



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS PENGARUH VARIASI *PRE-TREATMENT*  
TERHADAP KETAHANAN *IMPACT* DAN KEKUATAN  
ADHESI LAPISAN *POWDER COATING* PADA MATERIAL  
ELEMEN AIR *PRE HEATER* PLTU**

SKRIPSI

Oleh :  
**Muhammad Arya Rahman**  
NIM. 2202411016

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI  
REKAYASA MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**ANALISIS PENGARUH VARIASI *PRE-TREATMENT*  
TERHADAP KETAHANAN *IMPACT* DAN KEKUATAN  
ADHESI LAPISAN *POWDER COATING* PADA MATERIAL  
ELEMEN AIR *PRE HEATER* PLTU**

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur,  
Jurusan Teknik Mesin

Oleh :  
**Muhammad Arya Rahman**  
NIM. 2202411016

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI  
REKAYASA MANUFAKTUR  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**2026**



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



*“Skripsi ini saya persembahkan untuk almamater tercinta dan keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan, serta motivasi dalam setiap langkah penyusunan skripsi ini”*



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## HALAMAN PERSETUJUAN

### SKRIPSI

#### ANALISIS PENGARUH VARIASI *PRE-TREATMENT* TERHADAP KETAHANAN *IMPACT* DAN KEKUATAN ADHESI LAPISAN *POWDER* *COATING* PADA MATERIAL ELEMEN AIR *PRE HEATER* PLTU

Oleh:

Muhammad Arya Rahman

NIM. 2202411016

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr., Candra Damis Widiawaty, S.T.P., M.T.  
NIP. 198201052014042001

Pembimbing 2

Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T.  
NIP. 199403192022031006

Ketua Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Radhi Maladzi, S.T., M.T.  
NIP. 199307282024061001



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## HALAMAN PENGESAHAN

### SKRIPSI

#### ANALISIS PENGARUH VARIASI *PRE-TREATMENT* TERHADAP KETAHANAN IMPACT DAN KEKUATAN ADHESI LAPISAN *POWDER COATING* PADA MATERIAL ELEMEN *AIR PRE HEATER* PLTU

Oleh:

Muhammad Arya Rahman

NIM 2202411016

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji  
pada tanggal 8 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur  
Jurusan Teknik Mesin

#### DEWAN PENGUJI

| No. | Nama                                                            | Posisi Penguji | Tanda Tangan | Tanggal       |
|-----|-----------------------------------------------------------------|----------------|--------------|---------------|
| 1.  | Dr., Candra Damis Widiawaty, S.T.P.,<br>NIP. 198201052014042001 | Ketua          |              | 17/7 '26      |
| 2.  | Prof. Dr., Tatun Hayatun Nufus, M.Si<br>NIP. 196604161995122001 | Anggota        |              | 16/7 '26      |
| 3.  | Ifa Saidatuningtyas, S.Si., M.T<br>NIP. 198808272022032005      | Anggota        |              | 16/07<br>2026 |

Depok, 8 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zainuri S.T., M.Si.  
197602252000121002



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Arya Rahman

NIM : 2202411016

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 8 Juli 2026



Muhammad Arya Rahman

NIM. 2202411016



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

# ANALISIS PENGARUH VARIASI *PRE-TREATMENT* TERHADAP KETAHANAN *IMPACT* DAN KEKUATAN ADHESI LAPISAN *POWDER COATING* PADA MATERIAL ELEMEN AIR *PRE HEATER* PLTU

Muhammad Arya Rahman<sup>1)</sup>, Candra Damis Widiawaty<sup>1)</sup>, Muhammad Prasha Risfi Silitonga<sup>1)</sup>

1)Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI, Depok 16425

Email : [muhammad.arya.rahman.tm22@mhsw.pnj.ac.id](mailto:muhammad.arya.rahman.tm22@mhsw.pnj.ac.id)

