

**PERANCANGAN SISTEM PREDIKSI *WORK-IN-PROGRESS*  
MANUFAKTUR BAJA MENGGUNAKAN PENDEKATAN ARSITEKTUR  
*DECOUPLED MACHINE LEARNING***



**MUHAMMAD ARDY CAHYA  
NIM. 2210511145**

**PROGRAM STUDI SARJANA INFORMATIKA  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”  
JAKARTA  
2026**

**PERANCANGAN SISTEM PREDIKSI WORK-IN-PROGRESS  
MANUFAKTUR BAJA MENGGUNAKAN PENDEKATAN ARSITEKTUR  
DECOUPLED *MACHINE LEARNING***

**MUHAMMAD ARDY CAHYA  
NIM. 2210511145**

**SKRIPSI  
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Komputer**

**PROGRAM STUDI S1 INFORMATIKA  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”  
JAKARTA  
2026**

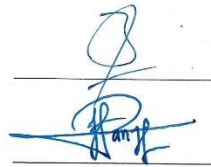
## LEMBAR PENGESAHAN

### LEMBAR PENGESAHAN

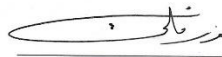
Judul : PERANCANGAN SISTEM PREDIKSI *WORK-IN-PROGRESS*  
MANUFAKTUR BAJA MENGGUNAKAN PENDEKATAN  
ARSITEKTUR *DECOUPLED MACHINE LEARNING*  
Nama : Muhammad Ardy Cahya  
NIM : 2210511145  
Program Studi : Informatika

Disetujui oleh :

Penguji 1:  
Jayanta, S.Kom, M.Si.



Penguji 2:  
Muhammad Panji Muslim, S.Pd., M.Kom



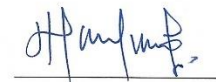
Pembimbing 1:  
Dr. Noor Falih, S.Kom., M.T



Pembimbing 2:  
Musthofa Galih Pradana, M.Kom.

Diketahui oleh:

Koordinator Program Studi:  
Dr. Ridwan Raafi'udin, M.Kom.  
NIP. 198805022021211001



Dekan Fakultas Ilmu Komputer:  
Prof. Dr. Ir. Supriyanto, ST., M.Sc., IPM.  
NIP. 197605082003121002


Tanggal Ujian Tugas Akhir  
21 Juli 2026

**PERSYARATAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA  
PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta.



## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

### PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ardy Cahya  
NIM : 2210511145  
Fakultas : Fakultas Ilmu Komputer  
Program Studi : S1 Informatika

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non - exclusive Royalty Free Right) atas skripsi saya yang berjudul:

**Perancangan Sistem Prediksi *Work-in-Progress* Manufaktur Baja Menggunakan Pendekatan Arsitektur *Decoupled Machine Learning***

Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta berhak menyimpan, mengalih media atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (basis data), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta  
21 Juli 2026  
Yang menyatakan,



Muhammad Ardy Cahya

# **PERANCANGAN SISTEM PREDIKSI WORK-IN-PROGRESS MANUFAKTUR BAJA MENGGUNAKAN PENDEKATAN ARSITEKTUR DECOUPLED MACHINE LEARNING**

