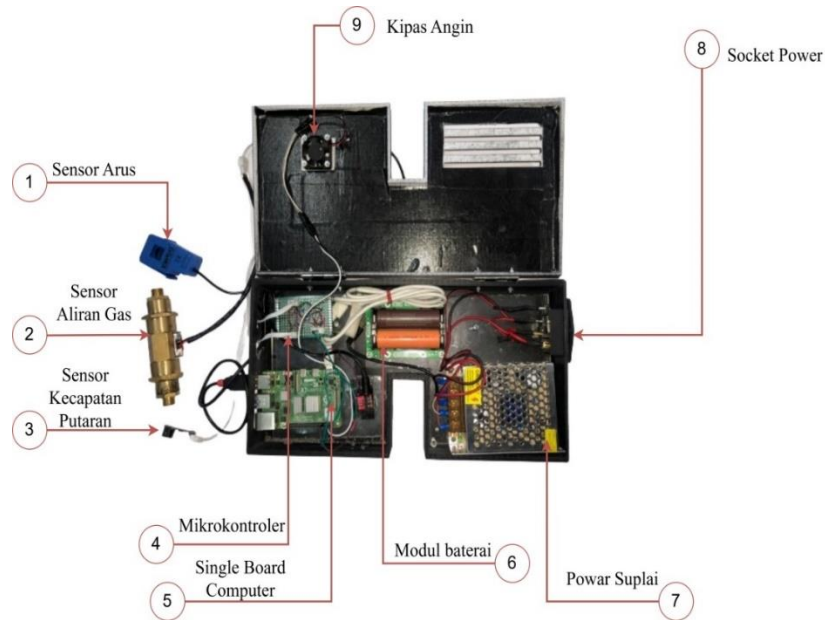
Keandalan

- Modul dapat beroperasi minimal selama 5 jam mengirim data
- Modul pengukuran nilai OEE dalam menampilkan visualisasi data sistem perhitungan nilai OEE pada antarmuka *website* dengan durasi waktu pemuatan *website* selama 10 detik

3.5 Komponen Modul Pengukuran Nilai OEE

Komponen penyusun modul pengukuran nilai OEE diantaranya *socket power* sebagai penghubung sumber listrik 220 V-AC untuk menyuplai kebutuhan listrik pada komponen lain. *Socket power* memiliki tiga fitur yaitu *socket* kabel *power*, sekering pengaman, dan saklar mengaktifkan modul.

Socket power dihubungkan dengan terminal blok yang berfungsi untuk membagi listrik AC ke komponen modul baterai. Kabel input dari *socket power* dihubungkan dengan modul baterai, yang kemudian dihubungkan ke *power supply* dengan sumber listrik AC. Modul baterai berfungsi sebagai sumber daya cadangan (*emergency backup*) yang memberikan daya ke *Single Board Computer (SBC)*, mikrokontroler sensor arus, sensor aliran gas, sensor kecepatan putaran, dan kipas angin jika terjadi pemadaman listrik. Dengan adanya modul baterai, sistem tetap dapat menghitung dan mencatat data secara *real-time* tanpa terputus. Apabila modul baterai telah terisi penuh, sistem *on/off* akan memutuskan sumber listrik agar modul baterai tidak mengalami proses *overcharging* yang dapat menyebabkan kerusakan. Selain itu, saat listrik padam, modul baterai akan secara otomatis memasok daya ke perangkat sehingga proses perhitungan tetap berjalan. SBC berfungsi sebagai perangkat untuk menerima data pengukuran, menyimpan data pengukuran, dan mengirimkan data ke komputer server. Komponen penyusun modul pengukuran nilai OEE dapat dilihat pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 Komponen Modul Pengukuran Nilai OEE

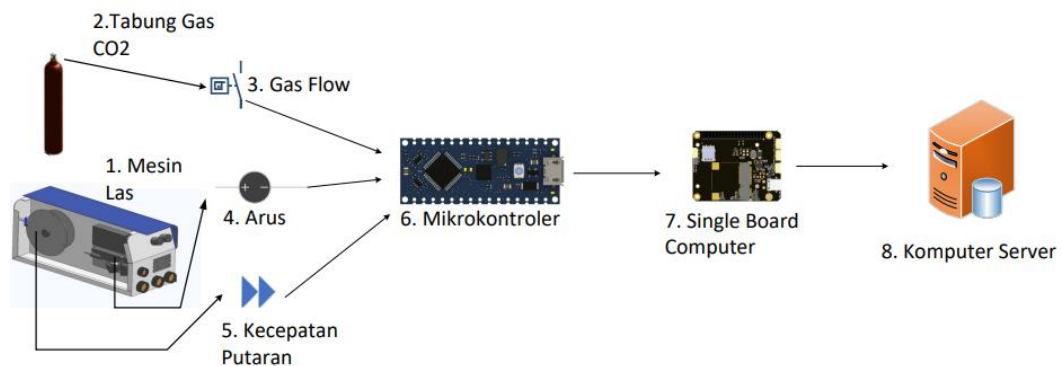
3.6 Sistem Kerja Modul Pengukuran Nilai OEE

Alat ukur yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan mesin las sebagai objek uji. Mesin las ini diukur untuk menentukan statusnya melalui berbagai parameter penting. Parameter yang diukur meliputi arus menggunakan sensor arus, aliran gas dengan sensor kecepatan putar kawat, dan aliran kawat menggunakan sensor infra merah. Data dari pengukuran ini diterima oleh kontroler, yang berfungsi untuk mengolah data, menyediakan antarmuka komunikasi, dan mengelola perangkat data yang dilengkapi dengan modul *wifi*. Data pengukuran tersebut disimpan dalam dua jenis basis data: basis data lokal (*localhost*) dan basis data server.

Basis data lokal (*localhost*) berfungsi untuk menyimpan data langsung pada kontroler (*Single Board Computer* atau SBC), yang memungkinkan data dapat tersimpan sementara secara otomatis. Penyimpanan lokal ini sangat penting terutama ketika mesin yang terpasang modul berada jauh dari penyimpanan pusat (*server*) atau ketika koneksi jaringan tidak stabil. Dengan penyimpanan data lokal di SBC, jika terjadi gangguan pada jaringan atau koneksi ke server pusat, data dari sensor tetap dapat disimpan dan tidak hilang. Data yang tersimpan di basis data lokal akan secara otomatis dikirim ke basis data server saat koneksi stabil kembali.

Hal ini menghindari risiko kehilangan data yang mungkin terjadi jika data dari sensor langsung dikirim ke penyimpanan utama tanpa melalui penyimpanan lokal terlebih dahulu.

Sebaliknya, basis data server digunakan untuk menyimpan data secara terpusat, memungkinkan beberapa perangkat untuk mengakses dan memperbarui data secara bersamaan. Data yang disimpan kemudian diolah menggunakan *Python* untuk membuat rencana penjadwalan dan menganalisis proses operasi yang dilakukan. Hasil pengukuran akan divisualisasikan dalam bentuk grafik pada antarmuka website yang dapat diakses langsung melalui perangkat pengguna seperti ponsel atau komputer melalui jaringan lokal. Dengan demikian, status mesin dapat dievaluasi, dan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dapat diketahui secara *real-time* dalam penelitian ini. Sistem kerja modul ini dapat dilihat pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 Perancangan Perangkat Keras Modul Pengukuran Nilai OEE

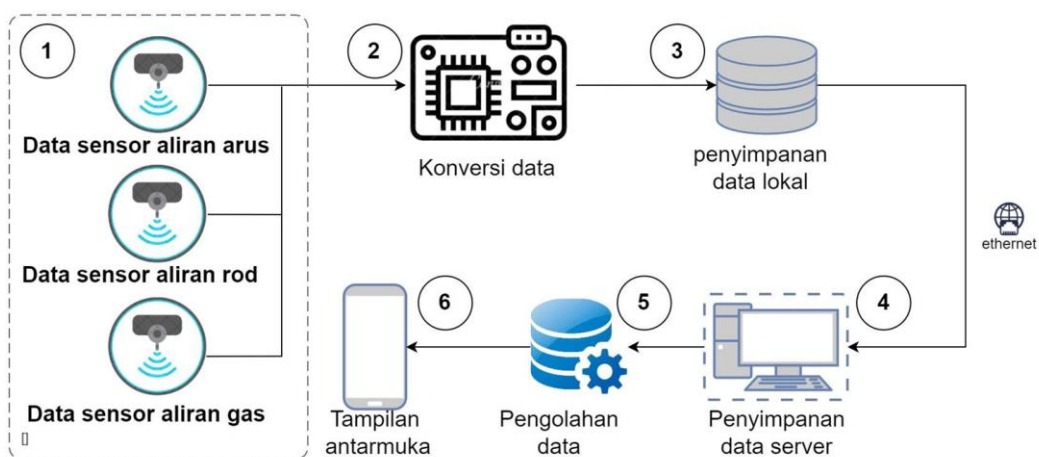
3.7 Perancangan Sistem Perhitungan Nilai OEE

Perancangan perangkat lunak membahas bagaimana perangkat lunak dirancang untuk mendukung sistem secara keseluruhan. Berikut ini adalah proses perancangan perangkat lunak pada modul pengukuran nilai OEE.

3.7.1 Proses Transfer Data Sistem Perhitungan Nilai OEE

Gambar 3-5 menunjukkan alur proses transfer data pada modul pengukuran dan sistem perhitungan nilai OEE. Proses ini dimulai dengan penerimaan data pengukuran dari sensor, yang kemudian dikirim ke mikrokontroler untuk diproses.

Mikrokontroler bertugas melakukan pemrosesan awal data, termasuk pengolahan dan penyaringan, sebelum mengirimkan data yang telah diproses ke *Single Board Computer* (SBC) melalui komunikasi serial. Data yang telah diproses kemudian disimpan dalam basis data lokal untuk analisis atau penggunaan langsung. Selanjutnya, data pengukuran yang tersimpan dalam basis data lokal disinkronisasi dengan basis data server untuk akses yang lebih luas dan penyimpanan jangka panjang. Basis data server ini juga berfungsi untuk mengolah data guna keperluan sistem perhitungan nilai OEE.



Gambar 3-5 Proses Transfer Data Modul Pengukuran Operasi Mesin dan Sistem Perhitungan Nilai OEE

Data yang telah diukur, disimpan, dan diolah akan divisualisasikan dalam bentuk grafik pada antarmuka *website*. Perangkat *Node-RED* digunakan untuk menampilkan data yang telah diolah dan disimpan di basis data server ke dalam bentuk grafik pada halaman *website*. Pengguna dapat mengakses laman perhitungan nilai OEE dengan memindai kode *Quick Response (QR) code*, asalkan mereka terhubung ke jaringan nirkabel yang sama.

Sistem perhitungan nilai OEE memerlukan perangkat keras dan komputer yang mampu menerima, mengolah, menyimpan data hasil pengukuran, serta menampilkan visualisasi data dalam bentuk *website*. Raspberry Pi 4 Model B dipilih karena pertimbangannya sebagai SBC yang mampu memenuhi kriteria tersebut. Raspberry Pi 4B memiliki kinerja yang cukup baik untuk menerima dan

menyimpan data, dan dimensi ukurannya yang ringkas memungkinkan penyatuan dengan komponen lain dalam satu *casing*.

3.7.2 Model Data Sistem Perhitungan Nilai OEE

Pada perancangan model basis data, dijelaskan bagaimana struktur penyimpanan data dirancang untuk mendukung kebutuhan operasional sistem. Basis data dirancang dalam dua jenis: basis data lokal dan basis data server. Basis data lokal digunakan untuk penyimpanan sementara dan pemrosesan data di lokasi mesin, memungkinkan akses data yang cepat dan efisien. Sementara itu, basis data server berfungsi sebagai pusat penyimpanan data yang terintegrasi, memungkinkan pengelolaan dan analisis data secara menyeluruh. Perancangan basis data ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan dapat diakses, dianalisis, dan diintegrasikan dengan mudah, mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dan meningkatkan efisiensi operasional sistem.

1. Model Basis Data Lokal Sistem Perhitungan Nilai OEE

Ketika data dari sensor diterima, langkah pertama adalah menyimpan data tersebut pada Single Board Computer (SBC). Penyimpanan ini bersifat lokal karena SBC memiliki keterbatasan ruang penyimpanan, dan hal ini dilakukan untuk mengantisipasi gangguan pada jaringan ethernet selama pengolahan data. Proses penyimpanan data lokal ini menggunakan tipe *database networking* dengan IP address tertentu. Langkah awalnya adalah mendesain struktur tabel yang digunakan untuk menyimpan data yang diperoleh dari sensor dan perangkat lainnya.

Pada Gambar 3-6 menunjukkan model dari basis data lokal dengan nodal *cpl_las* server mesinlas, yang digunakan untuk memberikan identitas data yang diperoleh dari modul dan penyimpanan sementara dari data sensor. Kolom *arus* mencatat data sensor arus, kolom *flowrod* mencatat data kecepatan putar kawat, dan kolom *flowgas* mencatat data aliran gas. Tabel ini juga memiliki kolom waktu terkirim untuk mencatat waktu data yang berhasil dikirim ke server. Kolom *idoperasi* digunakan untuk mencatat identitas operasi pemesinan yang dilakukan, sedangkan kolom "idtypemesin" digunakan untuk mencatat identitas tipe mesin.

Field Name	Data Type
flowgas	float
flowrod	float
arus	float
datetime	datetime
waktuter kirim	datetime
idoperasi	varchar(50)
idtypemesin	varchar(50)

Gambar 3-6 Model Basis Data Lokal

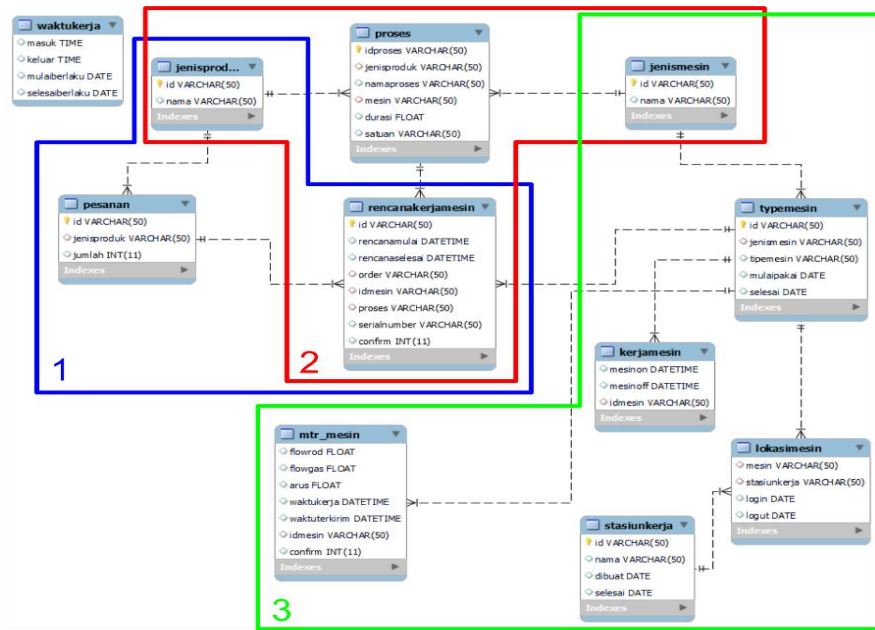
2. Model Basis Data Utama Sistem Perhitungan Nilai OEE

Pada Gambar 3-7 menunjukkan model dari basis data utama, yang digunakan untuk memberika identitas data yang diperoleh dari data lokal dan input manual. Pada Area 1, kotak biru menunjukkan hubungan nodal "pesanan" antara tabel "pesanan," yang mencatat jumlah pesanan produk yang direncanakan untuk diproduksi, dengan tabel "jenisproduk," yang digunakan untuk menentukan jenis produk yang akan dibuat. Tabel "pesanan" juga terhubung dengan tabel "rencana kerja mesin," yang digunakan untuk merencanakan durasi kerja mesin berdasarkan pesanan yang diterima.

Pada Area 2, kotak merah menunjukkan hubungan nodal "proses" untuk menentukan proses pemesinan yang dilakukan. Nodal ini terhubung dengan nodal "jenisproduk" untuk menentukan jenis produk yang diproses sesuai dengan jenisnya. Selain itu, nodal "proses" juga terhubung dengan nodal "jenismesin," yang digunakan untuk menentukan jenis mesin yang digunakan dalam proses pembuatan produk.

Pada Area 3, kotak hijau menunjukkan hubungan nodal untuk pengukuran sensor yang digunakan untuk memantau data operasi aktual dari mesin. Nodal "mtr_mesin" digunakan untuk menerima data yang dikirim dari basis data lokal mengenai pembacaan sensor. Nodal ini terhubung dengan nodal "typemesin" yang digunakan untuk mengidentifikasi tipe mesin yang digunakan.

Nodal "kerjamesin" terhubung ke nodal "typemesin" untuk mengolah data dari sensor dan memilah data operasi mesin antara "on" dan "off". Nodal "stasiunkerja" digunakan untuk mengidentifikasi stasiun kerja dan terhubung dengan nodal "lokasimesin" yang digunakan untuk mengetahui lokasi mesin pada stasiun kerja. Nodal "lokasimesin" terhubung dengan nodal "typemesin" untuk mengetahui lokasi tipe mesin tersebut pada stasiun kerja. Nodal "typemesin" digunakan untuk mengidentifikasi mesin yang terhubung dengan nodal "jenismesin" untuk mengetahui jenis mesin dari tipe mesin yang sedang diolah datanya. Selain itu, nodal "waktukerja" tidak terhubung dengan nodal lain, namun nodal tersebut digunakan untuk pengolahan data sistem perhitungan nilai OEE.

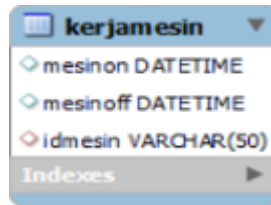


Gambar 3-7 Model Basis Data Utama

3.7.3 Perancangan Sistem Pengolahan Data Operasi Mesin

Sistem pengolah data operasi ini digunakan untuk memproses data dari modul pengukuran guna memantau operasi aktual mesin las MIG dan mengevaluasi kinerjanya. Proses pengolahan data dibantu oleh Python untuk penyortiran data dari modul pengukuran secara otomatis. Setelah disortir data

tersebut masuk ke table kerjamesin untuk mengetahui durasi operasinya. Nodal tabel "kerjamesin" dapat dilihat pada Gambar 3-8.



Gambar 3-8 Nodal tabel "kerjamesin"

Berikut adalah penjelasan tentang data status kerja mesin:

1. Status Kerja Mesin On

Status kerja mesin "on" digunakan untuk mendeteksi bahwa modul pengukuran mengidentifikasi mesin mulai beroperasi. Dengan bantuan sensor pada modul, operasi kerja mesin dapat dipantau. Data dari sensor kemudian diolah untuk mengetahui durasi operasi mesin dengan menghitung selisih waktu antara mesin "on" dan mesin "off".

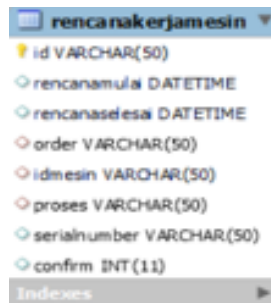
2. Status Kerja Mesin Off

Status kerja mesin "off" digunakan untuk mendeteksi bahwa modul pengukuran mengidentifikasi mesin telah berhenti beroperasi. Dengan bantuan sensor pada modul, penghentian operasi mesin dapat dipantau. Data dari sensor kemudian diolah untuk mengetahui durasi operasi mesin dengan menghitung selisih waktu antara status mesin "on" dan status mesin "off".

3.7.4 Perancangan Sistem Data Rencana Kerja Mesin dan Hasil Kualitas Produk

Proses perancangan sistem yang digunakan untuk membuat rencana penjadwalan operasi produksi dan mencatat hasil produk secara manual. Sistem ini mencakup metode dan langkah-langkah yang diperlukan untuk merencanakan jadwal produksi, termasuk alokasi sumber daya dan waktu, serta mencatat dan mengelola hasil akhir produk. Dalam proses pencatatan hasil produk, nilai *Good Count* ditentukan secara manual oleh operator dengan cara menghitung dan memisahkan produk yang memenuhi standar kualitas dan produk cacat secara

visual. Jumlah produk baik dihitung satu per satu setelah proses produksi selesai dan diinput ke sistem. Metode manual ini digunakan untuk memastikan keakuratan data yang diperoleh secara langsung dari lapangan. Proses ini memastikan bahwa semua data penjadwalan dan hasil produksi diinput secara manual untuk mendukung pengambilan keputusan dan evaluasi kinerja produksi. Nodal tabel "rencanakerjamesin" dapat dilihat pada Gambar 3-9.