## ABSTRAK

Material elemen *Air Pre-Heater* pada PLTU membutuhkan lapisan pelindung yang memiliki daya rekat dan ketahanan mekanis yang baik karena bekerja pada lingkungan panas, berdebu, lembap, dan berpotensi korosif. Permasalahan pada *line treatment* PT PLN PUSHARLIS UP2W II menunjukkan adanya cacat *pinhole* pada hasil *enamel coating* setelah material melalui proses *pre-treatment*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses perlakuan awal permukaan perlu dievaluasi secara terukur. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap ketahanan *impact* dan kekuatan adhesi lapisan *powder coating* pada material elemen *Air Pre-Heater*. Variasi spesimen yang digunakan terdiri atas tanpa *pre-treatment* (NP), *sandblasting* (SB), *zinc phosphate* (ZP), dan PTX. PTX digunakan sebagai kode spesimen untuk standar *pre-treatment* sebelum proses *enamel coating*. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental melalui pengujian *surface roughness*, *coating thickness*, ketahanan *impact*, dan *pull-off test*. Data adhesi dianalisis menggunakan *One-Way ANOVA* dan *Tukey HSD*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan SB menghasilkan kekasaran permukaan rata-rata 2,51  $\mu\text{m}$  dan nilai adhesi tertinggi sebesar 2,04 MPa. Spesimen SB dan PTX tidak mengalami retak pada seluruh energi *impact*, yaitu 1,764 J, 3,528 J, dan 5,292 J. Hasil *coating thickness* menunjukkan bahwa ZP memiliki ketebalan rata-rata tertinggi sebesar 97,91  $\mu\text{m}$ , diikuti SB sebesar 96,96  $\mu\text{m}$ , PTX sebesar 93,54  $\mu\text{m}$ , dan NP sebesar 90,34  $\mu\text{m}$ . Hasil *One-Way ANOVA* menunjukkan nilai *P-Value* 0,029, sehingga variasi *pre-treatment* berpengaruh signifikan terhadap kekuatan adhesi. Berdasarkan kombinasi hasil pengujian, *sandblasting* menjadi perlakuan paling potensial karena menghasilkan adhesi tertinggi dan ketahanan *impact* yang baik.

**Kata kunci:** *Air Pre-Heater, pre-treatment, powder coating, impact, adhesi, sandblasting.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## ANALISIS PENGARUH VARIASI *PRE-TREATMENT* TERHADAP KETAHANAN *IMPACT* DAN KEKUATAN ADHESI LAPISAN *POWDER COATING* PADA MATERIAL ELEMEN AIR *PRE HEATER* PLTU

Muhammad Arya Rahman<sup>1)</sup>, Candra Damis Widiawaty<sup>1)</sup>, Muhammad Prasha Risfi Silitonga<sup>1)</sup>

1) Applied Bachelor Program in Manufacturing Engineering Technology, Politeknik Negeri Jakarta, UI Campus, Depok 16425, Indonesia

Email : [muhammad.arya.rahman.tm22@mhs.wpnj.ac.id](mailto:muhammad.arya.rahman.tm22@mhs.wpnj.ac.id)

### ABSTRACT

The *Air Pre-Heater* element material in steam power plants requires a protective coating with good adhesion strength and mechanical resistance because it operates in hot, dusty, humid, and potentially corrosive environments. A problem found in the *line treatment* process at PT PLN PUSHARLIS UP2W II showed *pinhole* defects in the *enamel coating* after the material underwent *pre-treatment*. This condition indicates that the surface preparation process needs to be evaluated quantitatively. This study aims to analyze the effect of *pre-treatment* variations on the *impact* resistance and adhesion strength of *powder coating* applied to *Air Pre-Heater* element material. The specimen variations consisted of no *pre-treatment* (NP), *sandblasting* (SB), *zinc phosphate* (ZP), and PTX. PTX was used as a specimen code representing the standard *pre-treatment* process before *enamel coating*. This research used a quantitative experimental method through *surface roughness*, *coating thickness*, *impact* resistance, and *pull-off* adhesion tests. The adhesion data were analyzed using *One-Way ANOVA* and *Tukey HSD*. The results showed that SB produced an average surface roughness of 2.51  $\mu\text{m}$  and the highest adhesion strength of 2.04 MPa. SB and PTX specimens showed no cracks at all *impact* energy levels, namely 1.764 J, 3.528 J, and 5.292 J. The *coating thickness* results showed that ZP had the highest average thickness of 97.91  $\mu\text{m}$ , followed by SB at 96.96  $\mu\text{m}$ , PTX at 93.54  $\mu\text{m}$ , and NP at 90.34  $\mu\text{m}$ . The *One-Way ANOVA* result showed a *P-Value* of 0.029, indicating that *pre-treatment* variation had a significant effect on adhesion strength. Based on the overall test results, *sandblasting* was identified as the most potential *pre-treatment* because it produced the highest adhesion strength and good *impact* resistance.