**Muhammad Ardy Cahya**

## **ABSTRAK**

Dalam konteks studi kasus, Work-in-Progress (WIP) merupakan keluaran produksi yang belum mencapai kategori Prime, tetapi masih dapat diproses ulang. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi purwarupa sistem prediksi dan pemantauan WIP pada manufaktur baja menggunakan pendekatan arsitektur decoupled machine learning. Penelitian menggunakan Design Research Methodology dengan mengolah laporan produksi semi-terstruktur melalui prapemrosesan berbantuan manual, pembentukan observasi tanggal–profil, alokasi WIP harian, pencegahan data leakage, dan pembagian data secara kronologis. Lima model regresi dibandingkan, dengan Extra Trees terpilih sebagai model terbaik dengan RMSE 177,37 ton, MAE 110,00 ton, dan  $R^2$  0,102 pada 24 observasi pengujian serta mengungguli baseline mean dan baseline median. Model dioperasionalkan melalui adapter layer, layanan API, antrean pekerjaan asinkron, worker inferensi, artefak model, basis data, dan antarmuka web. Pengujian fungsional mencakup kontrak data dan adapter, lifecycle prediksi asinkron, keterlacakan model, dan rekonsiliasi. Validasi terbatas oleh tiga praktisi memperoleh rata-rata 3,86 dari skala 4. Purwarupa berhasil mengoperasionalkan model prediksi WIP, sedangkan hasil prediksi tetap diposisikan sebagai estimasi awal, bukan dasar tunggal keputusan operasional.

**Kata Kunci:** *Work-in-Progress*; manufaktur baja; *machine learning*; *arsitektur decoupled*; Extra Trees.

# **PERANCANGAN SISTEM PREDIKSI WORK-IN-PROGRESS MANUFAKTUR BAJA MENGGUNAKAN PENDEKATAN ARSITEKTUR DECOUPLED MACHINE LEARNING**

**Muhammad Ardy Cahya**

## **ABSTRACT**

*In the context of the case study, Work-in-Progress (WIP) refers to production output that has not reached the Prime category but can still be reprocessed. This study aims to design and evaluate a WIP prediction and monitoring prototype for steel manufacturing using a decoupled machine learning architecture. The research adopts the Design Research Methodology and processes semi-structured production reports through manual-assisted preprocessing, date-profile observation construction, daily WIP allocation, data leakage prevention, and chronological data splitting. Five regression models were compared, with Extra Trees selected as the best-performing model, achieving an RMSE of 177.37 tons, MAE of 110.00 tons, and  $R^2$  of 0.102 on 24 test observations, while outperforming the mean and median baselines. The model was operationalized through an adapter layer, API services, an asynchronous task queue, an inference worker, model artifacts, a database, and a web interface. Functional testing covered data contracts and adapters, the asynchronous prediction lifecycle, model traceability, and reconciliation. Limited validation by three practitioners produced an average score of 3.86 out of 4. The prototype successfully operationalized the WIP prediction model, while predictions remain preliminary estimates rather than the sole basis for operational decisions.*

**Keywords:** Work-in-Progress; steel manufacturing; machine learning; decoupled architecture; Extra Trees.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *PERANCANGAN SISTEM PREDIKSI WORK-IN-PROGRESS MANUFAKTUR BAJA MENGGUNAKAN PENDEKATAN ARSITEKTUR DECOUPLED MACHINE LEARNING*. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jakarta.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua, saudara, serta keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Supriyanto, M.Sc., IPM selaku Dekan Fakultas Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
3. Bapak Dr. Ridwan Raafi’udin, M.Kom, selaku Kepala Program Studi S1 Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
4. Bapak Dr. Noor Falih, S.Kom, M.T. dan Musthofa Galih Pradana, M.Kom., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan serta bimbingan yang sangat berarti dalam penyusunan penelitian ini.
5. Bapak Hamonangan Kinantan Prabu, M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, informasi, dan dukungan selama masa perkuliahan.
6. Seluruh dosen Fakultas Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jakarta yang telah memberikan ilmu dan wawasan berharga selama masa perkuliahan.
7. Teman-teman serta rekan seperjuangan penulis yang telah memberikan dukungan moral, motivasi, dan menjadi teman diskusi selama proses penyusunan skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan kerja sama sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi referensi yang berguna bagi

pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang pengembangan arsitektur sistem prediksi pada sektor manufaktur baja.