Gambar 3-9 Nodal Tabel "rencanakerjamesin"

Berikut adalah penjelasan tentang data rencana kerja mesin yang di input secara manual:

1. Rencana Operasi Mesin

Rencana operasi mesin mencakup jadwal dan urutan tugas yang harus dilakukan oleh mesin. Ini termasuk waktu mulai dan berakhirnya setiap operasi, jenis operasi yang akan dilakukan, serta prioritas dari setiap tugas. Rencana ini memastikan bahwa mesin digunakan secara efisien dan setiap tugas dilaksanakan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

2. Rencana Total Produk

Rencana total produk menentukan jumlah produk yang harus dihasilkan dalam periode waktu tertentu. Data ini penting untuk memastikan bahwa produksi memenuhi permintaan dan target yang telah ditetapkan oleh manajemen. Rencana ini juga membantu dalam mengatur alokasi sumber daya dan memastikan bahwa kapasitas produksi digunakan secara optimal.

3. Rencana Durasi Proses Setiap Produk

Rencana durasi proses setiap produk menguraikan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap tahap produksi untuk setiap produk. Ini termasuk waktu persiapan, waktu operasi, dan waktu penyelesaian. Informasi ini membantu dalam mengatur jadwal kerja dan memastikan

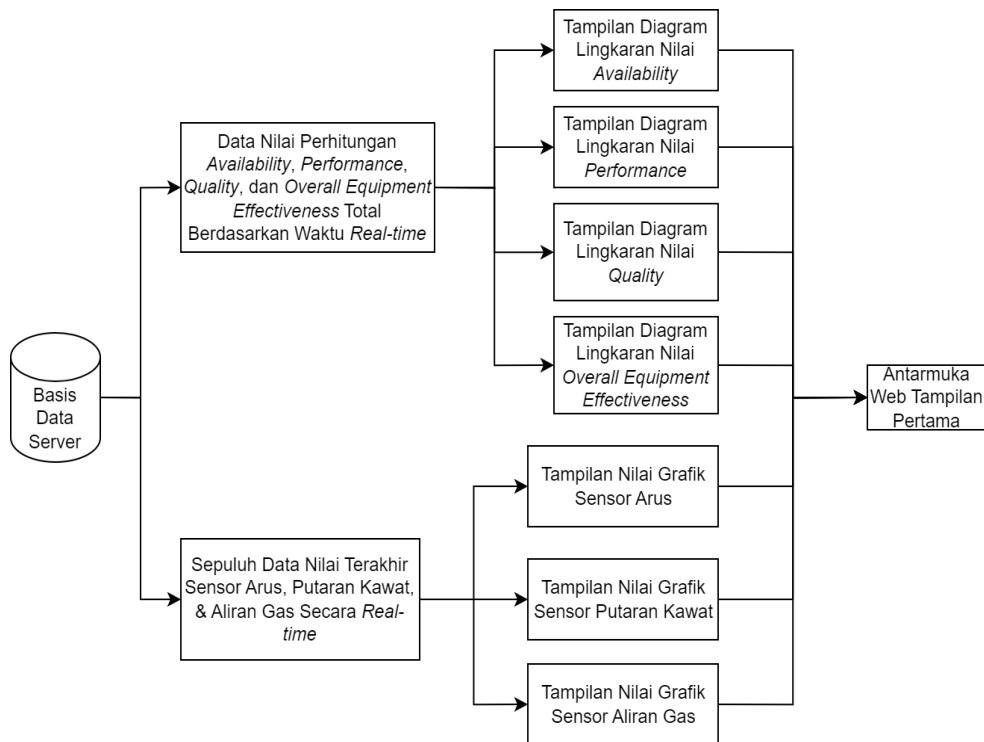
bahwa setiap produk diproses sesuai dengan waktu yang telah ditentukan untuk menjaga efisiensi dan menghindari penundaan.

4. Hasil Kualitas Produk

Hasil kualitas produk mencatat kualitas akhir dari produk yang dihasilkan untuk menentukan produk tersebut memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. Dalam proses ini, nilai *Good Count* dihitung secara manual oleh operator dengan cara memisahkan produk yang memenuhi standar kualitas dari produk yang cacat melalui pemeriksaan visual. Setiap produk baik dihitung satu per satu dan hasilnya dicatat secara manual sebelum diinput ke dalam sistem untuk perhitungan nilai *Quality*. Metode manual ini digunakan karena akurasi penghitungan *Good Count* sangat bergantung pada ketelitian dan keahlian operator dalam mengidentifikasi produk yang sesuai dengan standar. Data ini penting untuk evaluasi kinerja produksi serta memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi persyaratan pelanggan dan standar industri. Hasil kualitas produk juga digunakan untuk mengidentifikasi serta memperbaiki masalah kualitas yang mungkin terjadi selama proses produksi.

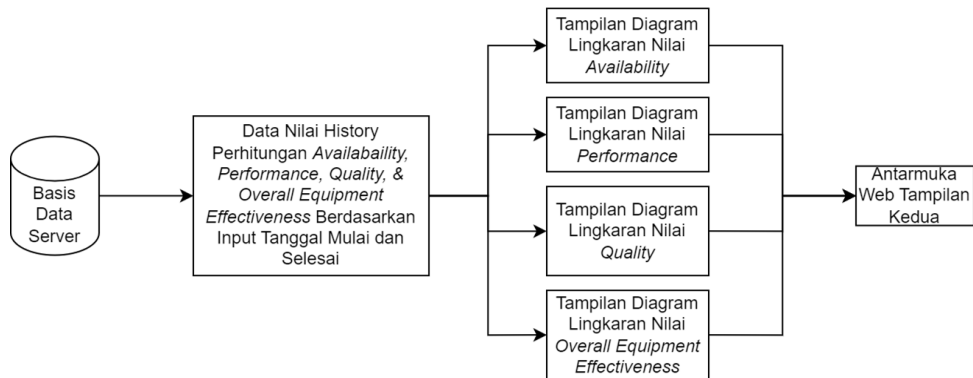
3.7.5 Perancangan Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE

Pada Gambar 3-10, data dari basis data server yang sudah di olah untuk mendapatkan data nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan *Overall Equipment Effectiveness* Total berdasarkan waktu *real-time* di pada *Node-RED* program pertama untuk memanggil nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan *Overall Equipment Effectiveness* Total berdasarkan waktu *real-time* lalu data tersebut akan ditampilkan dengan diagram lingkaran pada antarmuka *website* tampilan pertama. Pada antarmuka *website* pertama ini juga, sepuluh data terakhir dari sensor arus, putaran kawat, dan aliran gas yang diterima secara *real-time* dari basis data server ditampilkan dalam bentuk grafik garis.



Gambar 3-10 Diagram Aliran Perancangan Antarmuka *website* Tampilan Pertama

Pada Gambar 3-11, data dari basis data server sudah di olah untuk mendapatkan data nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan *Overall Equipment Effectiveness* Total berdasarkan *history mesin* pada *Node-RED* program tersebut untuk memanggil nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan *Overall Equipment Effectiveness* Total berdasarkan input tanggal mulai dan selesai lalu data tersebut akan ditampilkan dengan diagram lingkaran pada antarmuka *website* tampilan kedua. Pada gambar ini digunakan untuk menampilkan nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, OEE dari mesin las MIG untuk menampilkan nilai *history* mesin harian, mingguan, bulanan, dan tahunan.



Gambar 3-11 Diagram Aliran Perancangan Antarmuka *website* Tampilan Kedua

Pembuatan antarmuka *website* dilakukan dengan mengakses perangkat lunak *Node-RED* pada alamat sistem perhitungan nilai OEE di port *localhost:1080//*. Pengaturan awal *Node-RED* dapat dilakukan menggunakan akun "*admin*". Antarmuka *website* pengukuran dapat diakses oleh tiga jenis akun pengguna: *admin*, *editor*, dan *viewer*. Pengguna *admin* dapat mengakses, mengedit *dashboard*, dan menambah sumber data. Pengguna *editor* dapat mengakses dan mengedit *dashboard* pengukuran nilai OEE. Pengguna *viewer* hanya dapat mengakses *dashboard* pengukuran OEE.

3.8 Sistem Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE

Pengujian sistem perhitungan nilai OEE dengan sistem basis data dan antarmuka *website* dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem dalam menyimpan, mengolah, dan menampilkan data pengukuran. Pengujian kinerja sistem perhitungan nilai OEE dilakukan dengan pengukuran operasi dari mesin las MIG dengan kapasitas daya sebesar 3300W. Sebuah sistem instrumentasi pengukuran dibuat untuk menyediakan data pengukuran operasi mesin tersebut. Tahapan pengujian untuk modul pengukuran selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Persiapan dan Pengujian Pengelasan Saat Pengukuran dan Sistem Perhitungan

a. Persiapan Spesimen

- Material

Material yang digunakan saat pengujian adalah baja A36

- Dimensi
Dimensi yang digunakan saat pengujian adalah 16 cm x 5 cm x 5 mm.
Ukuran dari besi strip dapat dilihat pada Gambar 3-12.



Gambar 3-12 Ukuran Baja A36

b. Persiapan Pegujian Pengelasan

a) Parameter Proses

- Tegangan pengelasan: 18-22 volt.
- Kecepatan pengelasan: 30-50 cm/menit parameter proses.
- Aliran gas pelindung.

b) Tipe pengelasan yang dilakukan saat pengujian adalah las kontinyu (pengelasan tanpa henti sampai selesai pada satu kali jalan).

c. Persiapan Pengujian Perangkat Keras Modul Pengukuran

Berikut adalah skema pengujian komponen modul pengukuran:

1. Pengujian pembacaan sensor modul pengukuran nilai OEE

a) Pengujian sensor arus

- Hubungkan sensor arus ke mesin las.
- Mulai pengelasan dan catat pembacaan pada modul pengukur.
- Bandingkan dengan *clampmeter* untuk verifikasi akurasi.

b) Pengujian sensor aliran gas

- Pasang sensor aliran gas pada jalur gas pelindung.
- Aktifkan aliran gas dan catat pembacaan pada pada modul pengukur.

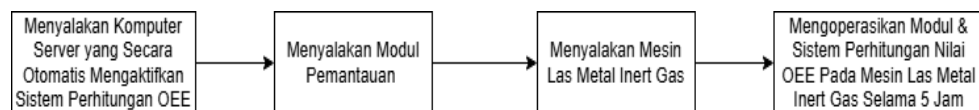
- Bandingkan dengan *flowmeter* gas MF5706 untuk verifikasi akurasi.
- c) Pengujian sensor aliran gas
- Pasang sensor kecepatan putaran pada area putaran piringan kawat mesin las.
 - Mulai pengelasan dan catat pembacaan RPM pada pada modul pengukur.
 - Bandingkan dengan *tachometer* untuk verifikasi akurasi.

d. Persiapan Pengujian Perangkat Lunak Modul Pengukuran

1. Pengujian Pengiriman Data Sensor ke Basis Data
 - a) Pastikan modul pengukuran terhubung ke jaringan.
 - b) Mulai pengelasan dan verifikasi bahwa data sensor dikirim secara *real-time* ke basis data.
 - c) Periksa basis data untuk memastikan data yang diterima lengkap dan akurat.
2. Pengujian Tampilan Antarmuka Perhitungan Nilai OEE
 - a) Jalankan antarmuka di *Node-RED* untuk menampilkan data sensor dan perhitungan nilai OEE
 - b) Implementasikan sistem *QR code* untuk input data tambahan.
 - c) Lakukan pengujian dengan memindai *QR code* menggunakan jaringan yang sama dan verifikasi bahwa data muncul di antarmuka.

2. Pengujian Keandalan Modul Pengukuran Nilai OEE

Pengujian keandalan modul pengukuran nilai OEE dilakukan dengan menguji keandalan modul saat sistem mengirim data secara terus menerus. Penghitungan waktu dari awal sistem dinyalakan hingga dimatikan dilakukan menggunakan *stopwatch* untuk mengetahui keandalan modul dalam memantau operasi mesin dan mengirim data. Alur pengujian keandalan modul dapat dilihat pada gambar 3-13.



Gambar 3-13 Rancangan Pengujian Keandalan Modul Pengukuran dan Sistem Perhitungan OEE

3. Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE

Pengujian visualisasi data diperlukan untuk memastikan pengolahan data dan transfer data ke *website* modul pengukuran dan sistem perhitungan nilai OEE sinkron untuk menghindari salah transfer data saat menampilkan nilai hasil perhitungan nilai OEE di antarmuka *website* sistem perhitungan nilai OEE.

- Pengujian pengiriman data pada basis data
- Hasil pengujian sistem pengolahan data operasi mesin
- Hasil perancangan sistem data rencana kerja mesin dan hasil kualitas produk
- Hasil perancangan *website* sistem perhitungan nilai OEE

4. Pengujian Perbandingan Pengukuran Nilai OEE

a. Perhitungan Nilai OEE Secara Aktual

- Tipe I
1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 21/06/2024
1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 22/06/2024
- Tipe II
2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 2, tanggal 23/06/2024
2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 24/06/2024
2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 25/06/2024
- Tipe III
1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024
1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024
2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 2, tanggal 26/06/2024
2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024
2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024

b. Perhitungan nilai OEE berdasarkan sistem

- Tipe 1
1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 21/06/2024
1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 22/06/2024
- Tipe 2
2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 2, tanggal 23/06/2024

2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 24/06/2024

2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 25/06/2024

- Tipe 3

1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024

1 produk, rencana waktu kerja 2 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024

2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 2, tanggal 26/06/2024

2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024

2 produk, rencana waktu kerja 4 menit, konfirmasi 1, tanggal 26/06/2024

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Pembacaan Modul Pengukuran Nilai OEE

Pengujian pembacaan hasil pengukuran sensor pada modul pengukuran nilai OEE dilakukan untuk mengetahui keakuratan pembacaan sensor. Hasil pengukuran data sensor pada modul dibandingkan dengan alat ukur listrik yang memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Tabel 4-1 merupakan klasifikasi tingkat pengukuran alat ukur listrik berstandar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 13B-23 tentang *electrical measuring instruments*. Data referensi pada Tabel 4-1 menjadi acuan untuk mengklasifikasikan tingkat golongan ketelitian modul pengukuran nilai OEE.

Tabel 4-1 Klasifikasi Ketelitian Alat Ukur Listrik (IEC 13B-23)

Golongan	Ketelitian Alat Ukur	Keterangan
I	$\pm 0,05\%$; $\pm 0,1\%$; $\pm 0,2\%$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alat ukur dengan tingkat kepresisian tinggi. 2. Digunakan pada skala laboratorium.
II	$\pm 0,5\%$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alat ukur untuk pengukuran yang presisi. 2. Alat ukur bersifat portabel.
III	$\pm 1,0\%$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alat ukur dengan tingkat presisi lebih rendah .dibandingkan golongan II. 2. Alat ukur bersifat portabel kecil pada panel.
IV	$\pm 1,5\%$; $\pm 2,5\%$; $\pm 5\%$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alat ukur yang digunakan pada panel-panel.

Golongan	Ketelitian Alat Ukur	Keterangan
		2. Alat ukur tidak begitu memperlihatkan tingkat kepresisian

1. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan saat modul memantau nilai OEE pada mesin perkakas. Pengukuran juga dilakukan menggunakan alat ukur pembanding (*clampmeter* digital) dalam 10 kali percobaan pengujian sensor arus. Keakuratan pembacaan sensor ditentukan dengan menghitung persentase kesalahan pembacaan sensor dibandingkan dengan hasil pembacaan alat ukur pembanding yang memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi. Persentase *error* pembacaan sensor dihitung menggunakan persamaan (4.1). Hasil pembacaan arus listrik pada modul pengukuran dan alat ukur pembanding dapat dilihat pada Tabel 4-2.

$$\%error = \left| \frac{meter - prototipe}{meter} \right| \times 100\% \dots \dots (4.1)$$

Keterangan:

meter = pembacaan alat ukur

prototipe = pembacaan sensor prototipe

Contoh perhitungan *error* percobaan ke-1 pada pembacaan sensor modul dihitung menggunakan Persamaan 4.1 yaitu:

$$\begin{aligned} \%error &= \left| \frac{A - A}{A} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1,6 - 1,54}{1,6} \right| \times 100\% \\ &= 3,75\% \end{aligned}$$

Tabel 4-2 Hasil Pembacaan Sensor Arus dan *Clampmeter*

Percobaan Ke-	Sensor Arus (A)	Clampmeter (A)	Error (%)
1	1,5	1,6	6,3

Percobaan Ke-	Sensor Arus (A)	Clampmeter (A)	Error (%)
2	2,3	2,3	0
3	3,3	3,3	0
4	4,6	4,5	2,2
5	5,0	5,0	0
6	6,7	6,6	1,6
7	7,3	7,4	1,35
8	8,8	8,9	1,1
9	9,5	9,6	1,0
10	12,6	12,5	0,8
Rata-Rata Error			1.4

Tabel 4-2 menunjukkan bahwa sensor arus pada modul memiliki rata-rata *error* sebesar 1,4 % Berdasarkan standard IEC nomor 13B-23 pada Tabel 4-1 sensor arus modul pengukuran operasi mesin diklasifikasikan ke golongan IV dengan rentang ketelitian alat ukur sebesar $\pm 1,5\%$

2. Pengujian Sensor Kecepatan Putaran Kawat

Pengujian sensor kecepatan putaran dilakukan saat modul pengukuran operasi mesin memantau operasi pada mesin perkakas. Pengukuran juga dilakukan menggunakan alat ukur pembanding (*tachometer* digital) dalam 10 kali percobaan pengujian sensor kecepatan putaran. Keakuratan pembacaan sensor dihitung dengan menentukan persentase kesalahan pembacaan sensor dibandingkan dengan hasil pembacaan alat ukur pembanding yang memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi. Hasil pembacaan kecepatan putaran pada modul pengukuran operasi mesin dan alat ukur pembanding dapat dilihat pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3 Hasil Pembacaan Sensor Kecepatan Putaran dan *Tachometer*

Percobaan Ke-	Kecepatan Putaran (RPM)	<i>Tachometer</i> (RPM)	<i>Error</i> (%)
1	103,0	101,4	1,6
2	122,0	120,4	1,3
3	155,0	155,9	0,6
4	178,0	181,1	1,7
5	188,0	190,9	1,5
6	204,0	205,4	0,7
7	214,0	215,7	0,8
8	235,0	236,7	0,7
9	262,0	258,5	1,4
10	270,0	272,1	0,8
Rata-Rata <i>Error</i>			1,1

Tabel 4-3 menunjukkan bahwa sensor kecepatan putaran pada modul memiliki rata-rata *error* sebesar 1,1% . Berdasarkan standard IEC nomor 13B-23 pada Tabel 4-1 sensor kecepatan putaran modul pengukuran operasi mesin diklasifikasikan ke golongan III dengan rentang ketelitian alat ukur sebesar $\pm 1,0\%$.

3. Pengujian Sensor Aliran Gas

Pengujian sensor aliran gas dilakukan saat modul pengukuran operasi mesin memantau operasi pada mesin perkakas. Pengukuran juga dilakukan menggunakan alat ukur pembanding (*flowmeter* digital) dalam 10 kali percobaan pengujian sensor aliran gas. Keakuratan pembacaan sensor dihitung dengan menentukan persentase kesalahan pembacaan sensor dibandingkan dengan hasil pembacaan alat ukur pembanding yang memiliki ketelitian lebih tinggi. Hasil pembacaan aliran gas pada modul pengukuran operasi mesin dan alat ukur pembanding dapat dilihat pada Tabel 4-4.

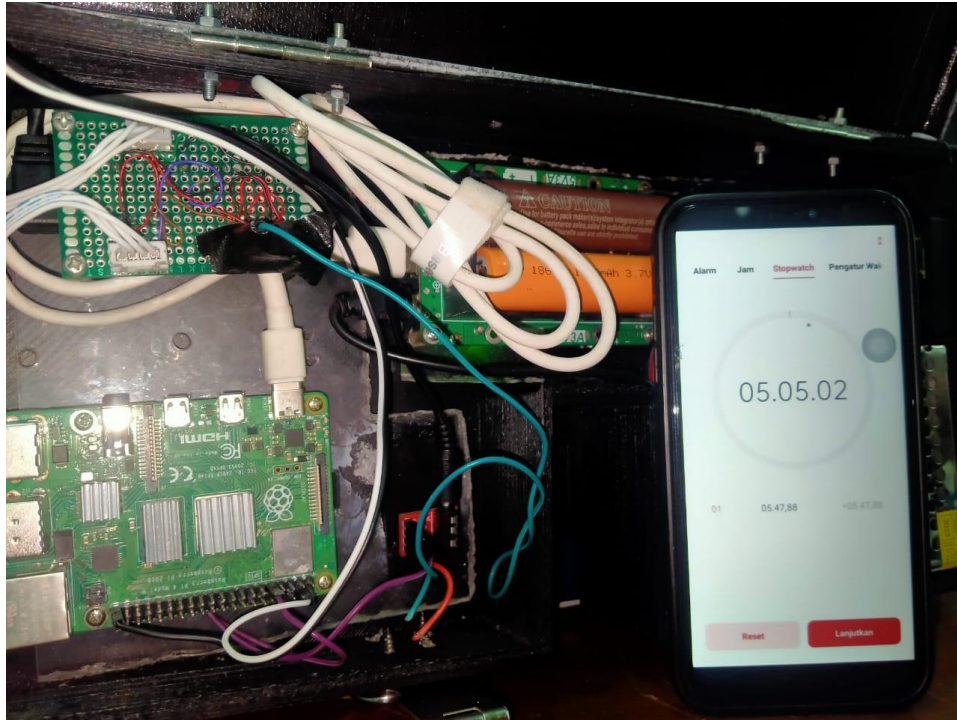
Tabel 4-4 Hasil Pembacaan Sensor Aliran Gas dan *Flowmeter*

Percobaan Ke-	Sensor Aliran Gas (liter/menit)	Flowmeter (liter/menit)	<i>Error</i> (%)
1	1,48	1,46	2,67
2	3,33	3,29	1,22
3	5,12	5,03	1,79
4	7,15	7,25	1,38
5	9,41	9,26	1,62
6	11,78	11,90	1,01
7	13,12	13,42	1,49
8	15,26	15,02	1,60
9	17,68	17,79	0,96
10	18,80	19,06	1,13
Rata-Rata <i>Error</i>			1,49

Tabel 4-4 menunjukkan bahwa sensor aliran gas pada modul memiliki rata-rata *error* sebesar 1,49% . Berdasarkan standard IEC nomor 13B-23 pada Tabel 4-1 sensor aliran gas modul pengukuran operasi mesin diklasifikasikan ke golongan IV dengan rentang ketelitian alat ukur sebesar $\pm 1,50\%$.