**Keywords:** *Air Pre-Heater*, *pre-treatment*, *powder coating*, *impact*, adhesion, *sandblasting*.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, karunia, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Skripsi yang berjudul “**Analisis Pengaruh Variasi *Pre-treatment* terhadap Ketahanan *Impact* dan Kekuatan Adhesi Lapisan *Powder Coating* pada Material Elemen *Air Pre-Heater PLTU***” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak. Bantuan tersebut sangat berperan dalam kelancaran proses penelitian, pengambilan data, pengolahan hasil pengujian, hingga penyusunan laporan skripsi. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Bapak Dr., Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bantuan dalam mengarahkan dalam pelaksanaan skripsi ini.
- 2) Bapak Radhi Maladzi, M.T., selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bantuan dalam mengarahkan dalam pelaksanaan skripsi ini.
- 3) Ibu Dr., Candra Damis Widiawaty, S.T.P., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta evaluasi selama proses penyusunan skripsi ini.
- 4) Bapak Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
- 5) Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta pengalaman selama masa perkuliahan.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- 6) Bapak Yanurazaqa Ghiffari, selaku Asisten Manajer PT PLN (Persero) PUSHARLIS UP2W II Jakarta, Bapak Arif Abdur, selaku Pembimbing Industri, serta seluruh karyawan PT PLN (Persero) PUSHARLIS UP2W II Jakarta yang telah memberikan arahan, bimbingan teknis, bantuan, dan dukungan selama proses pelaksanaan penelitian.
- 7) Keluarga penulis yang selalu memberikan doa, dukungan moral, motivasi, dan semangat selama proses penyusunan skripsi ini.
- 8) Teman-teman dan seluruh pihak yang telah membantu, memberikan dukungan, serta menjadi tempat berdiskusi selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, baik dari segi penyajian, penulisan, maupun pembahasan. Oleh karena itu, penulis menerima kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, institusi pendidikan, serta pihak industri yang berkaitan dengan proses pelapisan dan pengendalian kualitas lapisan *powder coating*.