## DAFTAR ISI

|                                                                                                  |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                                                          | ii   |
| KATA PENGANTAR.....                                                                              | vii  |
| DAFTAR ISI.....                                                                                  | ix   |
| DAFTAR GAMBAR.....                                                                               | xii  |
| DAFTAR TABEL .....                                                                               | xiv  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                                            | xvii |
| BAB 1. PENDAHULUAN .....                                                                         | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                                                                        | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                                                                        | 5    |
| 1.3. Batasan Masalah.....                                                                        | 6    |
| 1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian .....                                                         | 7    |
| 1.4.1. Tujuan Penelitian.....                                                                    | 7    |
| 1.4.2. Manfaat Penelitian .....                                                                  | 8    |
| 1.5. Sistematika Penulisan .....                                                                 | 8    |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....                                                                     | 10   |
| 2.1. Kajian Teori.....                                                                           | 10   |
| 2.1.1. Manufaktur Baja, Klasifikasi Mutu, dan WIP sebagai Keluaran<br><i>Repairable</i> .....    | 10   |
| 2.1.2. <i>Machine learning</i> untuk Prediksi pada Data Tabular Industri                         | 17   |
| 2.1.3. Pengolahan Data Historis, Pembentukan Target, dan<br>Pencegahan <i>Data leakage</i> ..... | 29   |
| 2.1.4. Arsitektur <i>Decoupled Machine learning</i> dan Integrasi Sistem .                       | 36   |
| 2.1.5. Pengembangan Artefak Perangkat Lunak Secara Iteratif .....                                | 42   |
| 2.1.6. <i>Black-box</i> pada Sistem Prediksi Berbasis <i>Machine learning</i> ....               | 44   |
| 2.2 Penelitian Terdahulu.....                                                                    | 53   |
| BAB 3. METODE PENELITIAN.....                                                                    | 59   |
| 3.1. Tahapan Penelitian.....                                                                     | 59   |
| 3.1.1. Klarifikasi Penelitian .....                                                              | 61   |
| 3.1.2. Studi Deskriptif I.....                                                                   | 61   |
| 3.1.3. Studi Preskriptif.....                                                                    | 62   |
| 3.1.4. Studi Deskriptif II .....                                                                 | 64   |

|        |                                                                                   |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.   | Perancangan Sistem .....                                                          | 65  |
| 3.2.1. | Gambaran Umum Sistem .....                                                        | 65  |
| 3.2.2. | Perancangan Arsitektur Sistem .....                                               | 67  |
| 3.2.3. | Perancangan Alur Sistem .....                                                     | 70  |
| 3.2.4. | Perancangan Basis Data .....                                                      | 74  |
| 3.2.5. | Perancangan API, Adapter, dan Antarmuka.....                                      | 76  |
| 3.3.   | Sumber dan Karakteristik Data .....                                               | 81  |
| 3.4.   | Teknik Pengolahan Data.....                                                       | 83  |
| 3.4.1. | Identifikasi Struktur Data Mentah .....                                           | 84  |
| 3.4.2. | Pembersihan, Normalisasi dan Konsolidasi Data .....                               | 85  |
| 3.4.3. | Pembentukan Unit Analisis dan Alokasi WIP .....                                   | 87  |
| 3.4.4. | Pemilihan Fitur dan Pencegahan <i>Data leakage</i> .....                          | 88  |
| 3.4.5. | Pembentukan dan Validasi Dataset Terstruktur .....                                | 91  |
| 3.5.   | Perancangan Model <i>Machine learning</i> .....                                   | 92  |
| 3.5.1. | Penetapan Target dan Skema Prediksi .....                                         | 94  |
| 3.5.2. | Pembagian Data dan Skenario Eksperimen .....                                      | 95  |
| 3.5.3. | Kandidat Model Regresi.....                                                       | 96  |
| 3.5.4. | <i>Hyperparameter tuning</i> , Evaluasi, dan Pemilihan Model .....                | 97  |
| 3.5.5. | Serialisasi <i>Pipeline</i> dan Artefak Model untuk Inferensi Sistem              | 99  |
| 3.6.   | Rancangan Pengujian .....                                                         | 102 |
| 3.6.1. | Rancangan Pengujian Model Prediksi .....                                          | 102 |
| 3.6.2. | Rancangan Pengujian Fungsional Sistem dengan Pendekatan<br><i>Black-box</i> ..... | 104 |
| 3.6.3. | Rancangan Validasi Terbatas oleh Responden Praktisi .....                         | 110 |
| 3.7.   | Alat dan Bahan Penelitian .....                                                   | 114 |
| 3.7.1. | Perangkat Keras.....                                                              | 114 |
| 3.7.2. | Perangkat Lunak dan Framework .....                                               | 114 |
| 3.7.3. | Bahan Penelitian .....                                                            | 116 |
| 3.7.4. | Lingkungan Pengembangan dan Pengujian.....                                        | 117 |
| 3.8.   | Jadwal Penelitian.....                                                            | 120 |
| BAB 4. | HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                                        | 122 |
| 4.1.   | Hasil Implementasi Sistem .....                                                   | 122 |