4.2 Pengujian Keandalan Modul Pengukuran Nilai OEE dan Sistem Perhitungan nilai OEE

Hasil pengujian keandalan modul pengukuran nilai OEE dan sistem perhitungan nilai OEE dilakukan dengan menghidupkan mesin selama ± 5 jam untuk mengetahui keandalan modul dalam mengirim data operasi mesin sehingga sistem perhitungan mampu mengolah data tersebut selama ± 5 jam secara *real-time* dan otomatis. Setelah modul dihidupkan, modul tersebut mengirimkan data ke penyimpanan data. Hasil didapatkan pada penyimpanan data sebanyak 1717 data yang dikirim dari sensor dengan interval 10 detik per data. Setelah itu, pada komponen modul tidak ditemukan gangguan. Hasil pengukuran modul mampu mengirim data secara aktual 5 jam 5 menit yang dapat dilihat pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1 Pengukuran Durasi Keandalan Modul dalam Mengirim Data ke Sistem Perhitungan Nilai OEE

4.3 Hasil Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE

Pada modul pengukuran nilai OEE, pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian ini meliputi pengiriman data sensor ke database, pengujian antarmuka *website* sebagai aplikasi untuk menampilkan nilai sensor dan nilai OEE dari pengolahan data, serta pemrosesan data. Berikut ini adalah rincian hasil pengujian masing-masing komponen perangkat lunak yang telah dilakukan:

4.3.1 Hasil Pengujian Pengiriman Data pada Basis Data

Pengiriman data dari sensor arus, kecepatan putaran, dan aliran gas ke basis data relasional dilakukan dalam bentuk *String*. Pengujian sistem pengiriman data ini memanfaatkan jaringan *Database Networking*, menggunakan alamat *Internet Protocol (IP)* dan port untuk mengatur komunikasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengirimkan data dari sensor arus, kecepatan putaran, dan aliran gas ke dua lingkungan basis data yang berbeda. Lingkungan pertama adalah basis data lokal

yang diimplementasikan pada *Single Board Computer* Raspberry Pi, berfungsi sebagai cadangan penyimpanan data. Lingkungan kedua adalah basis data server pada komputer server, yang digunakan untuk menyimpan dan mengolah data.

1. Hasil Pengujian Pengiriman Basis Data Lokal

Hasil pengujian basis data lokal yang disimpan di *single board computer* Raspberry Pi menunjukkan kinerja yang stabil dan responsif dalam menangani data yang dikirimkan dari berbagai sensor. Raspberry Pi berhasil mengelola pengiriman data dari sensor arus, kecepatan putaran, dan aliran gas, meskipun memiliki sumber daya komputasi yang terbatas. Pengujian ini membuktikan bahwa penggunaan Raspberry Pi sebagai basis data lokal merupakan solusi yang memadai untuk aplikasi yang membutuhkan penyimpanan data ketika terdapat masalah pada basis data server, dengan ukuran dan konsumsi daya yang minimal. Hasil pengujian basis data lokal dalam pengiriman data sensor arus, kecepatan putaran, dan aliran gas dapat dilihat pada Gambar 4-2.

flowgas	flowrod	arus	datetime	waktuteririm	idoperasi	idtypemesin
0	90	2.97	2024-06-25 17:14:17	2024-06-25 17:14:17	NULL	MIG01
0	202	5.72	2024-06-25 17:14:07	2024-06-25 17:14:07	NULL	MIG01
0.85	285	5.89	2024-06-25 17:13:57	2024-06-25 17:13:57	NULL	MIG01
1.65	165	3.27	2024-06-25 17:13:46	2024-06-25 17:13:46	NULL	MIG01
1.94	183	5.4	2024-06-25 17:13:36	2024-06-25 17:13:36	NULL	MIG01
0.88	116	5.18	2024-06-25 17:13:26	2024-06-25 17:13:26	NULL	MIG01
1.42	138	4.9	2024-06-25 17:13:15	2024-06-25 17:13:16	NULL	MIG01
2.1	221	4.71	2024-06-25 17:13:05	2024-06-25 17:13:05	NULL	MIG01
2.75	210	4.83	2024-06-25 17:12:55	2024-06-25 17:12:55	NULL	MIG01
3.1	131	4.78	2024-06-25 17:12:45	2024-06-25 17:12:45	NULL	MIG01
3.3	198	4.46	2024-06-25 17:12:34	2024-06-25 17:12:35	NULL	MIG01
3.31	187	4.85	2024-06-25 17:12:24	2024-06-25 17:12:24	NULL	MIG01
3.2	191	6.17	2024-06-25 17:12:14	2024-06-25 17:12:14	NULL	MIG01
2.99	202	4.94	2024-06-25 17:11:53	2024-06-25 17:11:54	NULL	MIG01
2.2	228	4.75	2024-06-25 17:11:43	2024-06-25 17:11:43	NULL	MIG01
1.48	153	4.86	2024-06-25 17:11:33	2024-06-25 17:11:33	NULL	MIG01
0.17	187	6.74	2024-06-25 17:11:23	2024-06-25 17:11:23	NULL	MIG01

Gambar 4-2 Penyimpanan Data Sensor Arus, Kecepatan Putaran, dan Aliran Gas di Basis Data Lokal

2. Hasil Pengujian Pengiriman Basis Data Server

Pengujian pengiriman data sensor ke basis data server dalam bentuk *String* dilakukan menggunakan alamat IP dan Port komputer server. Proses pengiriman data dijalankan dengan program di serial komunikasi Raspberry Pi yang terhubung ke jaringan melalui komputer server atau

jaringan lokal. Data sensor arus, kecepatan putaran, dan aliran gas diterima dalam tabel bernama "mtr_mesin" yang memiliki 7 kolom berbeda. Kolom 1 hingga 3 adalah kolom untuk penerimaan data sensor yang dinamai "flowrod", "flowgas", dan "arus". Kolom "flowrod" berfungsi menerima dan menyimpan data kecepatan putaran kawat las, kolom "flowgas" menerima data aliran gas, dan kolom "arus" menerima data arus mesin. Kolom 4, yaitu "waktukerja", digunakan untuk merekam waktu saat pengukuran atau ketika data terkirim ke basis data server. Kolom 5, yaitu "waktuterkirim", digunakan untuk melacak waktu yang dibutuhkan saat data dikirim. Kolom 6, yaitu "idmesin", digunakan sebagai kunci primer untuk setiap entitas yang merepresentasikan data dari mesin tertentu. Kolom "confirm" berfungsi untuk menandai apakah suatu data telah diverifikasi atau tidak. Hasil pengujian pengiriman data sensor dapat dilihat pada Gambar 4-3.

90	0	2,97	2024-06-25 17:14:17	2024-06-25 17:14:15	MIG01	1
202	0	5,72	2024-06-25 17:14:07	2024-06-25 17:14:05	MIG01	1
285	0,85	5,89	2024-06-25 17:13:57	2024-06-25 17:13:55	MIG01	1
165	1,65	3,27	2024-06-25 17:13:46	2024-06-25 17:13:45	MIG01	1
183	1,94	5,4	2024-06-25 17:13:36	2024-06-25 17:13:34	MIG01	1
116	0,88	5,18	2024-06-25 17:13:26	2024-06-25 17:13:24	MIG01	1
138	1,42	4,9	2024-06-25 17:13:15	2024-06-25 17:13:14	MIG01	1
221	2,1	4,71	2024-06-25 17:13:05	2024-06-25 17:13:04	MIG01	1
210	2,75	4,83	2024-06-25 17:12:55	2024-06-25 17:12:53	MIG01	1
131	3,1	4,78	2024-06-25 17:12:45	2024-06-25 17:12:43	MIG01	1
198	3,3	4,46	2024-06-25 17:12:34	2024-06-25 17:12:33	MIG01	1
187	3,31	4,85	2024-06-25 17:12:24	2024-06-25 17:12:23	MIG01	1
191	3,2	6,17	2024-06-25 17:12:14	2024-06-25 17:12:12	MIG01	1
202	2,99	4,94	2024-06-25 17:11:53	2024-06-25 17:11:52	MIG01	1
228	2,2	4,75	2024-06-25 17:11:43	2024-06-25 17:11:42	MIG01	1
153	1,48	4,86	2024-06-25 17:11:33	2024-06-25 17:11:31	MIG01	1
187	0,17	6,74	2024-06-25 17:11:23	2024-06-25 17:11:21	MIG01	1

Gambar 4-3 Penyimpanan Data Sensor Arus, Kecepatan Putaran, dan Aliran Gas di Basis Data Server

4.3.2 Hasil Pengujian Sistem Pengolahan Data Operasi Mesin

Pengujian sistem pengolahan data operasi mesin yang telah dirancang dan diimplementasikan. Pengujian sistem bertujuan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan spesifikasi dan dapat mengolah data operasi mesin secara

akurat dan efisien. Berikut adalah hasil pengujian pengolah data untuk menentukan operasi mesin secara sistem pada tabel 4-5.

Tabel 4-5 Hasil Pengujian Sistem Pengolahan Data Operasi Mesin

Tanggal	Mesin <i>On</i> (Waktu)	Mesin <i>Off</i> (Waktu)	<i>Runtime</i> (Menit)
21 Juni 2024	13:27:14	13:27:14	0,2
	13:30:29	13:33:02	2,6
Total Durasi			2,8
22 Juni 2024	15:40:46	15:41:16	0,5
	15:41:27	15:42:59	1,5
Total Durasi			2
23 Juni 2024	16:05:14	16:05:25	0,2
	16:05:35	16:08:40	3,1
	16:16:21	16:16:52	0,5
	16:17:02	16:18:34	1,5
Total Durasi			5,3
24 Juni 2024	16:37:22	16:39:46	2,4
	16:45:45	16:48:18	2,6
Total Durasi			5
25 Juni 2024	17:03:21	17:04:43	1,4
	17:04:53	17:06:15	1,4
	17:11:23	17:14:07	2,7
Total Durasi			5,5
	15:44:31	15:44:41	0,2
	16:15:43	16:15:53	0,2
	16:16:03	16:16:14	0,2
	16:16:24	16:19:08	2,7
	16:26:08	16:26:18	0,2
	16:26:29	16:26:39	0,2
	16:30:35	16:30:55	0,2

Tanggal	Mesin <i>On</i> (Waktu)	Mesin <i>Off</i> (Waktu)	<i>Runtime</i> (Menit)
	16:31:16	16:34:00	2,7
	16:45:58	16:49:02	3,1
	17:01:00	17:02:12	1,2
	17:02:22	17:03:03	0,7
	17:03:13	17:04:05	0,9
	17:16:43	17:17:24	0,7
	17:17:35	17:18:16	0,7
	17:18:26	17:19:27	1
	17:19:38	17:20:29	0,9
	17:36:43	17:37:45	1
	17:38:05	17:38:36	0,5
	17:38:56	17:40:08	1,2
	17:46:07	17:48:00	1,9
	17:48:10	17:48:41	0,5
	18:00:59	18:01:20	0,4
	18:01:30	18:02:11	0,7
	18:02:21	18:05:05	2,7
	20:10:26	20:10:36	0,2
Total Durasi			24,9

4.3.3 Hasil Perancangan Sistem Data Rencana Kerja Mesin dan Hasil Kualitas Produk

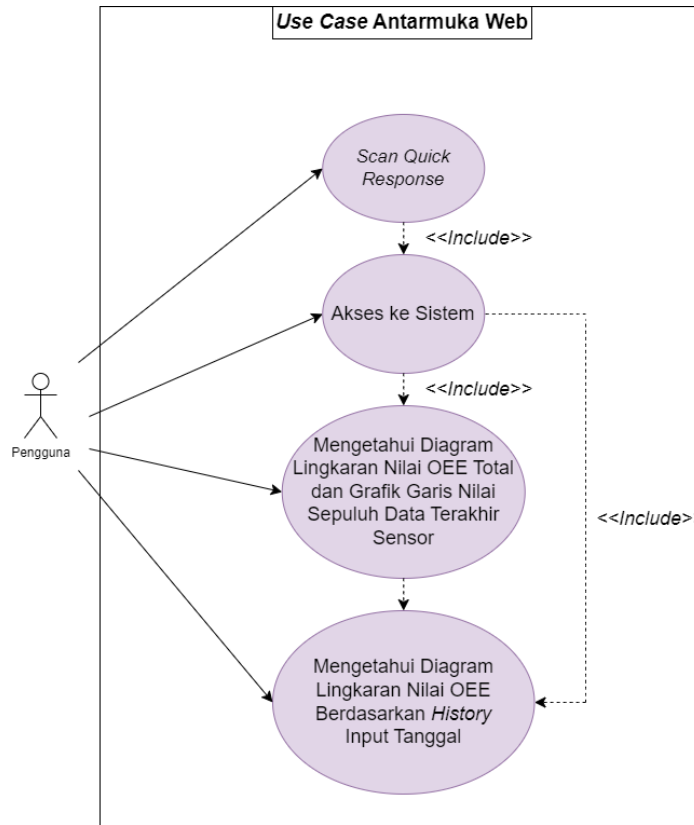
Hasil dari perancangan sistem yang bertujuan untuk menyusun rencana kerja mesin serta mengevaluasi kualitas produk yang dihasilkan. Hasil perancangan ini mencakup beberapa aspek penting yang berhubungan dengan efisiensi operasional dan standar kualitas. Berikut merupakan data rancangan sistem rencana kerja mesin dan hasil kualitas produk pada Tabel 4-6.

Tabel 4-6 Data Rancangan Sistem Rencana Kerja Mesin dan Hasil Kualitas Produk

Tanggal	<i>Planned Time</i> (Menit)	<i>Total Count</i> (Unit)	<i>Ideal Cycle Time</i> (Menit)	<i>Good Unit</i> (Unit)
21 Juni 2024	480	1	2	1
22 Juni 2024	480	1	2	1
23 Juni 2024	480	2	2	2
24 Juni 2024	480	2	2	2
25 Juni 2024	480	2	2	1
26 Juni 2024	480	6	2	6

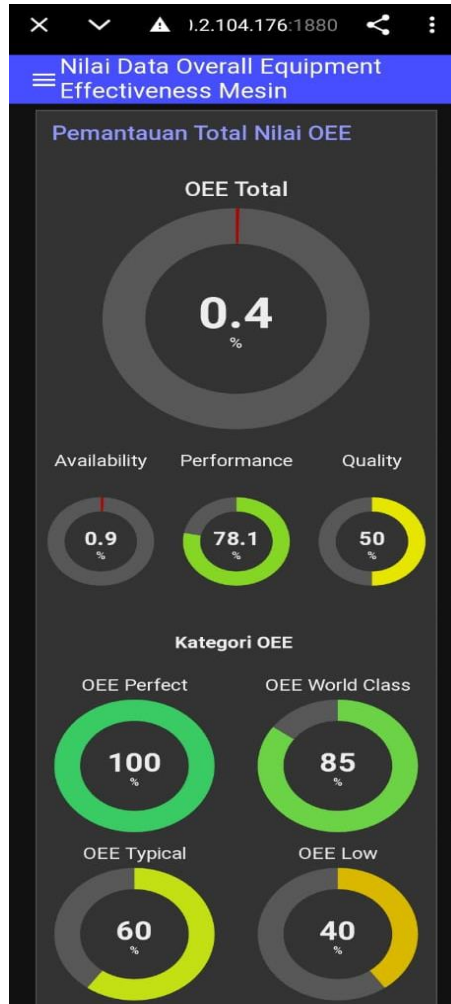
4.3.4 Hasil Perancangan Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE

Data sistem perhitungan nilai OEE yang telah diolah di basis data server dapat divisualisasikan dengan menampilkan data hasil pengolahan melalui antarmuka *website*, sehingga pengguna dapat memahami metrik data pengukuran dengan baik. *Node RED* adalah perangkat lunak antarmuka *website* yang dapat menampilkan visualisasi data hasil sistem perhitungan nilai OEE. Perangkat lunak *Node RED* dapat diakses melalui kode *Quick Response (QR) code* menggunakan alamat IP sistem perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness*. Antarmuka *website* ini dapat diakses dari komputer lain maupun *smartphone* yang terhubung ke jaringan yang sama dengan sistem perhitungan. Pada antarmuka *website* pertama menampilkan nilai OEE total, *Availability*, *Performance*, *Quality* dan grafik sepuluh data terakhir dari sensor secara *real-time*. Pada antarmuka *website* kedua menampilkan nilai OEE berdasarkan *history* tanggal awal dan akhir sesuai yang di inputkan pengguna. *Use Case Diagram* Antarmuka *Website* dapat dilihat pada Gambar 4-4.

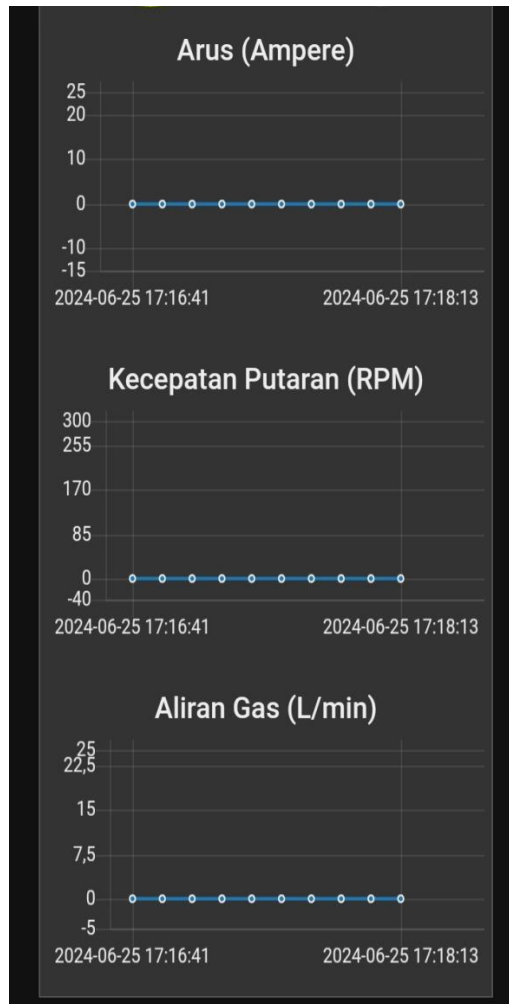


Gambar 4-4 Use Case Diagram Antarmuka Website

Hasil perancangan perangkat lunak untuk pengukuran diimplementasikan dalam bentuk antarmuka berbasis *website* browser. Antarmuka *website* ini dibangun menggunakan *JavaScript*, memungkinkan pengguna untuk dengan mudah menampilkan perhitungan nilai OEE, data sensor arus, sensor kecepatan putaran, dan sensor aliran gas. Data dari ketiga parameter tersebut dapat dilihat di bawah klasifikasi nilai OEE secara *real-time*. Menu bar pada halaman utama berisi berbagai opsi dan perintah yang dapat dieksekusi oleh pengguna untuk melihat nilai OEE berdasarkan tanggal yang diinginkan. Tampilan *chart* digunakan sebagai visualisasi *real-time* nilai OEE, sedangkan grafik garis (*line graph*) berfungsi sebagai indikator untuk memantau arus, kecepatan putaran, dan aliran gas pada mesin las. Hasil tampilan Antarmuka *Website* dapat dilihat pada Gambar 4-5 dan Gambar 4-6.