Bogor, 10 Juni 2026

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

Muhammad Arya Rahman



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## DAFTAR ISI

|                                                    |      |
|----------------------------------------------------|------|
| HALAMAN PERSETUJUAN .....                          | ii   |
| HALAMAN PENGESAHAN .....                           | iii  |
| LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....                | iv   |
| ABSTRAK.....                                       | v    |
| ABSTRACT.....                                      | vi   |
| KATA PENGANTAR .....                               | vii  |
| DAFTAR ISI.....                                    | ix   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                | xii  |
| DAFTAR TABEL .....                                 | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN.....                             | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                           | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                          | 3    |
| 1.3 Pertanyaan Penelitian .....                    | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                         | 4    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                        | 4    |
| 1.5.1 Manfaat bagi Mahasiswa.....                  | 4    |
| 1.5.2 Manfaat bagi Industri.....                   | 5    |
| 1.5.3 Manfaat bagi Politeknik Negeri Jakarta ..... | 5    |
| 1.6 Sistematika Penulisan.....                     | 5    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                       | 7    |
| 2.1 Landasan Teori .....                           | 7    |
| 2.1.1 <i>Air Pre-Heater</i> .....                  | 7    |
| 2.1.2 Material Substrat.....                       | 9    |
| 2.1.3 Pelapisan Permukaan .....                    | 10   |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 2.1.4 <i>Powder Coating</i> .....              | 13 |
| 2.1.5 <i>Pre-Treatment</i> .....               | 14 |
| 2.1.6 <i>Surface Roughness</i> .....           | 18 |
| 2.1.7 <i>Coating Thickness</i> .....           | 18 |
| 2.1.8 Ketahanan <i>Impact</i> .....            | 19 |
| 2.1.9 Kekuatan Adhesi.....                     | 20 |
| 2.1.10 Analisis Statistik .....                | 21 |
| 2.2 Kajian Literatur .....                     | 26 |
| 2.3 Kerangka Berpikir .....                    | 29 |
| 2.4 Pengembangan Hipotesis .....               | 31 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....            | 32 |
| 3.1 Jenis Penelitian.....                      | 32 |
| 3.2 Objek Penelitian .....                     | 32 |
| 3.3 Variabel Penelitian.....                   | 34 |
| 3.4 Metode Pengambilan Sampel.....             | 35 |
| 3.5 Jenis dan Sumber Data Penelitian .....     | 37 |
| 3.6 Metode Pengumpulan Data Penelitian .....   | 38 |
| 3.6.1 Persiapan Alat dan Bahan .....           | 39 |
| 3.6.2 Persiapan Material Uji .....             | 41 |
| 3.6.3 Proses <i>Pre-Treatment</i> .....        | 43 |
| 3.6.4 Proses <i>Powder Coating</i> .....       | 46 |
| 3.6.5 Pengujian <i>Surface Roughness</i> ..... | 50 |
| 3.6.6 Pengujian <i>Coating Thickness</i> ..... | 51 |
| 3.6.7 Pengujian Ketahanan <i>Impact</i> .....  | 53 |
| 3.6.8 Pengujian Kekuatan Adhesi.....           | 57 |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7 Metode Analisis Data .....                                                 | 60 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                                              | 64 |
| 4.1 Hasil Proses Pre-Treatment .....                                           | 64 |
| 4.2 Hasil Pengukuran Surface Roughness .....                                   | 65 |
| 4.3 Hasil Pengukuran Coating Thickness .....                                   | 68 |
| 4.4 Hasil Uji Ketahanan Impact .....                                           | 70 |
| 4.5 Hasil Pengujian Pull-Off Test .....                                        | 73 |
| 4.6 Statistik Deskriptif, Uji Kecukupan Data, dan Uji Asumsi Data Adhesi ..... | 75 |
| 4.7 Uji One-Way ANOVA dan Post-Hoc Tukey HSD .....                             | 78 |
| BAB V PENUTUP .....                                                            | 81 |
| 5.1 Kesimpulan .....                                                           | 81 |
| 5.2 Saran .....                                                                | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                           | 84 |
| LAMPIRAN .....                                                                 | 88 |