|                             |                                                                      |            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.1.                      | Lingkungan dan Realisasi Arsitektur Decoupled Machine Learning.....  | 122        |
| 4.1.2.                      | Implementasi Basis Data dan Pengelolaan Status .....                 | 125        |
| 4.1.3.                      | Implementasi API, Adapter Layer, dan Alur Prediksi Asinkron<br>131   |            |
| 4.1.4.                      | Implementasi Antarmuka Web .....                                     | 139        |
| 4.2.                        | Hasil Pengolahan Data dan Pengembangan Model Prediksi WIP            | 143        |
| 4.2.1.                      | Hasil Pengolahan dan Validasi Dataset Terstruktur .....              | 143        |
| 4.2.2.                      | Skenario Eksperimen dan Perbandingan Kandidat Model ....             | 149        |
| 4.2.3.                      | Hasil Hyperparameter tuning, Pemilihan, dan Serialisasi Model<br>152 |            |
| 4.2.4.                      | Hasil Pengujian Akhir dan Analisis Kesalahan Prediksi .....          | 157        |
| 4.3.                        | Hasil Evaluasi Implementasi Sistem.....                              | 159        |
| 4.3.1.                      | Pengujian Fungsional Sistem .....                                    | 159        |
| 4.3.2.                      | Hasil Validasi Terbatas oleh Responden Praktisi .....                | 168        |
| 4.4.                        | Pembahasan Hasil .....                                               | 171        |
| 4.4.1.                      | Ketercapaian Rumusan Masalah Pertama.....                            | 171        |
| 4.4.2.                      | Ketercapaian Rumusan Masalah Kedua .....                             | 173        |
| 4.4.3.                      | Ketercapaian Rumusan Masalah Ketiga .....                            | 175        |
| <b>BAB 5. PENUTUP .....</b> |                                                                      | <b>177</b> |
| 5.1.                        | Kesimpulan .....                                                     | 177        |
| 5.2.                        | Saran.....                                                           | 178        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b> |                                                                      | <b>180</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>        |                                                                      | <b>185</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 2.1 Alur Manufaktur Baja dan Batas Data Penelitian .....                                   | 11  |
| Gambar 2.2 Contoh Bentuk Penampang Profil Baja .....                                              | 12  |
| Gambar 2.3 Posisi WIP dalam Klasifikasi Mutu Studi Kasus .....                                    | 13  |
| Gambar 2.4 Alur Umum Pengembangan Model Prediksi WIP .....                                        | 19  |
| Gambar 2.5 Alur Pengolahan Data Historis dan Pembentukan Dataset WIP .....                        | 30  |
| Gambar 2.6 Pemisahan Format Data melalui Adapter dan Kontrak Data Internal.....                   | 38  |
| Gambar 2.7 Alur Konseptual Pemrosesan Asinkron Berbasis Antrean .....                             | 39  |
| Gambar 2.8 Siklus Konseptual Pengembangan Purwarupa Secara Iteratif. ....                         | 43  |
| Gambar 2.9 Konsep Pengujian Transisi Keadaan.....                                                 | 47  |
| Gambar 3.1 Desain Penelitian.....                                                                 | 60  |
| Gambar 3.2 Arsitektur Sistem Prediksi dan Monitoring WIP .....                                    | 68  |
| Gambar 3.3 Activity Diagram Alur Prediksi dan Rekonsiliasi .....                                  | 71  |
| Gambar 3.4 Sequence Diagram Proses Prediksi Asinkron .....                                        | 72  |
| Gambar 3.5 State Machine Status Prediksi dan Rekonsiliasi.....                                    | 74  |
| Gambar 3.6 ERD Sistem Prediksi dan Monitoring WIP .....                                           | 76  |
| Gambar 3.7 Alur Teknik Pengolahan Data.....                                                       | 84  |
| Gambar 3.8 Alur Perancangan Model <i>Machine learning</i> .....                                   | 94  |
| Gambar 3.9 Struktur dan Alur Pemanfaatan Artefak Model pada Inferensi Sistem .....                | 101 |
| Gambar 3.10 Alur Rancangan Pengujian Fungsional Sistem .....                                      | 108 |
| Gambar 4.1 Status Kesehatan Kontainer Purwarupa pada Lingkungan VPS <i>Staging</i> .....          | 122 |
| Gambar 4.2 Diagram <i>Runtime</i> Implementasi Arsitektur <i>Decoupled Machine Learning</i> ..... | 123 |
| Gambar 4.3 Implementasi Tabel Basis Data pada PostgreSQL.....                                     | 126 |
| Gambar 4.4 Dokumentasi <i>Endpoint</i> API pada FastAPI.....                                      | 131 |
| Gambar 4.5 Implementasi Hasil Adapter <i>Preview</i> pada Laporan CSV .....                       | 135 |
| Gambar 4.6 Implementasi Halaman Utama Sistem Prediksi dan Pemantauan WIP.....                     | 140 |
| Gambar 4.7 Implementasi Masukan Manual dan Unggah Laporan CSV ..                                  | 141 |