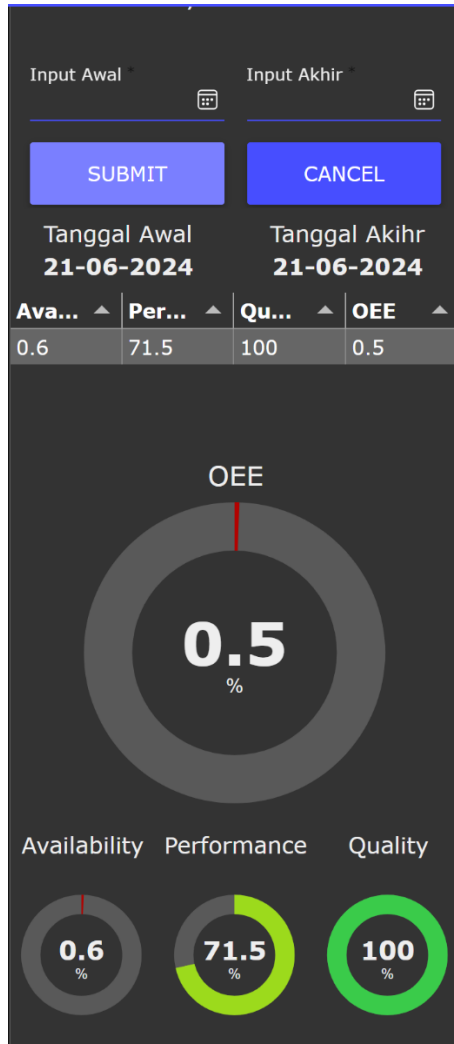


Gambar 4-5 Tampilan Pertama Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE Berisi Nilai OEE Total, *Availability*, *Performance*, *Quality* dan Kategori OEE



Gambar 4-6 Tampilan Pertama Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE Berisi Grafik Garis Sepuluh Data Terakhir Sensor

Pada antarmuka *website* kedua menampilkan nilai OEE berdasarkan *history* tanggal awal dan akhir sesuai yang di inputkan pengguna sehingga kita dapat mengetahui nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan OEE perhari, perminggu, perbulan, maupun pertahun. Tampilan Kedua Antarmuka *Website* dapat dilihat pada Gambar 4-7.



Gambar 4-7 Tampilan Kedua Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE Berisi History Nilai OEE Berdasarkan Input Tanggal Awal dan Akhir

4.3.5 Hasil Perancangan Sistem Penginputan Total Produk dan Kualitas Produk

Pada hasil perancangan sistem untuk memasukkan jumlah produk (*total count*) dan produk bagus (*good count*), sistem dirancang untuk mendukung proses penginputan data kualitas produk secara lebih terstruktur dan efisien. Sistem ini bertujuan untuk memudahkan pengguna dalam melakukan pencatatan, pemantauan, dan pelacakan data kualitas produk secara *real-time*. Dengan adanya sistem ini, setiap informasi mengenai jumlah produk yang diproduksi serta jumlah produk yang memenuhi kriteria kualitas dapat diinput dan dikelola dengan lebih terorganisir, sehingga meminimalkan kesalahan manual serta memastikan data

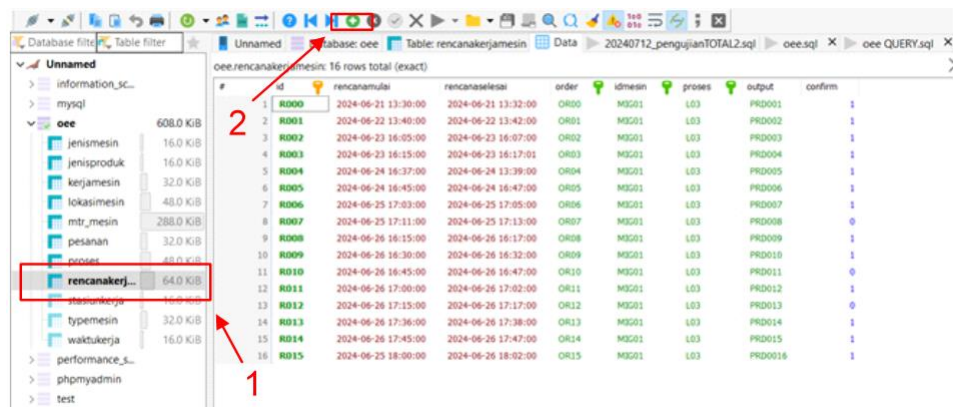
yang tersimpan memiliki akurasi tinggi. Prosedur penginputan data dimulai dari pengumpulan informasi yang berasal dari hasil inspeksi produk. Data yang telah dikumpulkan kemudian diinput ke dalam sistem melalui antarmuka yang dirancang agar mudah dioperasikan oleh pengguna. Penginputan data dapat dilakukan secara manual.

Hasil perancangan sistem penginputan data kualitas produk ini mampu memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan efisiensi dan akurasi dalam proses penginputan data kualitas dan jumlah produk. Dengan sistem yang terstruktur dan terintegrasi, pengawasan kualitas produk dapat dilakukan dengan lebih efektif, sehingga mendukung upaya peningkatan kualitas produk dan optimalisasi perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara berkelanjutan. Berikut merupakan langkah-untuk-langkah dalam melakukan proses penginputan jumlah produk total dan jumlah produk bagus

1. Masuk dalam *software* untuk menampilkan basis data

Pada penginputan data produk total dilakukan dengan cara masuk dalam sistem dengan bantuan *software* HeidiSQL dengan memastikan tersambung dengan jaringan lokal sistem.

2. Penginputan Data Produk Total



Gambar 4-8 Tampilan Antarmuka Penginputan Produk Total

Gambar 4-8 menunjukkan langkah-langkah untuk menginput data tambahan jika terdapat produk baru yang akan dibuat. Langkah pertama adalah masuk ke dalam Rencana Kerja Mesin seperti yang ditunjukkan pada kotak 1, kemudian tambahkan produk baru dengan menekan tombol *Add* pada kotak 2. Setelah itu, masukkan data yang diperlukan sesuai

dengan parameter yang diminta untuk melengkapi informasi produk yang akan dibuat.

3. Penentuan Data Produk Bagus

#	id	rencanamulai	rencanaselesai	order	idmesin	proses	output	confirm
1	R000	2024-06-21 13:30:00	2024-06-21 13:32:00	OR00	MIG01	L03	PRD001	1
2	R001	2024-06-22 13:40:00	2024-06-22 13:42:00	OR01	MIG01	L03	PRD002	1
3	R002	2024-06-23 16:05:00	2024-06-23 16:07:00	OR02	MIG01	L03	PRD003	1
4	R003	2024-06-23 16:15:00	2024-06-23 16:17:01	OR03	MIG01	L03	PRD004	1
5	R004	2024-06-24 16:37:00	2024-06-24 13:39:00	OR04	MIG01	L03	PRD005	1
6	R005	2024-06-24 16:45:00	2024-06-24 16:47:00	OR05	MIG01	L03	PRD006	1
7	R006	2024-06-25 17:03:00	2024-06-25 17:05:00	OR06	MIG01	L03	PRD007	1
8	R007	2024-06-25 17:11:00	2024-06-25 17:13:00	OR07	MIG01	L03	PRD008	0
9	R008	2024-06-26 16:15:00	2024-06-26 16:17:00	OR08	MIG01	L03	PRD009	1
10	R009	2024-06-26 16:30:00	2024-06-26 16:32:00	OR09	MIG01	L03	PRD010	1
11	R010	2024-06-26 16:45:00	2024-06-26 16:47:00	OR10	MIG01	L03	PRD011	0
12	R011	2024-06-26 17:00:00	2024-06-26 17:02:00	OR11	MIG01	L03	PRD012	1
13	R012	2024-06-26 17:15:00	2024-06-26 17:17:00	OR12	MIG01	L03	PRD013	0
14	R013	2024-06-26 17:36:00	2024-06-26 17:38:00	OR13	MIG01	L03	PRD014	1
15	R014	2024-06-26 17:45:00	2024-06-26 17:47:00	OR14	MIG01	L03	PRD015	1
16	R015	2024-06-25 18:00:00	2024-06-26 18:02:00	OR15	MIG01	L03	PRD0016	1
17		(NULL)	(NULL)	(NULL)	(NULL)	(NULL)	(NULL)	(NULL)

Gambar 4-9 Tampilan Antarmuka Penentuan Produk Bagus

Gambar 4-9 menunjukkan cara pendefinisian rencana produk yang akan dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut: pertama, masukkan ID produk pada kolom ID yang berbeda sesuai dengan urutan sebelumnya. Kemudian, pada kolom *Rencana Mulai* dan *Rencana Selesai*, input waktu rencana mulai dan selesai dari proses pembuatan produk tersebut. Selanjutnya, pada kolom *Order*, masukkan ID order untuk mengetahui rencana produk yang akan dibuat sesuai ID order yang telah ditentukan. Setelah itu, pada kolom *ID Mesin*, masukkan ID mesin yang digunakan untuk rencana mesin yang akan di pilih pada pembuatan produk. Pada kolom *Proses*, masukkan rencana proses yang akan diterapkan selama produksi. Terakhir, pada kolom *Output*, masukkan ID sebagai identitas produk yang sudah selesai diproduksi, yang harus berbeda dari ID sebelumnya.

Gambar 4-9 juga dilengkapi dengan tanda kotak merah yang menunjukkan urutan pengisian kolom dari kanan ke kiri. Sementara itu, kotak biru digunakan untuk mengonfirmasi apakah produk tersebut diterima (bagus) dengan memasukkan angka 1, atau tidak diterima (tidak bagus) dengan memasukkan angka 2 pada kolom *Confirm*.

4.4 Hasil Pengujian Sistem Perhitungan Modul Pengukuran dan Sistem Perhitungan Nilai OEE

Pengukuran nilai OEE pada mesin las MIG dilakukan secara sistem menggunakan modul pengukuran nilai OEE yang dikembangkan dengan teknologi *Industry 4.0*. Validasi ini penting untuk memastikan ketepatan dan keandalan data yang dihasilkan oleh modul pengukuran nilai OEE dalam mengukur mesin las. Dengan penerapan prinsip-prinsip *Industry 4.0*, modul pengukuran ini diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat mengenai kinerja mesin, sehingga membantu mengidentifikasi area yang perlu perbaikan dan pengoptimalan. Hasil perbandingan antara data sistem dan aktual digunakan untuk memastikan kesesuaian dan keandalannya.

Pengukuran nilai OEE pada mesin las MIG dilakukan melalui empat jenis pengujian, yang dilakukan secara berturut-turut. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran komprehensif mengenai kinerja mesin las MIG dalam berbagai kondisi operasional. Material yang digunakan adalah plat baja A36 dengan ukuran panjang x lebar x tinggi yaitu 150mm x 50mm x 5mm. Hasil pengukuran nilai OEE adalah sebagai berikut:

4.4.1 Pengujian Tipe I

Pengujian tipe I pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen dilakukan selama dua hari berturut-turut. Pengujian ini dilakukan secara aktual dan menggunakan modul pengukuran untuk menghitung nilai OEE secara aktual. Berikut adalah penjelasan hasil perhitungan nilai OEE menggunakan satu spesimen secara aktual dan modul pengukuran.

1. Pengujian Nilai OEE Secara Aktual

Perhitungan nilai OEE secara sistem melibatkan pengumpulan data langsung dari operasi mesin las MIG dalam kondisi nyata. Data yang dikumpulkan mencakup waktu operasional mesin, jumlah produk yang dihasilkan, dan jumlah produk cacat. Perhitungan nilai OEE mencakup tiga komponen utama berikut:

a. Perhitungan Nilai *Availability* Aktual

Hasil perhitungan nilai *Availability* pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen selama dua hari berturut-turut adalah sebagai berikut. Dalam perhitungan ini, nilai *Runtime* diukur langsung berdasarkan durasi proses pengelasan yang berlangsung. Nilai *Planned Production Time* ditentukan berdasarkan jam kerja, yaitu 8 jam atau 480 menit per hari. Rumus perhitungan *Availability* dapat dilihat pada persamaan 2.2. Berikut adalah hasil perhitungan nilai *Availability* secara sistem dapat dilihat pada Tabel 4-7. Contoh perhitungan nilai *Availability* pada mesin las MIG menggunakan satu produk adalah sebagai berikut:

$$Availability (A) = \frac{2,8 \text{ menit}}{480 \text{ menit}} \times 100\%$$

$$Availability (A) = 0,6\%$$

Tabel 4-7 Hasil Perhitungan Nilai *Availability* Pengujian Tipe I

Hari ke	Tanggal	<i>Runtime</i> (Menit)	<i>Planned time</i> (Menit)	<i>Avaibility</i> (%)
1	21/06/2024	2,3	480	0,5
2	22/06/2024	2,1	480	0,5

b. Perhitungan Nilai *Performance* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Performance* pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen selama dua hari berturut-turut adalah sebagai berikut. Dalam perhitungan ini, nilai *ideal cycle time* diperoleh dari spesimen berdasarkan uji coba dan kalibrasi proses pengelasan pada spesimen dengan material dan ukuran yang sama, dengan waktu rata-rata 2,0 menit per spesimen. Rumus perhitungan *Performance* dapat dilihat pada persamaan 2.3. Berikut adalah hasil perhitungan nilai *Performance* secara sistem dapat dilihat pada Tabel 4-8. Contoh perhitungan nilai *Performance* pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen adalah sebagai berikut:

$$Performance(P) = \frac{(2,0 \text{ menit} \times 1 \text{ spesimen})}{2,3 \text{ menit}} \times 100\%$$

$$Performance(P) = 86,9\%$$

Tabel 4-8 Hasil Perhitungan Nilai *Performance* Pengujian Tipe I

Hari ke	Tanggal	<i>Ideal Cycle Time</i> (Menit)	Total Count (Unit)	<i>Runtime</i> (Menit)	<i>Performance</i> (%)
1	21/06/2024	2,0	1	2,3	86,9
2	22/06/2024	2,0	1	2,1	95,3

c. Perhitungan Nilai *Quality* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Quality* pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen selama dua hari berturut-turut adalah sebagai berikut. Dalam perhitungan ini, nilai *Good Count* ditentukan secara manual. Hal ini berarti bahwa jumlah produk baik yang dihasilkan (*Good Count*) dihitung secara manual oleh operator, dengan cara memisahkan dan menghitung satu per satu produk yang memenuhi standar kualitas. Pemisahan dilakukan setelah proses pengelasan selesai, dan setiap produk diperiksa visual serta dimensi ketebalannya sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Setelah penghitungan manual dilakukan, data tersebut diinput ke sistem OEE. Rumus perhitungan *Quality* dapat dilihat pada persamaan 2.2. Berikut adalah hasil perhitungan nilai *Availability* secara sistem dapat dilihat pada Tabel 4-9. Contoh perhitungan nilai *Quality* pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen adalah sebagai berikut:

$$Quality(Q) = \frac{1}{1} \times 100\%$$

$$Quality(Q) = 100\%$$

Tabel 4-9 Hasil Perhitungan Nilai *Quality* Pengujian Tipe I

Hari ke	Tanggal	<i>Good Unit</i> (Unit)	Total Count (Unit)	<i>Quality</i> (%)
1	21/06/2024	1	1	100
2	22/06/2024	1	1	100

d. Perhitungan Nilai OEE Secara Aktual

Setelah didapatkan nilai ketiga komponen OEE, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai OEE menggunakan Rumus perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* dapat dilihat pada persamaan 2.1. Berikut adalah hasil perhitungan nilai *Availability* secara sistem dapat dilihat pada Tabel 4-10. Contoh perhitungan nilai OEE secara sistem adalah sebagai berikut:

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality$$

$$OEE = 0,5\% \times 86,9\% \times 100\%$$

$$OEE = 0,5\%$$

Tabel 4-10 Hasil Perhitungan Nilai OEE Pengujian Tipe I

Hari ke	Tanggal	<i>Availability</i> (%)	<i>Performance</i> (%)	<i>Quality</i> (%)	OEE (%)
1	21/06/2024	0,5	86,9	100	0,4
2	22/06/2024	0,4	91,1	100	0,5

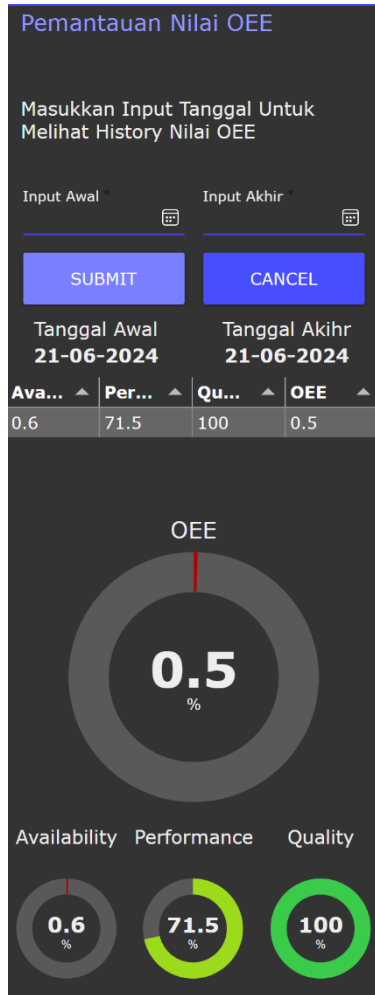
2. Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE Menggunakan Modul Pengukuran Nilai OEE

Hasil perhitungan nilai OEE menggunakan modul pengukuran ditampilkan melalui antarmuka *website* pada platform *Node-RED*, yang dirancang untuk menunjukkan kinerja mesin las secara *real-time*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan satu spesimen sebagai objek pengujian. Nilai-nilai OEE, termasuk *Availability*, *Performance*, dan *Quality*, disajikan di menu bar dalam bentuk diagram lingkaran, memudahkan visualisasi dan pemahaman setiap komponen OEE. Selain itu, data operasional seperti arus listrik, aliran gas, dan kecepatan putaran pada pergerakan kawat las ditampilkan dalam grafik garis, memberikan gambaran mendetail tentang kondisi dan kinerja mesin las. Modul pengukuran ini juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data otomatis yang menyimpan data selama 10 detik terakhir setiap kali basis data

berhenti menerima data. Fitur ini memastikan bahwa tidak ada informasi penting yang hilang, sehingga analisis kinerja mesin tetap akurat dan lengkap.

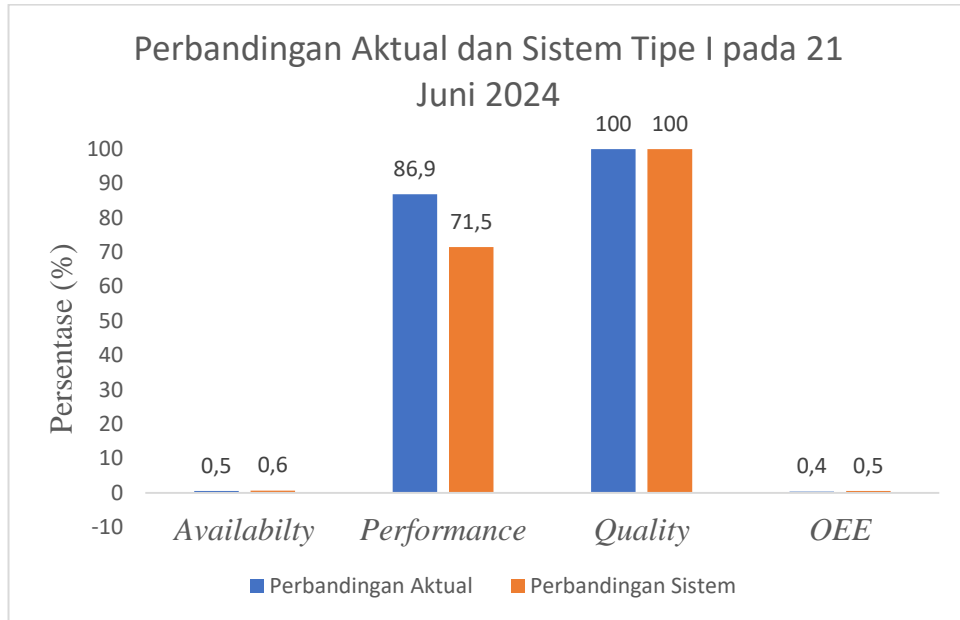
Berdasarkan hasil perhitungan total nilai OEE dari pengujian satu spesimen mesin las MIG selama dua hari berturut-turut, pada hari pertama diperoleh nilai *Availability* sebesar 0,6%, *Performance* sebesar 71,5%, dan *Quality* sebesar 100,0%, menghasilkan total OEE sebesar 0,5%. Hasil ini diperoleh dari perhitungan menggunakan antarmuka *website* untuk satu spesimen pada hari pertama. Pada hari kedua, pengujian diulang dengan prosedur yang sama, menghasilkan nilai *Availability* sebesar 0,5%, *Performance* sebesar 95,3%, dan *Quality* sebesar 100%, yang juga menghasilkan total OEE sebesar 0,5%.