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Sistem <i>Air Pre-Heater</i> pada PLTU.....                                                                                            | 7  |
| Gambar 2. 2 Batas temperatur minimum logam pada <i>cold end Air Pre-Heater</i> .....                                                               | 9  |
| Gambar 2. 3 Penampang <i>enamel coating</i> pada baja karbon .....                                                                                 | 11 |
| Gambar 2. 4 Cacat <i>pinhole gassing</i> pada lapisan <i>coating</i> .....                                                                         | 12 |
| Gambar 2. 5 Tahapan proses <i>thermosetting powder coating</i> .....                                                                               | 13 |
| Gambar 2. 6 Skema jarak <i>nozzle</i> pada proses <i>sandblasting</i> .....                                                                        | 15 |
| Gambar 2. 7 Pengaruh sudut dan jarak <i>sandblasting</i> .....                                                                                     | 16 |
| Gambar 2. 8 <i>Morfologi</i> lapisan konversi <i>zinc phosphate</i> .....                                                                          | 17 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....                                                                                                           |    |
| ..... <b>Error! Bookmark not defined.</b>                                                                                                          |    |
| Gambar 4. 1 Contoh visual spesimen setelah proses pre-treatment: (a) sandblasting, (b) tanpa pre-treatment, (c) zinc phosphate, dan (d) (PTX)..... | 65 |
| Gambar 4. 2 hasil pengujian surface roughness pada spesimen sandblasting. ....                                                                     | 67 |
| Gambar 4. 3 Grafik nilai surface roughness spesimen sandblasting.....                                                                              | 67 |
| Gambar 4. 4 Grafik rata-rata coating thickness .....                                                                                               | 69 |
| Gambar 4. 5 Hasil pengujian coating thickness menggunakan coating thickness gauge. ....                                                            | 70 |
| Gambar 4. 6 hasil uji impact: (a) spesimen tidak retak dan (b) spesimen retak. ..                                                                  | 72 |
| Gambar 4. 7 Grafik Jumlah Sampel Retak .....                                                                                                       | 72 |
| Gambar 4. 8 Dokumentasi hasil pengujian pull-off test: (a) SB, (b) NP, (c) ZP, dan (d) PTX. ....                                                   | 74 |
| Gambar 4. 9 Rata-Rata Adhesi (MPa) .....                                                                                                           | 74 |
| Gambar 4. 10 Probability plot data adhesi .....                                                                                                    | 77 |
| Gambar 4. 11 Test for equal variances data adhesi. ....                                                                                            | 78 |
| Gambar 4. 12 Tukey simultaneous 95% confidence intervals. ....                                                                                     | 80 |

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR TABEL**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....                             | 26 |
| Tabel 3. 1 Spesifikasi Objek Penelitian .....                    | 33 |
| Tabel 3. 2 Variabel Penelitian .....                             | 34 |
| Tabel 3. 3 Pembagian Sampel Penelitian.....                      | 36 |
| Tabel 3. 4 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....                 | 38 |
| Tabel 3. 5 Alat Penelitian .....                                 | 40 |
| Tabel 3. 6 Bahan Penelitian .....                                | 41 |
| Tabel 3. 7 Tahapan Persiapan Material Uji.....                   | 42 |
| Tabel 3. 8 Tahapan Proses Pre-Treatment.....                     | 43 |
| Tabel 3. 9 Tahapan Proses Powder Coating.....                    | 47 |
| Tabel 3. 10 Tahapan Pengujian Surface Roughness.....             | 50 |
| Tabel 3. 11 Tahapan Pengujian Coating Thickness.....             | 52 |
| Tabel 3. 12 Komponen Alat Uji Ketahanan Impact.....              | 53 |
| Tabel 3. 13 Parameter Pengujian Impact .....                     | 55 |
| Tabel 3. 14 Energi Impact .....                                  | 55 |
| Tabel 3. 15 Tahapan Pengujian Ketahanan Impact.....              | 56 |
| Tabel 3. 16 Tahapan Pengujian Kekuatan Adhesi.....               | 58 |
| Tabel 3. 17 Metode Analisis Data .....                           | 63 |
| Tabel 4. 1 Hasil Proses Pre-Treatment.....                       | 64 |
| Tabel 4. 2 Data Surface Roughness Spesimen Sandblasting .....    | 66 |
| Tabel 4. 3 Hasil Data Coating Thickness .....                    | 68 |
| Tabel 4. 4 Hasil Uji Impact .....                                | 71 |
| Tabel 4. 5 Data Hasil Pull-Off Test.....                         | 73 |
| Tabel 4. 6 Statistik Deskriptif dan Normalitas Data Adhesi ..... | 75 |
| Tabel 4. 7 Hasil Uji One-Way ANOVA .....                         | 78 |
| Tabel 4. 8 Hasil Post-Hoc Tukey HSD .....                        | 79 |

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

*Air Pre-Heater* merupakan komponen penting pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Komponen ini memanfaatkan panas gas buang untuk memanaskan udara pembakaran sebelum masuk ke ruang bakar [1]. Proses tersebut membantu meningkatkan pemanfaatan energi panas dan mendukung efisiensi operasi pembangkit. Pada tipe *rotary regenerative air preheater*, elemen pemanas berputar melewati aliran gas buang dan udara pembakaran secara bergantian [2]. Kondisi kerja tersebut membuat elemen *Air Pre-Heater* menerima paparan temperatur, partikel gas buang, deposit, kelembapan, dan potensi korosi.