|                                                                                                       |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Gambar 4.8 Implementasi Halaman Histori, Detail Prediksi, dan Rekonsiliasi</b><br>.....            | <b>142</b> |
| <b>Gambar 4.9 Contoh Dataset Terstruktur pada Tingkat Tanggal–Profil ....</b>                         | <b>146</b> |
| <b>Gambar 4.10 Struktur Direktori dan Ringkasan Metadata Artefak model_v1</b><br>.....                | <b>155</b> |
| <b>Gambar 4.11 Perbandingan Nilai Aktual dan Prediksi WIP pada Pengujian<br/>Akhir model_v1 .....</b> | <b>158</b> |
| <b>Gambar 4.12 Bukti Pengujian Kontrak Permintaan dan Adapter Data.....</b>                           | <b>161</b> |
| <b>Gambar 4.13 Bukti Lifecycle Prediksi Normal, Anomali, dan Kegagalan<br/>Dispatch.....</b>          | <b>163</b> |
| <b>Gambar 4.14 Bukti Pendukung Transisi Pekerjaan Stale menjadi FAILED</b><br>.....                   | <b>164</b> |
| <b>Gambar 4.15 Bukti Before-After Provenance dan Rekonsiliasi Prediksi....</b>                        | <b>166</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tabel 2.1 Contoh Profil Baja pada Laporan Produksi Studi Kasus .....</b>                                          | <b>12</b>  |
| <b>Tabel 2.2 Posisi Kategori Mutu pada Laporan Produksi Studi Kasus .....</b>                                        | <b>14</b>  |
| <b>Tabel 2.3 Keterkaitan Informasi Proses dengan Prediksi WIP .....</b>                                              | <b>15</b>  |
| <b>Tabel 2.4 Perbandingan Kandidat Model Regresi.....</b>                                                            | <b>23</b>  |
| <b>Tabel 2.5 Interpretasi Metrik Evaluasi Model Regresi .....</b>                                                    | <b>27</b>  |
| <b>Tabel 2.6 Bentuk Data leakage dan Pengendaliannya dalam Penelitian .....</b>                                      | <b>32</b>  |
| <b>Tabel 2.7 Ringkasan Pengolahan Data Historis dalam Penelitian .....</b>                                           | <b>34</b>  |
| <b>Tabel 2.8 Prinsip Pemisahan pada Arsitektur <i>Decoupled Machine Learning</i>.....</b>                            | <b>41</b>  |
| <b>Tabel 2.9 Contoh Konseptual Decision Table Testing.....</b>                                                       | <b>46</b>  |
| <b>Tabel 2.10 Cakupan Konseptual Pengujian Black-box pada Sistem Prediksi Berbasis <i>Machine learning</i> .....</b> | <b>51</b>  |
| <b>Tabel 2.11 Penelitian Terdahulu.....</b>                                                                          | <b>53</b>  |
| <b>Tabel 3.1 Kebutuhan Fungsional Sistem .....</b>                                                                   | <b>65</b>  |
| <b>Tabel 3.2 Pemetaan Tanggung Jawab, Kontrak, dan Batas Dependensi Arsitektur Sistem .....</b>                      | <b>69</b>  |
| <b>Tabel 3.3 Transformasi Data dan State pada Alur Prediksi.....</b>                                                 | <b>72</b>  |