Berdasarkan pengujian satu spesimen, diperoleh total nilai OEE pada mesin las MIG menggunakan antarmuka *website*. Pada pengujian hari pertama untuk satu spesimen, didapatkan nilai OEE sebesar 0,5%. Sedangkan pada pengujian hari kedua, nilai OEE yang diperoleh juga sebesar 0,5%. Hasil pengujian didapatkan nilai total OEE menggunakan satu spesimen pada tanggal 21 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4-10 dan pada tanggal 22 Juni dapat dilihat pada Gambar 4-12.



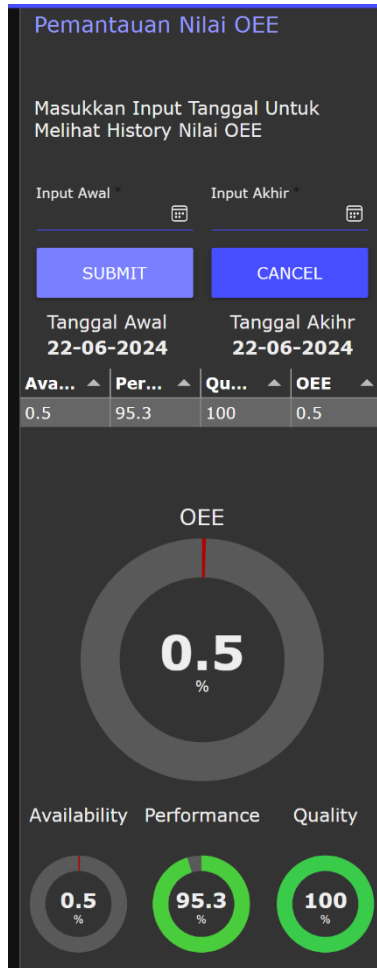
Gambar 4-10 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe I Pada Tanggal 21 Juni 2024

Berdasarkan perhitungan nilai OEE secara sistem dan aktual, maka dapat diketahui seberapa banyak *error* pada sistem dan aktual. Hasil perbandingan nilai OEE sistem dan aktual dapat dilihat pada Gambar 4-11.



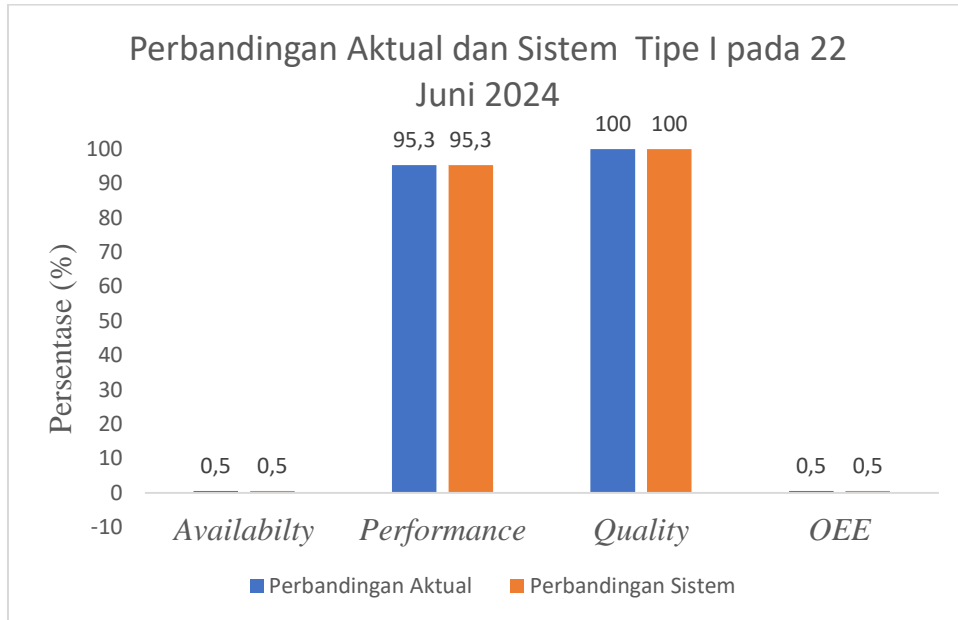
Gambar 4-11 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe I pada 21 Juni 2024

Pada Gambar 4-11 dapat dilihat perbandingan antara pengujian secara aktual dan sistem. Hasil perhitungan secara aktual didapatkan nilai OEE sebesar 0,4%. Pada pengujian menggunakan sistem didapatkan OEE sebesar 0,5%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe I diperoleh sebesar 25%.



Gambar 4-12 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe I Pada Tanggal 22 Juni 2024

Berdasarkan perhitungan nilai OEE secara sistem dan aktual, maka dapat diketahui seberapa banyak *error* pada sistem dan aktual. Hasil perbandingan nilai OEE secara sistem dan aktual dapat dilihat pada Gambar 4-13.



Gambar 4-13 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe I pada 22 Juni 2024

Pada Gambar 4-13 dapat dilihat perbandingan antara pengujian secara aktual dan sistem. Hasil perhitungan secara aktual didapatkan nilai OEE sebesar 0,5%. Pada pengujian menggunakan sistem didapatkan OEE sebesar 0,5%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe I diperoleh sebesar 0%.

4.4.2 Pengujian Tipe II

Pengujian pertama pada mesin las MIG menggunakan dua spesimen dilakukan selama tiga hari berturut-turut. Pengujian ini dilakukan secara aktual dan menggunakan modul pengukuran untuk menghitung nilai OEE secara aktual. Berikut penjelasan hasil perhitungan nilai OEE menggunakan dua spesimen secara aktual dan modul pengukuran.

1. Pengujian Nilai OEE Secara Aktual

Perhitungan nilai OEE secara sistem melibatkan pengumpulan data langsung dari operasi mesin las MIG dalam kondisi nyata. Data yang dikumpulkan mencakup waktu operasional mesin, jumlah produk yang

dihasilkan, dan jumlah produk cacat. Perhitungan nilai OEE mencakup tiga komponen utama berikut:

a. Perhitungan Nilai *Availability* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Availability* pada mesin las MIG menggunakan dua spesimen selama tiga hari berturut-turut. Pada persamaan 2.2 nilai *Runtime* diukur langsung berdasarkan waktu proses operasi pengelasan berlangsung. Kemudian, nilai *Planned Production Time* ditentukan berdasarkan jam kerja yaitu 8 jam atau 480 menit dalam satu hari. Berikut adalah hasil perhitungan nilai *Availability* secara sistem dapat dilihat pada Tabel 4-11.

Tabel 4-11 Hasil Perhitungan Nilai *Availability* Pengujian Tipe II

Hari ke	Tanggal	<i>Runtime</i> (Menit)	<i>Planned time</i> (Menit)	<i>Avaibility</i> (%)
3	23/06/2024	5,1	480	1,1
4	24/06/2024	4,6	480	1,0
5	25/06/2024	5,3	480	1,1

b. Perhitungan Nilai *Perfomance* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Perfomance* pada mesin las MIG menggunakan dua spesimen selama tiga hari berturut. Pada persamaan 2.3 nilai *ideal cycle time* didapatkan pada spesimen berdasarkan uji coba dan kalibrasi proses pengelasan pada spesimen dengan material dan ukuran yang sama secara berkali-kali selama 2,0 menit dalam satu spesimen. Hasil perhitungan nilai *Perfomance* secara sistem dapat dilihat pada Tabel 4-12.

Tabel 4-12 Hasil Perhitungan Nilai *Perfomance* Pengujian Tipe II

Hari ke	Tanggal	<i>Ideal Cycle Time</i> (Menit)	Total Count (Unit)	<i>Runtime</i> (Menit)	<i>Perfomance</i> (%)
3	23/06/2024	2,0	2	5,1	78,5
4	24/06/2024	2,0	2	4,7	85,1
5	25/06/2024	2,0	2	5,3	75,5

c. Perhitungan Nilai *Quality* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Quality* pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen selama dua hari berturut-turut adalah sebagai berikut. Dalam perhitungan ini, nilai *Good Count* ditentukan secara manual. Hal ini berarti bahwa jumlah produk baik yang dihasilkan (*Good Count*) dihitung secara manual oleh operator, dengan cara memisahkan dan menghitung satu per satu produk yang memenuhi standar kualitas. Pemisahan dilakukan setelah proses pengelasan selesai, dan setiap produk diperiksa visual serta dimensi ketebalannya sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Setelah penghitungan manual dilakukan, data tersebut diinput ke sistem OEE. Hasil perhitungan nilai *Quality* secara sistem pada mesin las MIG menggunakan dua spesimen dapat dilihat pada Tabel 4-13.

Tabel 4-13 Hasil Perhitungan Nilai *Quality* Pengujian Tipe II

Hari ke	Tanggal	<i>Good Unit</i> (Unit)	Total Count (Unit)	<i>Quality</i> (%)
3	23/06/2024	2	2	100
4	24/06/2024	2	2	100
5	25/06/2024	1	2	50

d. Perhitungan Nilai OEE Secara Aktual

Setelah didapatkan nilai ketiga komponen OEE, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai OEE menggunakan Persamaan 2.1 Hasil perhitungan nilai OEE secara sistem pada pengujian yang Tipe II dapat dilihat Tabel 4-14.

Tabel 4-14 Hasil Perhitungan Nilai OEE Pengujian Tipe II

Hari ke	Tanggal	<i>Availability</i> (%)	<i>Performance</i> (%)	<i>Quality</i> (%)	OEE (%)
3	23/06/2024	1,1	78,5	100	0,9
4	24/06/2024	1,0	85,1	100	0,9
5	25/06/2024	1,1	75,5	50	0,4

2. Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE Menggunakan Modul Pengukuran Nilai OEE

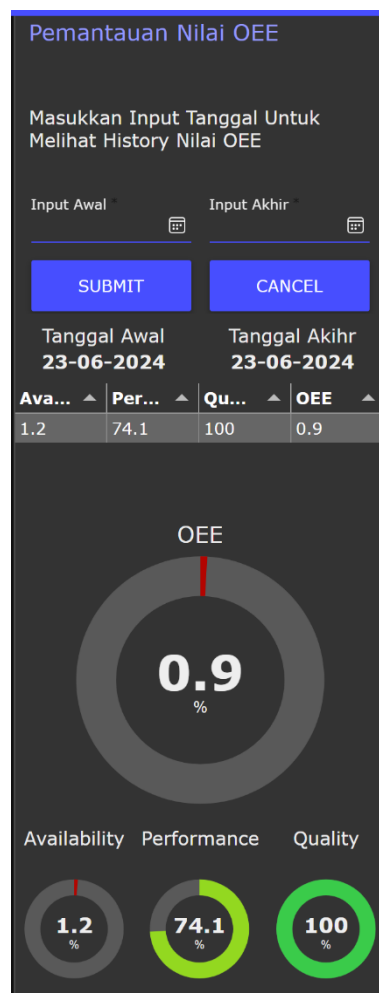
Hasil perhitungan nilai OEE menggunakan modul pengukuran ditampilkan melalui antarmuka *website* pada platform Node-RED, yang dirancang untuk menunjukkan kinerja mesin las secara *real-time*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan satu spesimen sebagai objek pengujian. Nilai-nilai OEE, termasuk *Availability*, *Performance*, dan *Quality*, disajikan di menu bar dalam bentuk diagram lingkaran, memudahkan visualisasi dan pemahaman setiap komponen OEE. Selain itu, data operasional seperti arus listrik, aliran gas, dan kecepatan putaran pada pergerakan kawat las ditampilkan dalam grafik garis, memberikan gambaran mendetail tentang kondisi dan kinerja mesin las. Modul pengukuran ini juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data otomatis yang menyimpan data selama 10 detik terakhir setiap kali basis data berhenti menerima data. Fitur ini memastikan bahwa tidak ada informasi penting yang hilang, sehingga analisis kinerja mesin tetap akurat dan lengkap.

Hasil pengujian dua spesimen mesin las MIG selama tiga hari berturut-turut menunjukkan bahwa pada hari pertama, nilai *Availability* adalah 1,2%, *Performance* mencapai 74,1%, dan *Quality* mencapai 100,0%. Sebagai hasilnya, nilai OEE total yang tercatat untuk hari itu adalah 0,9%.

Pada hari kedua, pengujian dilakukan dengan langkah yang serupa, dan hasilnya menunjukkan bahwa nilai *Availability* adalah 1,1%, *Performance* mencapai 80,0%, dan *Quality* mencapai 100%. Akibatnya, total OEE yang tercatat untuk hari itu adalah 0,9%.

Pada hari ketiga, pengujian dilakukan dengan metode yang serupa, dan hasilnya menunjukkan bahwa nilai *Availability* adalah 1,2%, *Performance* mencapai 72,8%, dan *Quality* mencapai 50%. Sebagai akibatnya, total OEE yang tercatat untuk hari itu adalah 0,5%.

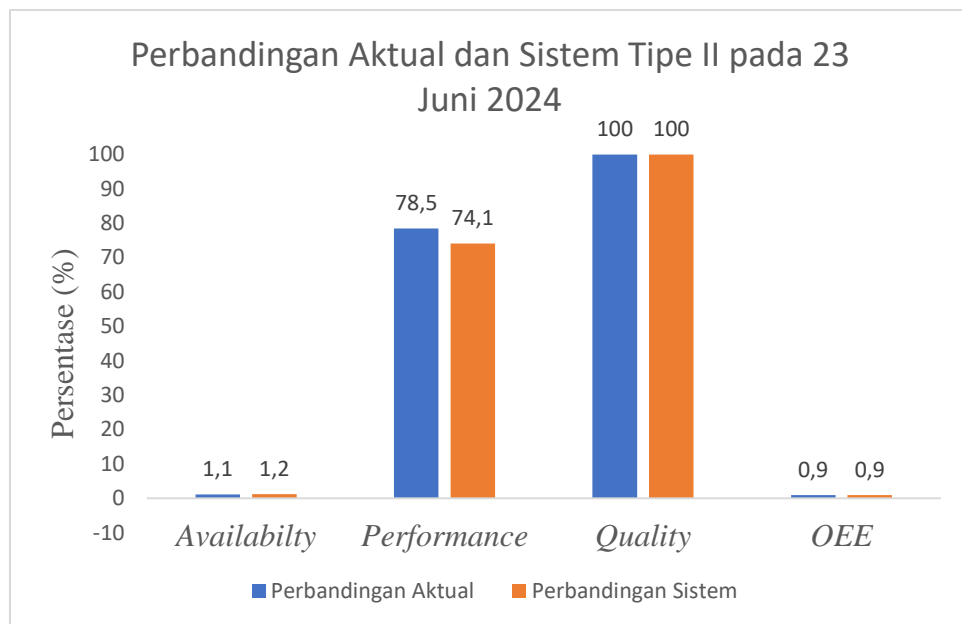
Berdasarkan pengujian dua spesimen, didapatkan total nilai OEE pada mesin las MIG menggunakan sistem. Pada pengujian hari kesatu pada 2 spesimen, diperoleh nilai OEE sebesar 0,9%. Sedangkan hasil perhitungan nilai OEE pada hari kedua didapatkan nilai OEE sebesar 0,9%. Sedangkan dihari ketiga nilai OEE yang diperoleh sebesar 0,5%. Hasil pengujian didapatkan nilai total OEE menggunakan dua spesimen pada tanggal 23 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4-14 , pada tanggal 24 Juni 2024 dapat dilihat pada Gambar 4-16, dan pada tanggal 25 Juni dapat dilihat pada Gambar 4-18.



Gambar 4-14 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe II Pada Tanggal 23 Juni 2024

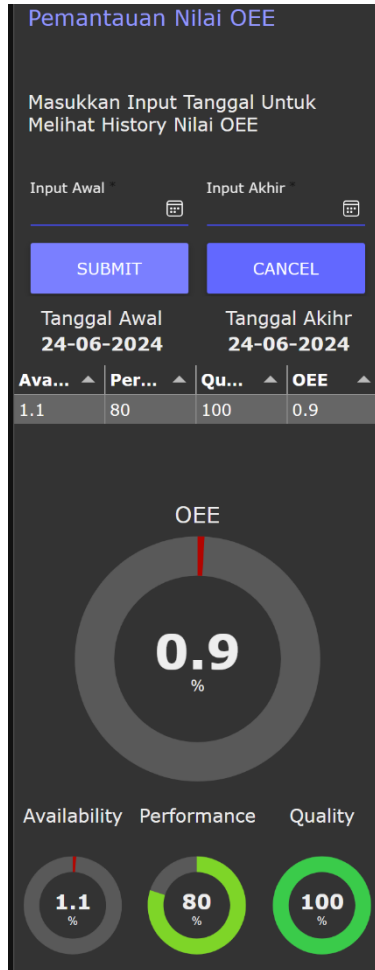
Berdasarkan perhitungan nilai OEE secara sistem dan aktual, maka dapat diketahui seberapa banyak *error* pada sistem dan aktual. Hasil

perbandingan nilai OEE secara sistem dan aktual dapat dilihat pada Gambar 4-15.



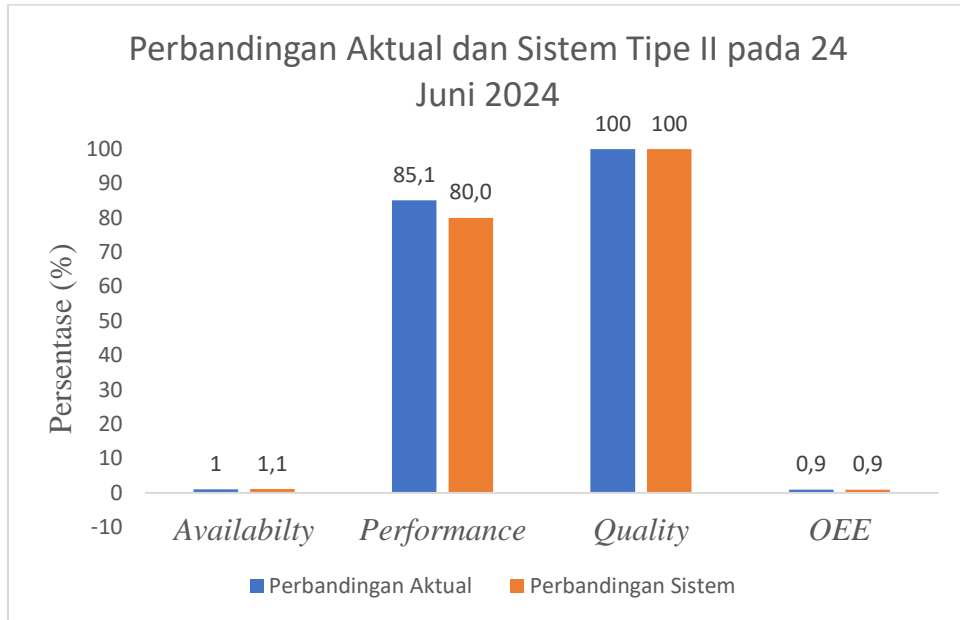
Gambar 4-15 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe II pada 23 Juni 2024

Pada Gambar 4-15 dapat dilihat perbandingan antara pengujian sistem dan aktual. Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,9%. Pada pengujian aktual didapatkan OEE sebesar 0,9%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe II diperoleh sebesar 0%.



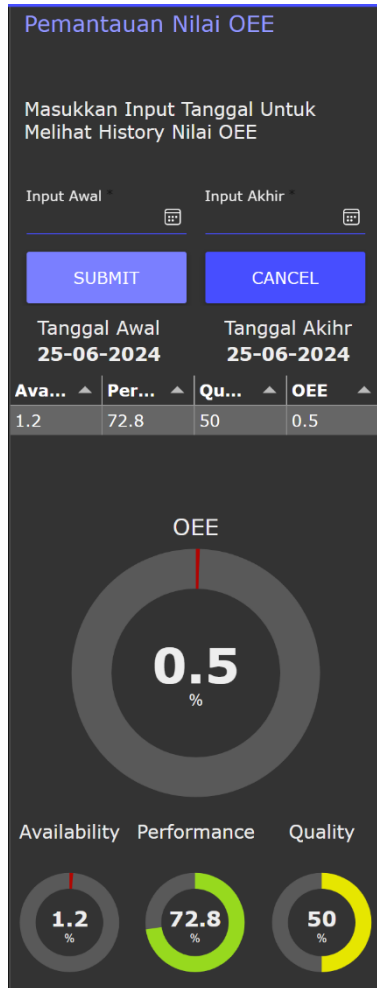
Gambar 4-16 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe II Pada Tanggal 24 Juni 2024

Berdasarkan perhitungan nilai OEE secara sistem dan aktual, maka dapat diketahui seberapa banyak *error* pada sistem dan aktual. Hasil perbandingan nilai OEE secara sistem dan aktual dapat dilihat pada Gambar 4-17.