Material elemen *Air Pre-Heater* bagian *cold end* memiliki risiko kerusakan yang lebih tinggi karena bekerja pada temperatur lebih rendah dibandingkan bagian *hot end*. Kondisi tersebut meningkatkan peluang terbentuknya kelembapan, kondensasi, deposit, dan korosi temperatur rendah. Gas buang yang mengandung uap air dan senyawa asam dapat mempercepat kerusakan material pada area *cold end* [3]. Lapisan pelindung diperlukan untuk membatasi kontak langsung antara material dan lingkungan korosif. *Enamel coating* atau *glassy coating* dapat melindungi baja pada lingkungan kerja bertemperatur tinggi dan korosif [4].

Proses *trial error pre-treatment* pada *treatment line enamel coating production* PT PLN PUSHARLIS UP2W II masih menghasilkan cacat pada lapisan. Material elemen *Air Pre-Heater* telah melalui proses *degreasing*, *water rinsing*, dan pembilasan air RO sebelum pelapisan. Hasil pelapisan *enamel coating* masih menunjukkan cacat *pinhole*. Pemeriksaan awal masih menggunakan pengamatan visual, sehingga penyebab cacat belum dapat dijelaskan secara terukur. Cacat permukaan *coating* dapat dipengaruhi oleh kontaminasi, kondisi *substrate*, parameter aplikasi, dan kegagalan pembasahan lapisan terhadap permukaan material [5]. Kelembapan dan air yang tertinggal



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada sistem lapisan dapat menurunkan *adhesi* serta mempercepat kegagalan lapisan *polimer* [6].

Pengaruh *pre-treatment* perlu dianalisis melalui eksperimen yang sistematis agar hubungan antara kondisi permukaan dan kualitas lapisan dapat dijelaskan secara terukur. *Powder coating* digunakan sebagai pendekatan uji karena proses aplikasinya lebih sederhana dan lebih mudah dikondisikan secara konsisten pada skala laboratorium dibandingkan proses *enamel coating*. Pendekatan tersebut tidak menggantikan fungsi *enamel coating* pada aplikasi aktual elemen *Air Pre-Heater*, tetapi digunakan untuk membaca pengaruh variasi perlakuan permukaan terhadap kualitas lapisan. Kualitas *powder coating* dipengaruhi oleh sifat material *coating*, kondisi *substrate*, metode aplikasi, proses *curing*, dan metode karakterisasi lapisan [7]. Kajian proses termal pada bidang manufaktur menunjukkan bahwa distribusi temperatur berperan penting terhadap kestabilan proses pemanasan [8].