| <b>Tabel 3.4 Endpoint API Sistem.....</b>                                                                            | <b>77</b>  |
| <b>Tabel 3.5 Rancangan Validasi Adapter .....</b>                                                                    | <b>78</b>  |
| <b>Tabel 3.6 Rancangan Halaman Antarmuka Sistem .....</b>                                                            | <b>80</b>  |
| <b>Tabel 3.7 Kelompok Variabel pada Data Historis Produksi .....</b>                                                 | <b>82</b>  |
| <b>Tabel 3.8 Aturan Pembersihan dan Normalisasi Data .....</b>                                                       | <b>85</b>  |
| <b>Tabel 3.9 Pemilihan Fitur dan Pencegahan Target leakage .....</b>                                                 | <b>90</b>  |
| <b>Tabel 3.10 Kontrak dan Validasi Dataset Terstruktur .....</b>                                                     | <b>92</b>  |
| <b>Tabel 3.11 Kandidat Model Regresi .....</b>                                                                       | <b>97</b>  |
| <b>Tabel 3.12 Metrik Evaluasi Model .....</b>                                                                        | <b>98</b>  |
| <b>Tabel 3.13 Rancangan Pengujian Model Prediksi .....</b>                                                           | <b>103</b> |
| <b>Tabel 3.14 Rancangan Pengujian Black-box Utama Sistem .....</b>                                                   | <b>105</b> |
| <b>Tabel 3.15 Rancangan Pengujian Black-box Utama Sistem .....</b>                                                   | <b>108</b> |
| <b>Tabel 3.16 Rancangan Skenario Tugas Responden Praktisi .....</b>                                                  | <b>110</b> |
| <b>Tabel 3.17 Rancangan Aspek Penilaian Responden Praktisi .....</b>                                                 | <b>112</b> |
| <b>Tabel 3.18 Rancangan Pertanyaan Terbuka Responden Praktisi .....</b>                                              | <b>113</b> |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 3.19 Perangkat Keras Penelitian.....                                                  | 114 |
| Tabel 3.20 Perangkat Lunak dan Framework Penelitian .....                                   | 115 |
| Tabel 3.21 Bahan Penelitian.....                                                            | 116 |
| Tabel 3.22 Lingkungan Pengembangan dan Pengujian .....                                      | 118 |
| Tabel 3.23 Jadwal Penelitian.....                                                           | 120 |
| Tabel 4.1 Realisasi Tanggung Jawab dan Kontrak Antar Komponen Sistem<br>.....               | 124 |
| Tabel 4.2 Realisasi Struktur dan Integritas Basis Data.....                                 | 126 |
| Tabel 4.3 Cuplikan Implementasi State Pekerjaan dan Pemisahan Nilai<br>Prediksi–Aktual..... | 128 |
| Tabel 4.4 Realisasi State Machine dan Invariant Data Pekerjaan Prediksi                     | 129 |
| Tabel 4.5 Cuplikan Implementasi Rekonsiliasi tanpa Menimpa Prediksi Awal<br>.....           | 130 |