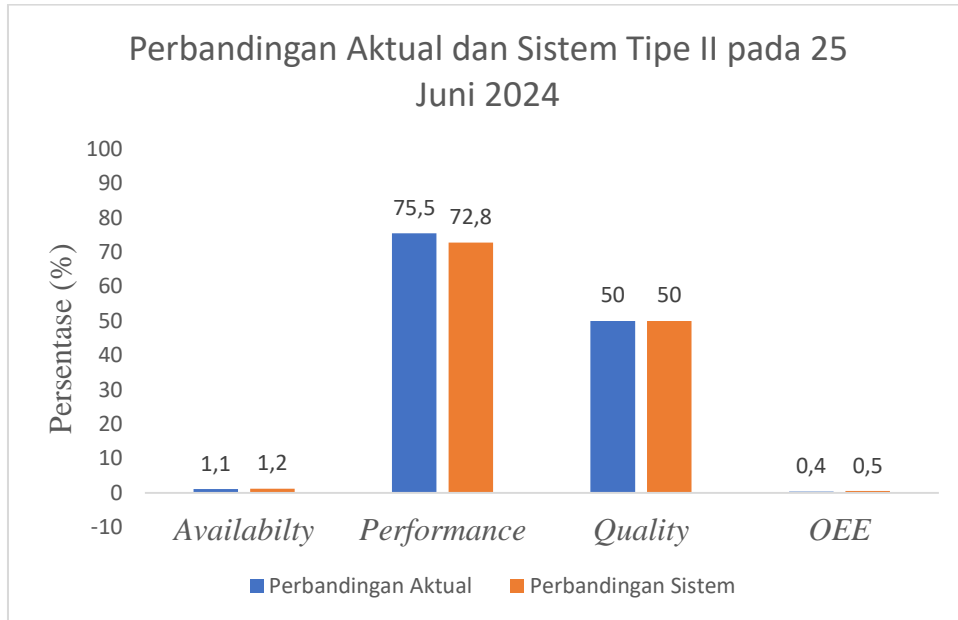
Gambar 4-17 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe II pada 24 Juni 2024

Pada Gambar 4-17 dapat dilihat perbandingan antara pengujian sistem dan aktual. Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,9%. Pada pengujian aktual didapatkan OEE sebesar 0,9%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe II diperoleh sebesar 0%.



Gambar 4-18 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe II Pada Tanggal 25 Juni 2024

Berdasarkan perhitungan nilai OEE secara sistem dan aktual, maka dapat diketahui seberapa banyak *error* pada sistem dan aktual. Hasil perbandingan nilai OEE secara sistem dan aktual dapat dilihat pada Gambar 4-19.



Gambar 4-19 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe II pada 25 Juni 2024

Pada Gambar 4-19 dapat dilihat perbandingan antara pengujian antara sistem dan aktual. Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,5%. Pada pengujian aktual didapatkan OEE sebesar 0,4%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe II diperoleh sebesar 25%.

4.4.3 Pengujian Tipe III

Pada pengujian Tipe III menggunakan delapan spesimen mesin las MIG, dilakukan selama satu hari dengan menggunakan modul pengukuran untuk menghitung nilai OEE secara sistem. Berikut adalah hasil perhitungan nilai OEE dari pengujian tersebut.

Pengujian Tipe III pada mesin las MIG melibatkan delapan spesimen dan berlangsung selama satu hari. Pengujian ini dilakukan secara langsung dengan menggunakan modul pemantau. Berikut hasil perhitungan nilai OEE dari pengujian tersebut.

1. Pengujian Nilai OEE Secara Aktual

Perhitungan nilai OEE secara sistem melibatkan pengumpulan data langsung dari operasi mesin las MIG dalam kondisi nyata. Data yang

dikumpulkan mencakup waktu operasional mesin, jumlah produk yang dihasilkan, dan jumlah produk cacat. Perhitungan nilai OEE mencakup tiga komponen utama berikut:

a. Perhitungan Nilai *Availability* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Availability* pada mesin las MIG dengan dua spesimen dilakukan selama tiga hari berturut-turut. Dalam persamaan 2.2, nilai *Runtime* diukur secara langsung dari waktu proses operasi pengelasan. Sedangkan nilai *Planned Production Time* dihitung berdasarkan jam kerja standar, yakni 8 jam atau setara dengan 480 menit per hari.. Berikut adalah hasil perhitungan nilai *Availability* secara sistem dapat dilihat pada Tabel 4-15.

Tabel 4-15 Hasil Perhitungan Nilai *Availability* Tipe III

Hari ke	Tanggal	<i>Runtime</i> (Menit)	<i>Planned time</i> (Menit)	<i>Avaibility</i> (%)
6	26/06/2024	22,6	480	5,0

b. Perhitungan Nilai *Performannce* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Performance* pada mesin las MIG dengan delapan spesimen dilakukan selama satu hari menggunakan Persamaan 2.3. Dalam persamaan ini, nilai *ideal cycle time* diperoleh dari pengujian dan kalibrasi proses pengelasan pada spesimen yang memiliki bahan dan ukuran yang sama, dengan waktu yang konsisten selama 2,0 menit untuk setiap spesimen. Sedangkan *Runtime* yang digunakan sama seperti pada Persamaan 2.3. Hasil perhitungan nilai *Performance* dapat dilihat pada Tabel 4-16.

Tabel 4-16 Hasil Perhitungan Nilai *Perfomance* Pengujian Tipe III

Hari ke	Tanggal	<i>Ideal Cycle Time</i> (Menit)	Total Count (Unit)	<i>Runtime</i> (Menit)	<i>Perfomance</i> (%)
6	26/06/2024	2,0	8	22,6	70,8

c. Perhitungan Nilai *Quality* Secara Aktual

Hasil perhitungan nilai *Quality* pada mesin las MIG menggunakan satu spesimen selama dua hari berturut-turut adalah sebagai berikut. Dalam perhitungan ini, nilai *Good Count* ditentukan secara manual. Hal ini berarti bahwa jumlah produk baik yang dihasilkan (*Good Count*) dihitung secara manual oleh operator, dengan cara memisahkan dan menghitung satu per satu produk yang memenuhi standar kualitas. Pemisahan dilakukan setelah proses pengelasan selesai, dan setiap produk diperiksa visual serta dimensi ketebalannya sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Setelah penghitungan manual dilakukan, data tersebut diinput ke sistem OEE. Hasil perhitungan nilai *Quality* pada mesin las MIG menggunakan delapan spesimen dapat dilihat pada Tabel 4-17.

Tabel 4-17 Hasil Perhitungan Nilai *Quality* Pengujian Tipe III

Hari ke	Tanggal	<i>Good Unit</i> (Unit)	Total Count (Unit)	<i>Quality</i> (%)
6	26/06/2024	6	8	75

d. Perhitungan Nilai OEE Secara Sistem

Setelah didapatkan nilai ketiga komponen OEE, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai OEE menggunakan Persamaan 2.1. Hasil perhitungan nilai total OEE pada pengujian tipe III dapat dilihat Tabel 4-18.

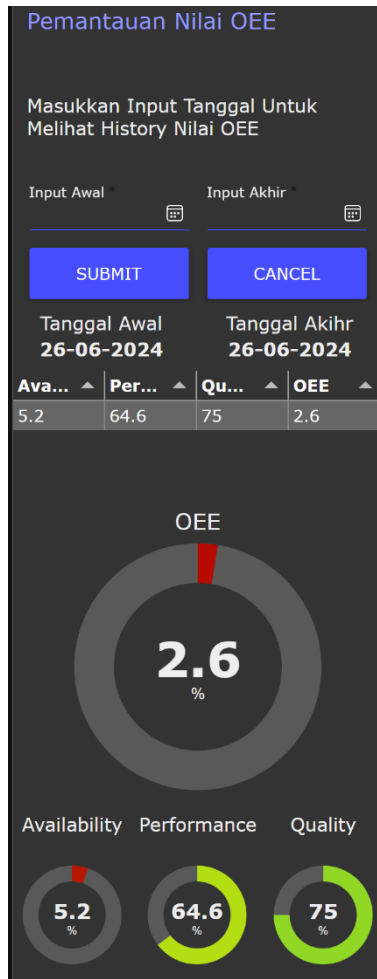
Tabel 4-18 Hasil Perhitungan Nilai OEE Pengujian Tipe III

Hari ke	Tanggal	<i>Availability</i> (%)	<i>Performance</i> (%)	<i>Quality</i> (%)	OEE (%)
6	26/06/2024	5,0	70,8	75	2,7

2. Pengujian Sistem Perhitungan Nilai OEE Menggunakan Modul Pengukuran Nilai OEE

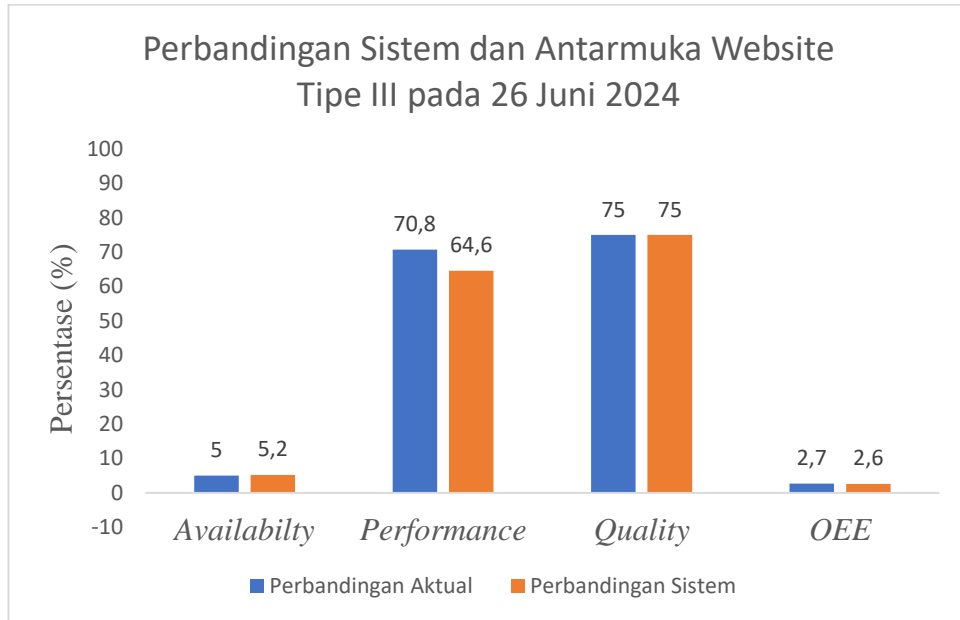
Hasil perhitungan nilai OEE menggunakan modul pengukuran ditampilkan melalui antarmuka *website* pada platform *Node-RED*, yang dirancang untuk menunjukkan kinerja mesin las secara *real-time*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan satu spesimen sebagai objek pengujian. Nilai-nilai OEE, termasuk *Availability*, *Performance*, dan *Quality*, disajikan di menu bar dalam bentuk diagram lingkaran, memudahkan visualisasi dan pemahaman setiap komponen OEE. Selain itu, data operasional seperti arus listrik, aliran gas, dan kecepatan putaran pada pergerakan kawat las ditampilkan dalam grafik garis, memberikan gambaran mendetail tentang kondisi dan kinerja mesin las. Modul pengukuran ini juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data otomatis yang menyimpan data selama 10 detik terakhir setiap kali basis data berhenti menerima data. Fitur ini memastikan bahwa tidak ada informasi penting yang hilang, sehingga analisis kinerja mesin tetap akurat dan lengkap.

Berdasarkan hasil perhitungan total nilai OEE pada pengujian delapan spesimen mesin las MIG selama satu hari. Hasil pengujian menunjukkan nilai *Availability* sebesar 5,2%, *Performance* sebesar 64,6%, dan *Quality* sebesar 75%, menghasilkan total OEE sebesar 2,6%. Hasil perhitungan nilai OEE berdasarkan antarmuka *website* menggunakan delapan spesimen dapat dilihat pada Gambar 4-20.



Gambar 4-20 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Sistem Tipe I Pada Tanggal 26 Juni 2024

Berdasarkan perhitungan nilai OEE secara sistem dan modul pengukuran, maka dapat diketahui seberapa banyak *error* pada modul pengukuran tersebut. Hasil perbandingan nilai OEE secara sistem dan aktual dapat dilihat pada Gambar 4-21.



Gambar 4-21 Perbandingan Aktual dan Sistem Tipe III pada 26 Juni 2024

Pada Gambar 4-21 dapat dilihat perbandingan antara pengujian secara sistem dan aktual. Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 2,6%. Pada aktual didapatkan OEE sebesar 2,7%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe III diperoleh sebesar 3,7%.

4.4.4 Pembahasan

Berdasarkan pengembangan yang dilakukan, modul pengukuran nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara otomatis dan *real-time* pada mesin las *Metal Inert Gas* (MIG) dengan konsep *Industry 4.0* telah dibuat dengan kriteria desain berikut:

1. Kinerja

Sistem ini memiliki fungsi untuk mengubah data analog dari sensor menjadi format digital sebelum menyimpannya ke dalam basis data. Data pengukuran sensor yang telah dikonversi dapat diakses oleh pengguna melalui *website* menggunakan jaringan lokal, dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mengakses *website* tersebut perlu melakukan *scan Quick Response (QR) code* pada mesin.

2. Fitur

Sistem perhitungan nilai OEE memiliki fitur sebagai berikut:

Antarmuka *website* untuk sistem perhitungan nilai OEE dapat diakses melalui komputer atau telepon genggam menggunakan jaringan lokal. Sistem ini berfungsi sebagai host sistem, dan pengguna mengakses antarmuka *website* dengan mengunjungi alamat *website* untuk perhitungan nilai OEE dengan melakukan *scan Quick Response (QR) code*.

3. Keandalan

Modul pengukuran ini handal dalam menampilkan visualisasi data dan sistem perhitungan nilai OEE secara visual pada antarmuka *website*. Antarmuka tersebut memiliki waktu muat rata-rata sekitar 10 detik dan modul handal beroperasi minimal 5 jam mengirim data.

Berdasarkan kriteria desain tersebut modul pengukuran dan sistem perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* secara otomatis dan *real-time* pada mesin las *Metal Inert Gas (MIG)* dengan konsep *Internet of Things (IoT)* dan *Cyber Physical System (CPS)* telah dilakukan pengujian perangkat keras dengan pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian Pembacaan Modul Pengukuran Nilai OEE

Pada modul terdapat tiga sensor yang digunakan untuk pengukuran yaitu sensor arus, sensor aliran gas, dan sensor kecepatan putaran kawat. sensor arus pada modul memiliki rata-rata *error* sebesar 1,4 % Berdasarkan standard IEC nomor 13B-23 pada Tabel 4-1 sensor arus modul pengukuran diklasifikasikan ke golongan IV dengan rentang ketelitian alat ukur sebesar $\pm 1,5\%$. menunjukkan bahwa sensor aliran gas pada modul memiliki rata-rata *error* sebesar 1,49% . Berdasarkan standard IEC nomor 13B-23 pada Tabel 4-1 sensor aliran gas modul pengukuran diklasifikasikan ke golongan IV dengan rentang ketelitian alat ukur sebesar $\pm 1,5\%$. sensor kecepatan putaran pada modul memiliki rata-rata *error* sebesar 1,1% . Berdasarkan standard IEC nomor 13B-23 pada Tabel 4-1 sensor kecepatan putaran

modul pengukuran diklasifikasikan ke golongan III dengan rentang ketelitian alat ukur sebesar $\pm 1\%$.

2. Pengujian Keandalan Modul Pengukuran Operasi Mesin dan Sistem Perhitungan Nilai OEE.

Dalam pengujian ini, modul pengukuran akan diaktifkan dan dipantau kinerjanya secara terus-menerus selama ± 5 jam. Setelah modul dihidupkan maka akan mengirim data ke penyimpanan data yang. Data ini dikirim dari sensor dalam 10 detik pada 1 data. Setelah itu pada komponen modul tidak ada gangguan.

Berikutnya berdasarkan kriteria desain tersebut modul pengukuran dan sistem perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara otomatis dan *real-time* pada mesin las *Metal Inert Gas* (MIG) dengan konsep *Internet of Things* (IoT) dan *Cyber Physical System* (CPS) telah dilakukan pengujian perangkat lunak dengan pengujian sebagai berikut:

1. Hasil Pengujian Pengiriman Data pada Basis Data

Pada modul pengukuran dilakukan pengujian pada sistem yang dibuat untuk mengetahui apakah sistem berkerja seperti yang diharapkan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian pengiriman data sensor ke basis data lokal maupun basis data server, pengujian antarmuka *website* sebagai aplikasi untuk menampilkan nilai sensor dan nilai OEE dari pengolahan data dan pemrosesan data.

2. Hasil Pengujian Sistem Pengolahan Data Operasi Mesin

Pengujian sistem pengolahan data operasi mesin yang telah dirancang dan diimplementasikan. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan spesifikasi dan mampu mengolah data operasi mesin secara akurat dan efisien untuk mengetahui durasi status mesin *on* dan *off*. Status mesin tersebut digunakan untuk mengetahui durasi aktual kerja mesin

3. Hasil Perancangan Sistem Data Rencana Kerja Mesin dan Hasil Kualitas Produk

Perancangan sistem yang bertujuan untuk menyusun rencana kerja mesin serta mengevaluasi kualitas produk yang dihasilkan. Sistem ini

dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional dan memastikan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Perancangan ini digunakan untuk menentukan data perencanaan dalam proses pengelesan seperti *planned time*, *total count*, *ideal cycletime*, dan *good unit*.

4. Hasil Perancangan Antarmuka Website Sistem Perhitungan Nilai OEE

Data sistem perhitungan nilai OEE yang telah diolah di basis data server dapat divisualisasikan dengan menampilkan data hasil pengolahan melalui antarmuka *website*, sehingga pengguna dapat memahami metrik data pengukuran dengan baik. *Node RED* adalah perangkat lunak antarmuka *website* yang dapat menampilkan visualisasi data hasil sistem perhitungan nilai OEE. Perangkat lunak Node RED dapat diakses melalui kode *Quick Response (QR) code* menggunakan alamat IP sistem perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness*. Antarmuka *website* ini dapat diakses dari komputer lain maupun *smartphone* yang terhubung ke jaringan yang sama dengan sistem perhitungan. Pada antarmuka *website* pertama menampilkan nilai OEE total, *Availability*, *Performance*, *Quality* dan grafik sepuluh data terakhir dari sensor secara *real-time*. Pada antarmuka *website* kedua menampilkan nilai OEE berdasarkan *history* tanggal awal dan akhir sesuai yang di inputkan pengguna.

Selanjutnya berdasarkan kriteria desain tersebut modul pengukuran dan sistem perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara otomatis dan *real-time* pada mesin las *Metal Inert Gas* (MIG) dengan konsep *Internet of Things* (IoT) dan *Cyber Physical System* (CPS) telah dilakukan pengujian modul dan sistem dengan pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian Tipe I

- Pada tanggal 21 Juni 2024 Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,5%. Pada pengujian secara aktual didapatkan OEE sebesar 0,4%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe I diperoleh sebesar 25%.

- Pada tanggal 22 Juni 2024 Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,5%. Pada pengujian secara aktual didapatkan OEE sebesar 0,5%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe I diperoleh sebesar 0%.

2. Pengujian Tipe II

- Pada tanggal 23 Juni 2024 Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,9%. Pada pengujian secara aktual didapatkan OEE sebesar 0,9%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe II diperoleh sebesar 0%.
- Pada tanggal 24 Juni 2024 Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,9%. Pada pengujian secara aktual didapatkan OEE sebesar 0,9%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe II diperoleh sebesar 0%.
- Pada tanggal 25 Juni 2024 Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 0,5%. Pada pengujian secara aktual didapatkan OEE sebesar 0,4%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe II diperoleh sebesar 25%.