Variasi spesimen yang dikaji terdiri atas tanpa *pre-treatment* (NP), *sandblasting* (SB), *zinc phosphate* (ZP), dan PTX. Dalam penelitian ini, PTX digunakan sebagai kode spesimen yang menunjukkan standar *pre-treatment* PT PLN PUSHARLIS UP2W II sebelum proses *enamel coating* pada material pelat elemen *Air Pre-Heater*. Perlakuan awal sebelum pelapisan dapat memengaruhi daya rekat dan ketahanan lapisan [9]. Metode *surface preparation* yang berbeda juga dapat menghasilkan nilai adhesi dan ketahanan *impact* yang berbeda [10]. *Sandblasting* membentuk kekasaran mikro atau *anchor profile* yang dapat meningkatkan ikatan mekanis antara *coating* dan *substrate* [11]. *Zinc phosphate* membentuk lapisan konversi fosfat pada permukaan logam dan dapat memengaruhi ketahanan *coating* terhadap lingkungan korosif [12]. Sementara itu, spesimen PTX digunakan sebagai pembanding karena melalui tahapan *degreasing*, *rinsing*, pembilasan air RO, dan *drying* sebagai standar perlakuan awal aktual sebelum *enamel coating*. Kontaminasi pada permukaan baja dapat memengaruhi kemampuan basah lapisan terhadap substrat.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*coating thickness* dan *surface roughness* digunakan sebagai data pendukung untuk menjelaskan hubungan antara kondisi permukaan, ketebalan lapisan, dan kualitas ikatan *coating* terhadap *substrate*. Data adhesi dianalisis menggunakan *One-Way ANOVA* untuk mengetahui pengaruh variasi perlakuan terhadap kekuatan adhesi. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar evaluasi proses *pre-treatment* sebelum pelapisan *enamel coating* pada material elemen *Air Pre-Heater* di PT PLN PUSHARLIS UP2W II.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap kualitas lapisan *powder coating* pada material SPP sebagai material elemen *Air Pre-Heater*. Permasalahan ini dilatarbelakangi oleh munculnya cacat *pinhole* pada proses *trial and error pre-treatment* di *treatment line* PT PLN PUSHARLIS UP2W II setelah spesimen melalui tahapan *degreasing*, *water rinsing*, dan pembilasan air RO. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan rasio campuran *degreaser* dan air yang belum optimal, sehingga proses pembersihan permukaan belum mampu menghilangkan kontaminan atau residu secara menyeluruh pada substrat. Oleh karena itu, spesimen tanpa *pre-treatment* (NP), *sandblasting* (SB), *zinc phosphate* (ZP), dan PTX perlu dianalisis melalui pengujian *impact*, *pull-off test*, *coating thickness*, dan *surface roughness* untuk menentukan perlakuan awal yang menghasilkan kualitas lapisan paling baik pada material elemen *Air Pre-Heater*.

## 1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap kekuatan adhesi lapisan *powder coating* pada material elemen *Air Pre-Heater*?
2. Bagaimana pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap ketahanan *impact* lapisan *powder coating* pada material elemen *Air Pre-Heater*?



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Variasi *pre-treatment* manakah yang menghasilkan kualitas lapisan *powder coating* terbaik pada material elemen *Air Pre-Heater* berdasarkan kekuatan adhesi dan ketahanan *impact*?

### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap kekuatan adhesi lapisan *powder coating* pada material elemen *Air Pre-Heater*.
2. Menganalisis pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap ketahanan *impact* lapisan *powder coating* pada material elemen *Air Pre-Heater*.
3. Menentukan variasi *pre-treatment* yang menghasilkan kualitas lapisan *powder coating* terbaik pada material elemen *Air Pre-Heater* berdasarkan kekuatan adhesi dan ketahanan *impact*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian Penelitian mengenai pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap kekuatan adhesi dan ketahanan *impact* lapisan *powder coating* pada material elemen *Air Pre-Heater* ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata serta nilai tambah bagi berbagai pihak. Adapun rincian manfaat yang diharapkan adalah sebagai berikut.

#### 1.5.1 Manfaat bagi Mahasiswa

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa dalam mengimplementasikan teori mengenai proses pelapisan, perlakuan permukaan, pengujian adhesi, dan pengujian *impact* ke dalam kajian aplikatif berbasis permasalahan nyata di industri. Selain itu, penelitian ini dapat meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam merancang eksperimen, mengolah data pengujian, mengidentifikasi penyebab munculnya *defect* pada hasil *coating*, serta menyusun rekomendasi teknis berdasarkan analisis keteknikan.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

### 1.5.2 Manfaat bagi Industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi bagi PT PLN PUSHARLIS UP2W II terhadap penerapan *pre-treatment* pada proses pelapisan material elemen *Air Pre-Heater*. Penelitian ini juga dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap kualitas hasil *powder coating*, terutama dari aspek kekuatan adhesi dan ketahanan *impact*. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai masukan teknis dalam menentukan perlakuan permukaan yang lebih tepat untuk mengurangi potensi *defect* dan meningkatkan kualitas lapisan.