| Tabel 4.6 Endpoint API yang Diimplementasikan .....                                         | 132 |
| Tabel 4.7 Cuplikan Implementasi Kontrak dan Normalisasi Data Masukan<br>Prediksi .....      | 134 |
| Tabel 4.8 Realisasi Fungsi Adapter Layer .....                                              | 135 |
| Tabel 4.9 Cuplikan Implementasi Persistensi State Awal dan Dispatch<br>task_id .....        | 137 |
| Tabel 4.10 Cuplikan Implementasi Pengambilan State dan Inferensi Model<br>oleh Worker ..... | 138 |
| Tabel 4.11 Halaman Antarmuka <i>Web</i> yang Diimplementasikan .....                        | 139 |
| Tabel 4.12 Keterhubungan Antarmuka <i>Web</i> dengan <i>Endpoint</i> API.....               | 142 |
| Tabel 4.13 Ringkasan Pembentukan Dataset Eksperimen v1 .....                                | 144 |
| Tabel 4.14 Ringkasan Dataset Terstruktur untuk Eksperimen Model .....                       | 146 |
| Tabel 4.15 Hasil Validasi Dataset Terstruktur.....                                          | 148 |
| Tabel 4.16 Skenario Eksperimen Pengembangan Model Prediksi WIP .....                        | 149 |
| Tabel 4.17 Hasil Perbandingan Awal Kandidat Model pada Validasi<br>September 2025 .....     | 150 |
| Tabel 4.18 Hasil <i>Hyperparameter tuning</i> pada Validasi September 2025 ....             | 152 |
| Tabel 4.19 Konfigurasi dan Pelatihan Final model_v1 .....                                   | 153 |
| Tabel 4.20 Ringkasan Artefak Model yang Diserialisasi.....                                  | 156 |
| Tabel 4.21 Hasil Pengujian Akhir Model Prediksi WIP .....                                   | 158 |
| Tabel 4.22 Observasi dengan Kesalahan Absolut Terbesar pada model_v1                        | 159 |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tabel 4.23 Hasil Pengujian Kontrak Data dan Adapter .....</b>                             | <b>160</b> |
| <b>Tabel 4.24 Hasil Pengujian Lifecycle Prediksi Asinkron .....</b>                          | <b>162</b> |
| <b>Tabel 4.25 Hasil Pengujian Provenance Model dan Rekonsiliasi.....</b>                     | <b>165</b> |
| <b>Tabel 4.26 Keterlacakan Rancangan, Implementasi, dan Hasil Pengujian<br/>Sistem .....</b> | <b>167</b> |
| <b>Tabel 4.27 Karakteristik dan Rekapitulasi Penilaian Responden Praktisi .</b>              | <b>168</b> |
| <b>Tabel 4.28 Hasil Penilaian Berdasarkan Aspek Validasi .....</b>                           | <b>168</b> |
| <b>Tabel 4.29 Ringkasan Masukan Responden dan Tindak Lanjut Peneliti ...</b>                 | <b>170</b> |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

|                                                          |            |
|----------------------------------------------------------|------------|
| <b>Lampiran 1. Validasi Responden 1 .....</b>            | <b>185</b> |
| <b>Lampiran 2. Validasi Responden 2 .....</b>            | <b>187</b> |
| <b>Lampiran 3. Validasi Responden 3 .....</b>            | <b>189</b> |
| <b>Lampiran 4. Link Repository Sistem Prediksi .....</b> | <b>190</b> |
| <b>Lampiran 5. Hasil Turnitin .....</b>                  | <b>191</b> |