3. Pengujian Tipe III

Pada tanggal 26 Juni 2024 Hasil perhitungan secara sistem didapatkan nilai OEE sebesar 2,6%. Pada pengujian secara aktual didapatkan OEE sebesar 2,7%. Hasil perhitungan pada kedua pengujian tersebut memiliki nilai OEE yang sama sehingga nilai *error* pada pengujian tipe III diperoleh sebesar 3,7%.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya, kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem perhitungan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara *real-time* dan otomatis berdasarkan parameter pada mesin las *Metal Inert Gas* (MIG) dengan konsep *Industry 4.0* berhasil dirancang. Sistem tersebut mempermudah pengukuran dan perhitungan OEE secara *real-time* dan otomatis sehingga tidak perlu banyak sumber daya, seperti pengumpulan data yang berkala, keterlibatan banyak orang, dan waktu yang lama untuk melakukan perhitungan nilai OEE.
2. Antarmuka *website* untuk menampilkan hasil perhitungan nilai OEE secara *real-time* dan otomatis dari las MIG berhasil dibuat. Antarmuka *website* dibuat dengan informatif, sehingga mempermudah pengguna dalam memahami data dan informasi yang tersedia pada antarmuka *website* hasil perhitungan nilai OEE.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Saran untuk pengembangan topik tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan sistem perhitungan nilai OEE dengan meningkatkan sistem penginputan penjadwalan, *ideal cycle time*, total produk, dan *good unit* secara otomatis.
2. Setiap proses yang dilakukan ketika perancangan selalu perhatikan prosedur penggunaan dan perlengkapan keamanan K3

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, P D Prasetyo et al. 2023. "Optimization and Development of Raspberry Pi 4 Model B for the Internet of Things." In *2023 IEEE 9th Information Technology International Seminar (ITIS)*, , 1–6.
- Anandita, Ghasani. 2018. "Telemetry Pengukuran Kecepatan Pada Motor Dc Berbeban." *Jurnal Skripsi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember*: 33–34.
- Asmara Putra, Anjar, Erwin Susanto, and Novi Prihatiningrum. 2021. "Sistem Perekam Kecepatan Sepeda Motor Saat Kecelakaan Menggunakan Microsd Motorcycle Speed Recording System During an Accident Using a Microsd." *e-Proceeding of Engineering* 8(6): 11479–84.
- Atikno, Welly, and Humiras Hardi Purba. 2021. "OEE, Literature Review Tinjauan Literatur Secara Sistematis Tentang Overall Equipment Effectiveness (OEE) Di Industri Manufaktur Dan Jasa." *Journal of Industrial and Engineering System* 2(1): 29–39.
- Cercós, M. Pilar, Luis Miguel Calvo, and Rosario Domingo. 2019. "An Exploratory Study on the Relationship of Overall Equipment Effectiveness (OEE) Variables and CO2 Emissions." *Procedia Manufacturing* 41: 224–32. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.07.050>.
- Gardasevic, Gordana et al. 2017. "A Heterogeneous IoT-Based Architecture for Remote Monitoring of Physiological and Environmental Parameters." In *International Conference on Internet of Things Technologies for HealthCare*, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:64806608>.
- Hakim, Dwi Putra Arief Rachman, Arief Budijanto, and Bambang Widjanarko. 2019. "Sistem Monitoring Penggunaan Air PDAM Pada Rumah Tangga Menggunakan Mikrokontroler NODEMCU Berbasis Smartphone ANDROID." *Jurnal IPTEK* 22(2): 9–18.
- Hunkeler, Urs, Hong Linh Truong, and Andy J Stanford-Clark. 2008. "MQTT-S — A Publish/Subscribe Protocol for Wireless Sensor Networks." *2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08)*: 791–98. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:206578649>.

- Ibadurrahman, Hanif. 2020. "Sistem Monitoring Arus Listrik Portable Menggunakan SCT-013-000 Dan Mikrokontroler Nodemcu Untuk Ruang Operation Center."
- Isyanto, Andi Arif, and Sri Raharno. 2022. "Rancangan Konsep Sistem Pemantauan Dan Pengelolaan Data Produksi Berbasis Configurable Virtual Workstation (CVWs)." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* 17(2): 145–52.
- Jamil, Muhammad Abid, Muhammad Arif, Normi Sham Awang Abubakar, and Akhlaq Ahmad. 2016. "Software Testing Techniques: A Literature Review." In *2016 6th International Conference on Information and Communication Technology for The Muslim World (ICT4M)*, , 177–82.
- Juniardi, Rizki Handika et al. 2020. "Perakitan Alat Pengisian Otomatis Pupuk Organik Cair Manutta Gold Dengan Set Up Arduino Uno Di Pomosda Tanjunganom Nganjuk Jawa Timur." *Cyber-Techn* 14(02): 1–12.
- Kee, Keh Kim, S Shahab, and C J Loh. 2016. *Design and Development of an Innovative Smart Metering System with GUI-Based NTL Detection Platform*.
- Kristiawan, Ndaru, Bima Ghafaral, Rohmat Indra Borman, and Selamat Samsugi. 2021. "Pemberi Pakan Dan Minuman Otomatis Pada Ternak Ayam Menggunakan SMS." *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer* 2(1): 93–105.
- Lawal, Sunday L, Sunday A Afolalu, Tien-Chien Jen, and Esther T Akinlabi. 2023. "Tungsten Inert Gas (TIG) and Metal Inert Gas (MIG) Welding Applications-Critical Review." In *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, 5012.
- Lekić, Milica, and Gordana Gardašević. 2018. "IoT Sensor Integration to Node-RED Platform." In *2018 17th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH)*, , 1–5.
- Mariko, Selli. 2019. "Aplikasi Website Berbasis HTML Dan JavaScript Untuk Menyelesaikan Fungsi Integral Pada Mata Kuliah Kalkulus." *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan* 6(1): 80–91.
- Nurlaila, Qomarotun, Rosdita Indah Yuniawati, Leni Susanti, and Anita Cahyati. 2023. *LEAN MANUFACTURING*. Penerbit Widina.
- Obaidat, Muath A et al. 2020. "A Comprehensive and Systematic Survey on the Internet of Things: Security and Privacy Challenges, Security Frameworks, Enabling Technologies, Threats, Vulnerabilities and Countermeasures."

- Comput.* 9: 44. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:219760271>.
- Priyambodo, Afif, Ledy Novamizanti, and Koredianto Usman. 2020. "Implementasi QR Code Berbasis Android Pada Sistem Presensi." *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* 7(5): 1011–20.
- Rai, Rahul, and Chandan K Sahu. 2020. "Driven by Data or Derived Through Physics? A Review of Hybrid Physics Guided Machine Learning Techniques With Cyber-Physical System (CPS) Focus." *IEEE Access* 8: 71050–73.
- Ramadhan, Fiqri Nugraha, Endang Budiasih, and Aji Pamoso. 2021. "Evaluasi Efektivitas Pemanfaatan Mesin Cnc Hurco Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness (Oee) Dan Overall Resource Effectiveness (Ore)." *eProceedings of Engineering* 8(5).
- Samir, Kousay, Mahmood Reza Khabbazi, A Maffei, and Mauro Onori. 2018. "Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems." *Procedia CIRP* 72: 498–502. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:116303195>.
- Sanni, Shereefdeen, Kehinde Olusuyi, and Ismail MAhmad. 2019. "Design and Implementation of Home Appliance Energy Monitoring Device."
- Santosa, Hadi, and Yuliati. 2022. "Scientific Journal Widya Teknik." *Scientific Journal Widya Teknik* 21(1): 14–20.
- Saputra, Chindra et al. 2024. "Design of Dodol Mixer on Based on Microcontroller Arduino Nano." *Journal of Applied Business and Technology Design* 5(1): 23–31.
- Sen, Rishav, S P Choudhury, Ramanuj Kumar, and Amlana Panda. 2018. "A Comprehensive Review on the Feasibility Study of Metal Inert Gas Welding." *Materials Today: Proceedings* 5(9, Part 3): 17792–801. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318312148>.
- Setiawan, Indra, and Humiras Hardi Purba. 2022. "A Systematic Literature Review of Implementation Key Performance Indicators (KPIs)." 1(3): 200–208.
- Setyawan, Harry Prayoga, and Sri Raharno. 2021. "Pengembangan Modul Pemantau Penggunaan Energi Listrik Untuk Menunjang Implementasi Industri 4.0." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia* 16(2): 31–37.
- Singh, Harpreet. 2020. "Big Data, Industry 4.0 and Cyber-Physical Systems

- Integration: A Smart Industry Context.” *Materials Today: Proceedings*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225360352>.
- Skender, Fehmi, and Ilker Ali. 2019. “Digitalization and Industry 4.0.” *International Scientific Journal Vision* 4(2): 47–62.
<https://visionjournal.edu.mk/social/index.php/1/article/view/62>.
- Sukmana, Adi. 2020. “Penilaian Kinerja Organisasi Menggunakan Metode Key Performance Indicators (Kpi) (Studi Kasus: Himpunan Mahasiswa Teknik Industri Universitas Widyatama).” *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan* 6(2): 163–66.
- Süzen, Ahmet Ali, Burhan Duman, and Betül Şen. 2020. “Benchmark Analysis of Jetson TX2, Jetson Nano and Raspberry PI Using Deep-CNN.” In *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, , 1–5.
- Taipalus, Toni. 2023. “Database Management System Performance Comparisons: A Systematic Literature Review.”
- Umar, Mubarak Albarka, and Zhanfang Chen. 2021. “A Comparative Study Of Dynamic Software Testing Techniques.” 12: 4575–84.
- Umar, Mubarak Albarka, and Chen Zhanfang. 2020. “A Comparative Study Of Dynamic Software Testing Techniques.” *International Journal of Advanced Networking and Applications* 12(03): 4575–84.
- Wang, Kung-Jeng, Ying-Hao Lee, and Septianda Angelica. 2021. “Digital Twin Design for Real-Time Monitoring – a Case Study of Die Cutting Machine.” *International Journal of Production Research* 59(21): 6471–85.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1817999>.
- Yaqin, Feridad Ainul, Diana Rahmawati, Achmad Fiqih Ibadillah, and Kunto Aji Wibisono. 2021. “Perancangan Power Supply Switching Dengan Power Factor Correction (PFC) Untuk Mengoptimalkan Daya Output Dan Pengaman Proteksi Hubung Singkat.” *Jurnal Arus Elektro Indonesia* 7(2): 42–50.
- Zhou, Junhong, Yu Wang, and Yong Quan Chua. 2020. “Machine OEE Monitoring and Analysis for a Complex Manufacturing Environment.” *2020 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*: 1413–18.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:226847208>.

Zhu, Li et al. 2017. “Key Performance Indicators for Manufacturing Operations Management in the Process Industry.” In *2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, , 969–73.

LAMPIRAN

Lampiran A

Hasil Penyimpanan Basis Data

Hasil pengujian kehandalan modul pengukuran

#	flowrod	flowgas	arus	waktukerja	waktukeririm	idmesin	confirm	#	flowrod	flowgas	arus	waktukerja	waktukeririm	idmesin	confirm
1688	0	0	0	2024-06-26 16:05:28	2024-06-26 16:05:28	MIG01	1	1688	0	0	0	2024-06-26 16:08:53	2024-06-26 16:08:53	MIG01	1
1689	0	0	0	2024-06-26 16:05:17	2024-06-26 16:05:17	MIG01	1	1689	0	0	0	2024-06-26 16:08:42	2024-06-26 16:08:42	MIG01	1
1690	0	0	0	2024-06-26 16:05:07	2024-06-26 16:05:07	MIG01	1	1690	0	0	0	2024-06-26 16:08:32	2024-06-26 16:08:32	MIG01	1
1691	0	0	0	2024-06-26 16:04:57	2024-06-26 16:04:57	MIG01	1	1691	0	0	0	2024-06-26 16:08:22	2024-06-26 16:08:22	MIG01	1
1692	135	0	0	2024-06-26 16:04:47	2024-06-26 16:04:47	MIG01	1	1692	0	0	0	2024-06-26 16:08:12	2024-06-26 16:08:12	MIG01	1
1693	11	0	0	2024-06-26 16:04:36	2024-06-26 16:04:36	MIG01	1	1693	0	0	0	2024-06-26 16:08:01	2024-06-26 16:08:01	MIG01	1
1694	0	0	0	2024-06-26 16:04:26	2024-06-26 16:04:26	MIG01	1	1694	0	0	0	2024-06-26 16:07:51	2024-06-26 16:07:51	MIG01	1
1695	146	0,35	0	2024-06-26 16:04:16	2024-06-26 16:04:16	MIG01	1	1695	0	0	0	2024-06-26 16:07:41	2024-06-26 16:07:41	MIG01	1
1696	0	0	0	2024-06-26 16:04:06	2024-06-26 16:04:06	MIG01	1	1696	0	0	0	2024-06-26 16:07:31	2024-06-26 16:07:31	MIG01	1
1697	0	0	0	2024-06-26 16:03:55	2024-06-26 16:03:55	MIG01	1	1697	0	0	0	2024-06-26 16:07:20	2024-06-26 16:07:20	MIG01	1
1698	7	0	0	2024-06-26 16:03:45	2024-06-26 16:03:45	MIG01	1	1698	0	0	0	2024-06-26 16:07:10	2024-06-26 16:07:10	MIG01	1
1699	0	0	1,07	2024-06-26 16:03:35	2024-06-26 16:03:35	MIG01	1	1699	0	0	0	2024-06-26 16:07:00	2024-06-26 16:07:00	MIG01	1
1700	0	0	4,52	2024-06-26 16:03:24	2024-06-26 16:03:24	MIG01	1	1700	0	0	0	2024-06-26 16:06:50	2024-06-26 16:06:50	MIG01	1
1701	0	0	0	2024-06-26 16:03:16	2024-06-26 16:03:16	MIG01	1	1701	0	0	0	2024-06-26 16:06:39	2024-06-26 16:06:39	MIG01	1
1702	0	0	0	2024-06-26 16:02:46	2024-06-26 16:02:46	MIG01	1	1702	0	0	0	2024-06-26 16:06:29	2024-06-26 16:06:29	MIG01	1
1703	0	0	0	2024-06-26 16:02:15	2024-06-26 16:02:15	MIG01	1	1703	0	0	0	2024-06-26 16:06:19	2024-06-26 16:06:19	MIG01	1
1704	45	0,25	0	2024-06-26 16:02:05	2024-06-26 16:02:05	MIG01	1	1704	0	0	0	2024-06-26 16:06:09	2024-06-26 16:06:09	MIG01	1
1705	0	0	0	2024-06-26 16:01:54	2024-06-26 16:01:54	MIG01	1	1705	0	0	0	2024-06-26 16:05:58	2024-06-26 16:05:58	MIG01	1
1706	56	0	0	2024-06-26 16:01:44	2024-06-26 16:01:44	MIG01	1	1706	0	0	0	2024-06-26 16:05:48	2024-06-26 16:05:48	MIG01	1
1707	0	0	0	2024-06-26 16:01:13	2024-06-26 16:01:13	MIG01	1	1707	0	0	0	2024-06-26 16:05:38	2024-06-26 16:05:38	MIG01	1
1708	3	0	0	2024-06-26 16:01:03	2024-06-26 16:01:03	MIG01	1	1708	0	0	0	2024-06-26 16:05:28	2024-06-26 16:05:28	MIG01	1
1709	0	0	0	2024-06-26 16:00:53	2024-06-26 16:00:53	MIG01	1	1709	0	0	0	2024-06-26 16:05:17	2024-06-26 16:05:17	MIG01	1
1710	0	0	0	2024-06-26 16:00:32	2024-06-26 16:00:32	MIG01	1	1710	0	0	0	2024-06-26 16:05:07	2024-06-26 16:05:07	MIG01	1
1711	0	0	0	2024-06-26 16:00:22	2024-06-26 16:00:22	MIG01	1	1711	0	0	0	2024-06-26 16:04:57	2024-06-26 16:04:57	MIG01	1
1712	0	0	0	2024-06-26 16:00:12	2024-06-26 16:00:12	MIG01	1	1712	135	0	0	2024-06-26 16:04:47	2024-06-26 16:04:47	MIG01	1
1713	0	0	0	2024-06-26 16:00:02	2024-06-26 16:00:02	MIG01	1	1713	0	0	0	2024-06-26 16:04:36	2024-06-26 16:04:36	MIG01	1
1714	0	0	0	2024-06-26 15:59:51	2024-06-26 15:59:51	MIG01	1	1714	0	0	0	2024-06-26 16:04:26	2024-06-26 16:04:26	MIG01	1
1715	0	0	1,08	2024-06-26 15:59:41	2024-06-26 15:59:41	MIG01	1	1715	0	0	0	2024-06-26 16:04:16	2024-06-26 16:04:16	MIG01	1
1716	0	0	4,57	2024-06-26 15:59:31	2024-06-26 15:59:31	MIG01	1	1716	146	0,35	0	2024-06-26 16:04:06	2024-06-26 16:04:06	MIG01	1
1717	0	0	19,43	2024-06-26 15:59:21	2024-06-26 15:59:21	MIG01	1	1717	0	0	0	2024-06-26 16:03:55	2024-06-26 16:03:55	MIG01	1

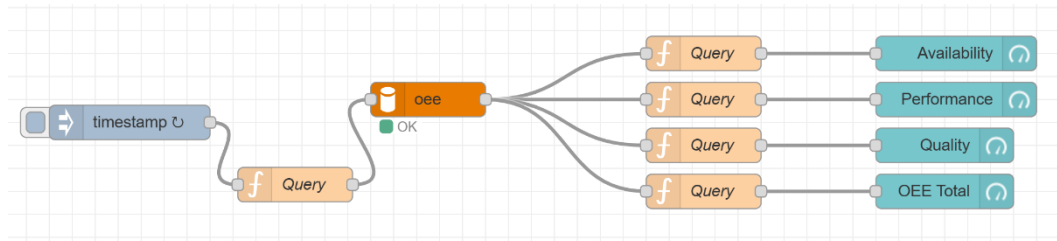
#	flowrod	flowgas	arus	waktukerja	waktukeririm	idmesin	confirm	#	flowrod	flowgas	arus	waktukerja	waktukeririm	idmesin	confirm
1608	0	7,43	0	2024-06-26 16:19:08	2024-06-26 16:19:08	MIG01	1	1478	0	0	0	2024-06-26 16:41:21	2024-06-26 16:41:21	MIG01	1
1609	75	7,75	3,64	2024-06-26 16:18:58	2024-06-26 16:18:58	MIG01	1	1479	0	0	0	2024-06-26 16:41:11	2024-06-26 16:41:11	MIG01	1
1610	270	8,49	9,35	2024-06-26 16:18:47	2024-06-26 16:18:47	MIG01	1	1480	0	0	0	2024-06-26 16:41:00	2024-06-26 16:41:00	MIG01	1
1611	165	8,59	4,42	2024-06-26 16:18:37	2024-06-26 16:18:37	MIG01	1	1481	0	0	0	2024-06-26 16:40:50	2024-06-26 16:40:50	MIG01	1
1612	97	8,76	8,88	2024-06-26 16:18:27	2024-06-26 16:18:27	MIG01	1	1482	0	0	0	2024-06-26 16:40:40	2024-06-26 16:40:40	MIG01	1
1613	258	9,55	8,86	2024-06-26 16:18:17	2024-06-26 16:18:17	MIG01	1	1483	0	0	0	2024-06-26 16:40:30	2024-06-26 16:40:30	MIG01	1
1614	232	9,85	8,82	2024-06-26 16:18:06	2024-06-26 16:18:06	MIG01	1	1484	0	0	0	2024-06-26 16:40:19	2024-06-26 16:40:19	MIG01	1
1615	273	9,59	8,61	2024-06-26 16:17:56	2024-06-26 16:17:56	MIG01	1	1485	0	0	0	2024-06-26 16:40:09	2024-06-26 16:40:09	MIG01	1
1616	266	11,09	9,09	2024-06-26 16:17:46	2024-06-26 16:17:46	MIG01	1	1486	0	0	0	2024-06-26 16:39:59	2024-06-26 16:39:59	MIG01	1
1617	268	10,74	9,69	2024-06-26 16:17:36	2024-06-26 16:17:36	MIG01	1	1487	0	0	0	2024-06-26 16:39:49	2024-06-26 16:39:49	MIG01	1
1618	240	11,59	9,93	2024-06-26 16:17:25	2024-06-26 16:17:25	MIG01	1	1488	0	0	0	2024-06-26 16:39:38	2024-06-26 16:39:38	MIG01	1
1619	127	11,74	9,81	2024-06-26 16:17:15	2024-06-26 16:17:15	MIG01	1	1489	0	0	0	2024-06-26 16:39:28	2024-06-26 16:39:28	MIG01	1
1620	270	11,58	8,95	2024-06-26 16:17:05	2024-06-26 16:17:05	MIG01	1	1490	0	0	0	2024-06-26 16:39:18	2024-06-26 16:39:18	MIG01	1
1621	275	11,83	7,6	2024-06-26 16:16:55	2024-06-26 16:16:55	MIG01	1	1491	0	0	0	2024-06-26 16:39:08	2024-06-26 16:39:08	MIG01	1
1622	285	11,78	5,4	2024-06-26 16:16:44	2024-06-26 16:16:44	MIG01	1	1492	0	0	0	2024-06-26 16:38:57	2024-06-26 16:38:57	MIG01	1
1623	252	7,41	10,88	2024-06-26 16:16:34	2024-06-26 16:16:34	MIG01	1	1493	0	0	0	2024-06-26 16:38:47	2024-06-26 16:38:47	MIG01	1
1624	252	3,28	8,7	2024-06-26 16:16:24	2024-06-26 16:16:24	MIG01	1	1494	0	0	0	2024-06-26 16:38:37	2024-06-26 16:38:37	MIG01	1
1625	259	0	8,76	2024-06-26 16:16:14	2024-06-26 16:16:14	MIG01	1	1495	0	0	0	2024-06-26 16:38:26	2024-06-26 16:38:26	MIG01	1
1626	288	0,16	10,53	2024-06-26 16:16:03	2024-06-26 16:16:03	MIG01	1	1496	0	0	0	2024-06-26 16:38:16	2024-06-26 16:38:16	MIG01	1
1627	131	0	3,2	2024-06-26 16:15:53	2024-06-26 16:15:53	MIG01	1	1497	0	0	0	2024-06-26 16:38:06	2024-06-26 16:38:06	MIG01	1
1628	221	0,01	10,79	2024-06-26 16:15:43	2024-06-26 16:15:43	MIG01	1	1498	0	0	0	2024-06-26 16:37:56	2024-06-26 16:37:56	MIG01	1
1629	240	0,05	0	2024-06-26 16:15:32	2024-06-26 16:15:32	MIG01	1	1499	0	0	0	2024-06-26 16:37:45	2024-06-26 16:37:45	MIG01	1
1630	0	0	0	2024-06-26 16:15:22	2024-06-26 16:15:22	MIG01	1	1500	7	0	0	2024-06-26 16:37:35	2024-06-26 16:37:35	MIG01	1
1631	26	0	0	2024-06-26 16:15:12	2024-06-26 16:15:12	MIG01	1	1501	3	0	0	2024-06-26 16:37:25	2024-06-26 16:37:25	MIG01	1
1632	0	0	0	2024-06-26 16:15:02	2024-06-26 16:15:02	MIG01	1	1502	0	0	0	2024-06-26 16:37:15	2024-06-26 16:37:15	MIG01	1
1633	0	0	0	2024-06-26 16:14:51	2024-06-26 16:14:51	MIG01	1	1503	0	0	0	2024-06-26 16:37:04	2024-06-26 16:37:04	MIG01	1
1634	0	0	0	2024-06-26 16:14:41	2024-06-26 16:14:41	MIG01	1	1504	0	0	0	2024-06-26 16:36:54	2024-06-26 16:36:54	MIG01	1
1635	0	0	0	2024-06-26 16:14:31	2024-06-26 16:14:31	MIG01	1	1505	0	0	0	2024-06-26 16:36:44	2024-06-26 16:36:44	MIG01	1
1636	0	0	0	2024-06-26 16:14:21	2024-06-26 16:14:21	MIG01	1	1506	0	0	0	2024-06-26 16:36:34	2024-06-26 16:36:34	MIG01	1
1637	0	0	0	2024-06-26 16:14:10	2024-06-26 16:14:10	MIG01	1	1507	0	0	0	2024-06-26 16:36:23	2024-06-26 16:36:23	MIG01	1

#	flowrod	flowgas	arus	waktukerja	waktukeririm	idmesin	confirm	#	flowrod	flowgas	arus	waktukerja	waktukeririm	idmesin	confirm
1448	202	2,8	10,14	2024-06-26 16:46:28	2024-06-26 16:46:28	MIG01	1	1410	0	0	0	2024-06-26 16:51:36	2024-06-26 16:51:36	MIG01	1
1449	153	0,55	8,49	2024-06-26 16:46:18	2024-06-26 16:46:18	MIG01	1	1411	0	0	0	2024-06-26 16:51:26	2024-06-26 16:51:26	MIG01	1
1450	258	1,78	7,63	2024-06-26 16:46:08	2024-06-26 16:46:08	MIG01	1	1412	0	0	0	2024-06-26 16:51:16	2024-06-26 16:51:16	MIG01	1
1451	270														

Lampiran B

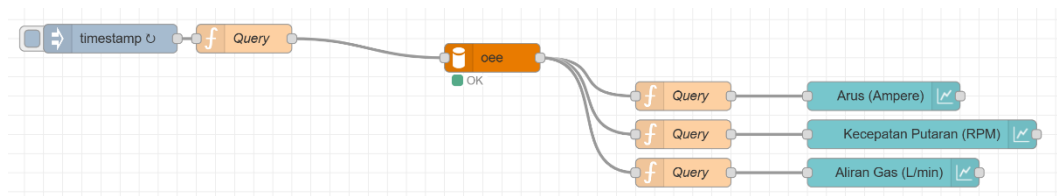
Hasil Perancangan Antarmuka *website* Sistem Perhitungan Nilai OEE pada
Node-Red

Hasil Perancangan Alur Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE pada Node-RED tampilan pertama untuk menampilkan Nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan OEE Total



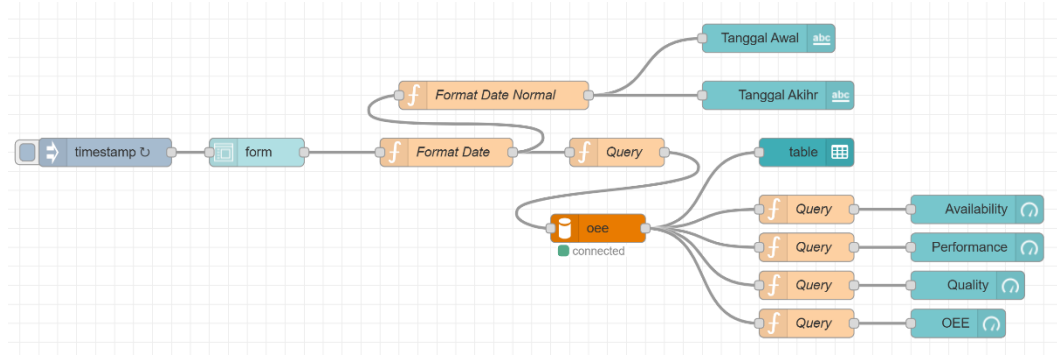
Gambar B-1 Alur Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE pada Node-RED tampilan pertama untuk menampilkan Nilai *Availability*, *Performance*, *Quality*, dan OEE Total

Hasil Perancangan Alur Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE pada Node-RED tampilan pertama untuk menampilkan sensor arus, kecepatan putar, dan aliran gas



Gambar B-2 Alur Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE pada Node-RED tampilan pertama untuk menampilkan sensor arus, kecepatan putar, dan aliran gas

Hasil Perancangan Alur Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE pada Node-RED tampilan kedua untuk menampilkan *history* dari nilai OEE berdasarkan tanggal yang di inputkan user



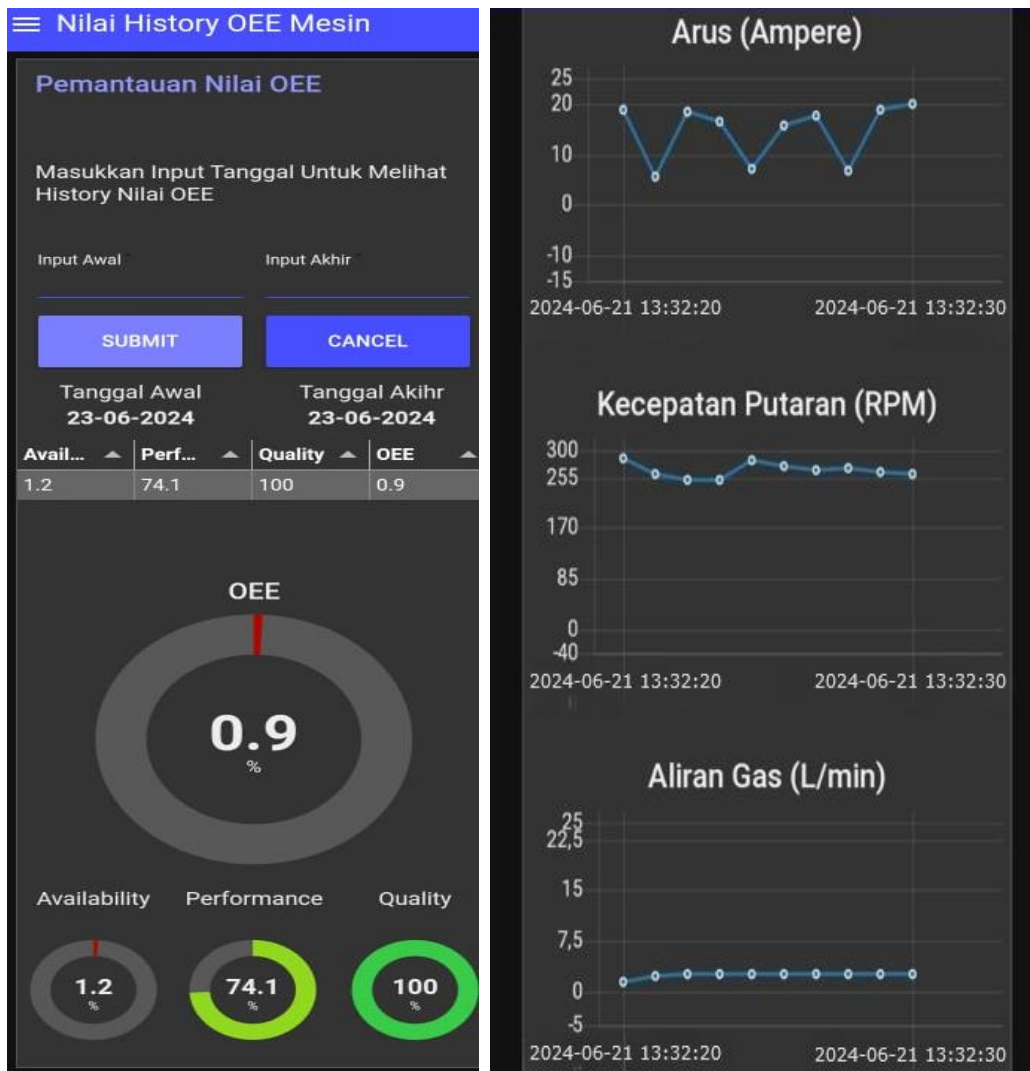
Gambar B-3 Alur Antarmuka *Website* Sistem Perhitungan Nilai OEE pada Node-RED tampilan kedua untuk menampilkan *history* dari nilai OEE berdasarkan tanggal yang di inputkan user

Lampiran C

Data Pengukuran Nilai OEE dan Hasil Pembuatan *Quick Response Code*

1. Hasil Pengujian Tipe I

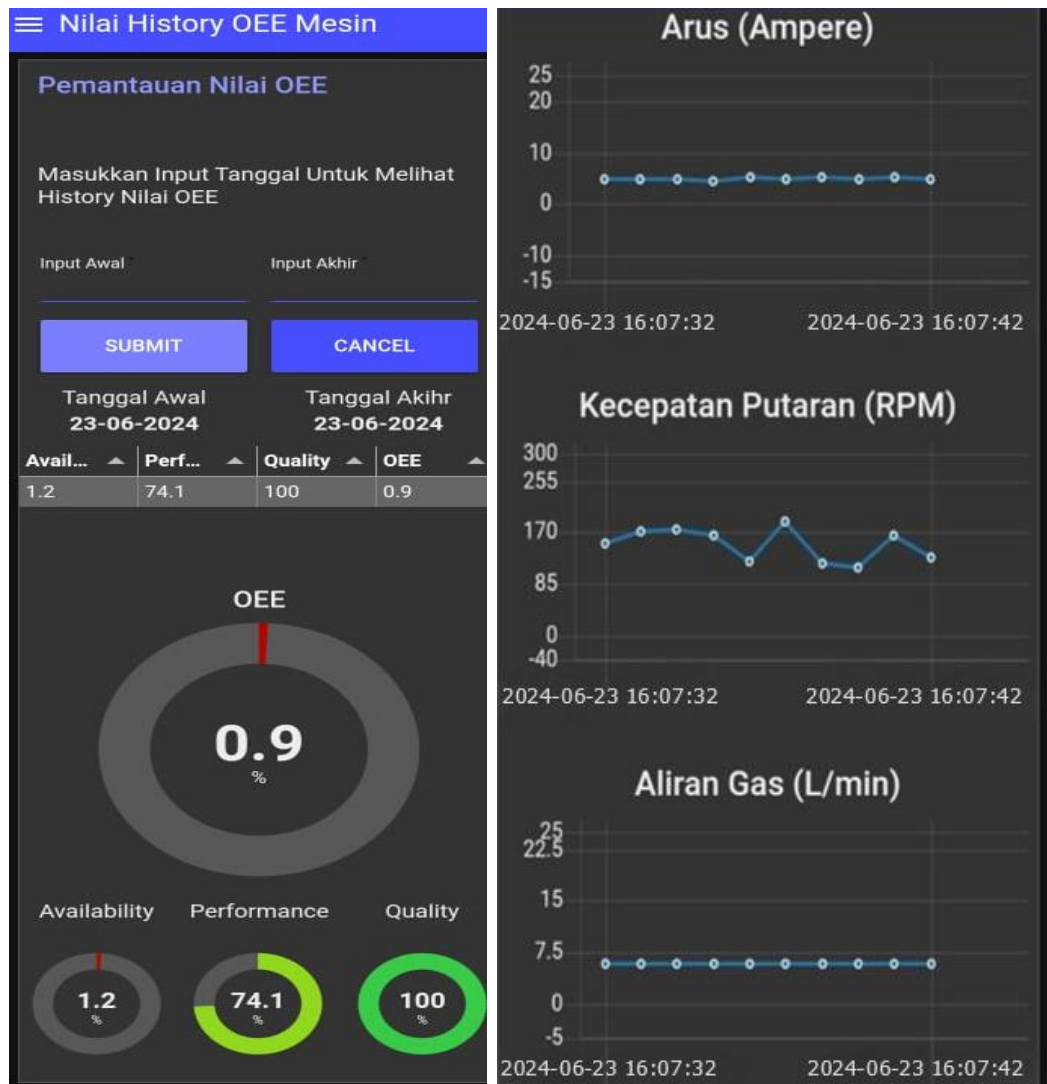
Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-1



Gambar C-2 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-1

2. PENGUJIAN TIPE II

Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-4



Gambar C-4 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-3

Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-4



Gambar C-5 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-4

Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-5



Gambar C-6 Hasil Perhitungan Nilai OEE Berdasarkan Modul Pengukuran pada Hari Ke-5

2. Hasil Pembuatan *Quick Response Code*



Gambar C-7 Hasil pembuatan *Quick Response Code*

Lampiran D

Hasil Pengelasan Spesimen

1. Hasil spesimen pengujian Tipe I



Gambar D-1 Hasil Spesimen Hari Ke-1



Gambar D-2 Hasil Spesimen Hari Ke-2

2. Hasil spesimen pengujian Tipe II



Gambar D-3 Hasil Spesimen Hari Ke-3



Gambar D-4 Hasil Spesimen Hari Ke-4



Gambar D-5 Hasil Spesimen Hari Ke-5

2. Hasil spesimen pengujian Tipe III



Gambar D-6 Hasil Spesimen Hari Ke-6

Lampiran E

Hasil Perancangan Model Data Setiap Tabel

#	id	nama
1	MSN000	Mesin Las
2	MSN001	Mesin Bubut

Gambar E-1 Tabel Jenis Mesin

#	id	nama
1	PRD01	Rangka Mobil
2	PRD02	poros engkol
3	PRD03	poros engsel
4	PRD04	plat A36

Gambar E-2 Tabel Jenis Produk

#	mesinon	mesinoff	idmesin
1	2024-06-21 13:27:14	2024-06-21 13:27:24	MIG01
2	2024-06-21 13:30:29	2024-06-21 13:33:02	MIG01
3	2024-06-22 15:40:46	2024-06-22 15:41:16	MIG01
4	2024-06-22 15:41:27	2024-06-22 15:42:59	MIG01
5	2024-06-23 16:05:14	2024-06-23 16:05:25	MIG01
6	2024-06-23 16:05:35	2024-06-23 16:08:40	MIG01
7	2024-06-23 16:16:21	2024-06-23 16:16:52	MIG01
8	2024-06-23 16:17:02	2024-06-23 16:18:34	MIG01
9	2024-06-24 16:37:22	2024-06-24 16:39:46	MIG01
10	2024-06-24 16:45:45	2024-06-24 16:48:18	MIG01

Gambar E-3 Tabel Kerja Mesin

#	mesin	stasiunkerja	login	logut
1	MIG00	SK00	2024-05-22	(NULL)
2	MIG01	SK01	2024-05-22	(NULL)

Gambar E-4 Tabel Lokasi Mesin

#	flowrod	flowgas	arus	waktukerja	waktuterkirim	idmesin	confirm
1	0	0	0	2024-06-21 13:29:07	2024-06-25 13:29:05	MIG01	1
2	0	0	0	2024-06-21 13:29:17	2024-06-25 13:29:16	MIG01	1
3	11	0	3.92	2024-06-21 13:29:28	2024-06-25 13:29:26	MIG01	1
4	0	0	0	2024-06-21 13:29:38	2024-06-25 13:29:36	MIG01	1
5	0	0	0	2024-06-21 13:29:48	2024-06-25 13:29:46	MIG01	1
6	0	0	0	2024-06-21 13:29:58	2024-06-25 13:29:57	MIG01	1
7	0	0	0	2024-06-21 13:30:09	2024-06-25 13:30:07	MIG01	1
8	67	1.71	0	2024-06-21 13:30:19	2024-06-25 13:30:17	MIG01	1
9	116	7.38	21.98	2024-06-21 13:30:29	2024-06-25 13:30:27	MIG01	1
10	252	7.07	21.46	2024-06-21 13:30:39	2024-06-25 13:30:38	MIG01	1
11	285	7	20.95	2024-06-21 13:30:50	2024-06-25 13:30:48	MIG01	1
12	232	6.72	23.81	2024-06-21 13:31:00	2024-06-25 13:30:58	MIG01	1
13	275	6.6	23.82	2024-06-21 13:31:10	2024-06-25 13:31:08	MIG01	1
14	268	5.66	23.41	2024-06-21 13:31:20	2024-06-25 13:31:19	MIG01	1

Gambar E-5 Tabel Monitoring Mesin

#	id	jenisproduk	jumlah
1	OR00	PRD04	1
2	OR01	PRD04	1
3	OR02	PRD04	1
4	OR03	PRD04	1
5	OR04	PRD04	1
6	OR05	PRD04	1
7	OR06	PRD04	1
8	OR07	PRD04	1
9	OR08	PRD04	1
10	OR09	PRD04	1
11	OR10	PRD04	1
12	OR11	PRD04	1
13	OR12	PRD04	1
14	OR13	PRD04	1
15	OR14	PRD04	1
16	OR15	PRD04	1

Gambar E-6 Tabel Pesanan

#	idproses	jenisproduk	namaproses	mesin	durasi	satuan
1	B01	PRD02	Pembubutan	MSN001	120	menit
2	L01	PRD01	Pengelasan	MSN000	180	menit
3	L02	PRD02	Pengelasan	MSN000	50	menit
4	L03	PRD04	Pengelasan	MSN000	2	menit

Gambar E-7 Tabel Proses

#	id	rencanamulai	rencanaselesai	order	idmesin	proses	output	confirm
1	R000	2024-06-21 13:30:00	2024-06-21 13:32:00	OR00	MIG01	L03	PRD001	1
2	R001	2024-06-22 13:40:00	2024-06-22 13:42:00	OR01	MIG01	L03	PRD002	1
3	R002	2024-06-23 16:05:00	2024-06-23 16:07:00	OR02	MIG01	L03	PRD003	1
4	R003	2024-06-23 16:15:00	2024-06-23 16:17:01	OR03	MIG01	L03	PRD004	1
5	R004	2024-06-24 16:37:00	2024-06-24 13:39:00	OR04	MIG01	L03	PRD005	1
6	R005	2024-06-24 16:45:00	2024-06-24 16:47:00	OR05	MIG01	L03	PRD006	1
7	R006	2024-06-25 17:03:00	2024-06-25 17:05:00	OR06	MIG01	L03	PRD007	1
8	R007	2024-06-25 17:11:00	2024-06-25 17:13:00	OR07	MIG01	L03	PRD008	0
9	R008	2024-06-26 16:15:00	2024-06-26 16:17:00	OR08	MIG01	L03	PRD009	1
10	R009	2024-06-26 16:30:00	2024-06-26 16:32:00	OR09	MIG01	L03	PRD010	1
11	R010	2024-06-26 16:45:00	2024-06-26 16:47:00	OR10	MIG01	L03	PRD011	0
12	R011	2024-06-26 17:00:00	2024-06-26 17:02:00	OR11	MIG01	L03	PRD012	1
13	R012	2024-06-26 17:15:00	2024-06-26 17:17:00	OR12	MIG01	L03	PRD013	0
14	R013	2024-06-26 17:36:00	2024-06-26 17:38:00	OR13	MIG01	L03	PRD014	1
15	R014	2024-06-26 17:45:00	2024-06-26 17:47:00	OR14	MIG01	L03	PRD015	1
16	R015	2024-06-25 18:00:00	2024-06-26 18:02:00	OR15	MIG01	L03	PRD0016	1

Gambar E-8 Tabel Rencana Kerja Mesin

#	id	nama	dibuat	selesai
1	SK00	Pengelasan 00	2024-05-22	(NULL)
2	SK01	Pengelasan 01	2024-05-22	(NULL)
3	SK02	Pembubutan 00	2024-05-22	(NULL)

Gambar E-9 Tabel Stasiun Kerja

#	id	jenismesin	tipemesin	mulaipakai	selesai
1	MIG00	MSN000	Mesin Las Mig Manual 1	2024-05-22	(NULL)
2	MIG01	MSN000	Mesin Las Mig Manual 2	2024-05-22	(NULL)

Gambar E-10 Tabel Type Mesin

#	masuk	keluar	mulaiberlaku	selesaiberlaku
1	08:00:00	12:00:00	2024-05-22	(NULL)
2	13:00:00	17:00:00	2024-05-22	(NULL)

Gambar E-11 Tabel Waktu Kerja