### 1.5.3 Manfaat bagi Politeknik Negeri Jakarta

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pustaka dan referensi ilmiah di bidang proses pelapisan, *surface treatment*, *powder coating*, pengujian material, dan optimasi proses manufaktur. Penelitian ini juga dapat memperkuat keterkaitan antara pembelajaran akademik di Politeknik Negeri Jakarta dengan kebutuhan penyelesaian masalah nyata di industri, khususnya pada bidang Teknologi Rekayasa Manufaktur dan rekayasa permukaan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun ke dalam 5 bab dengan sistematika sebagai berikut.

### BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai latar belakang, pertanyaan penelitian, rumusan masalah penelitian, batasan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori yang mendasari penelitian dan kajian literatur yang berkaitan dengan topik penelitian. Pembahasan mencakup *Air Pre-Heater*, bagian *cold end*, material SPP, pelapisan permukaan, *powder coating*, *pre-*



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*treatment, sandblasting*, perlakuan kimia, pengujian lapisan, serta analisis statistik yang digunakan dalam penelitian.

### **BAB III METODOLOGI Pengerjaan Skripsi**

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi jenis penelitian, objek penelitian, variabel penelitian, alat dan bahan, jumlah serta kode spesimen, prosedur *pre-treatment*, prosedur *powder coating*, prosedur pengujian, dan metode analisis data. Bab ini juga menjelaskan penggunaan uji *impact*, *pull-off test*, pengukuran *coating thickness*, pengukuran *surface roughness*, serta analisis statistik menggunakan *One-Way ANOVA* dan *Tukey HSD*.

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini memaparkan hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan data yang diperoleh. Pembahasan meliputi hasil *pre-treatment*, hasil pengukuran *surface roughness*, hasil pengukuran *coating thickness*, hasil uji *impact*, hasil uji kekuatan adhesi, analisis statistik, serta penentuan perlakuan *pre-treatment* terbaik. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel, gambar, dan grafik agar data lebih mudah dipahami.

### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan. Kesimpulan menjawab rumusan masalah penelitian, sedangkan saran diberikan sebagai masukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan evaluasi proses *pre-treatment* sebelum pelapisan.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi *pre-treatment* terhadap ketahanan *impact* dan kekuatan adhesi lapisan *powder coating* pada material elemen *Air Pre-Heater* PLTU, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Variasi *pre-treatment* terbukti memberikan pengaruh terhadap kekuatan adhesi lapisan *powder coating*. Berdasarkan hasil pengujian *pull-off test*, perlakuan *sandblasting* (SB) menghasilkan nilai rata-rata adhesi paling tinggi, yaitu 2,04 MPa atau 296,36 Psi. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan standar *pre-treatment* PTX sebesar 1,63 MPa, *zinc phosphate* (ZP) sebesar 1,35 MPa, dan tanpa *pre-treatment* (NP) sebesar 1,31 MPa. Hasil analisis *One-Way ANOVA* juga menunjukkan nilai P-Value 0,029, sehingga perbedaan variasi *pre-treatment* dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan adhesi lapisan.
2. Variasi *pre-treatment* juga menunjukkan perbedaan terhadap ketahanan *impact* lapisan *powder coating*. Berdasarkan hasil pengamatan visual setelah pengujian beban kejut, perlakuan SB dan standar *pre-treatment* PTX menunjukkan hasil paling baik karena seluruh spesimen tidak mengalami retak pada ketinggian 20 cm, 40 cm, dan 60 cm, dengan energi *impact* masing-masing sebesar 1,764 J, 3,528 J, dan 5,292 J. Sementara itu, perlakuan NP mulai mengalami retak pada beberapa spesimen pada ketinggian 40 cm, sedangkan ZP menunjukkan ketahanan yang paling rendah karena terdapat spesimen yang retak sejak ketinggian 20 cm dan seluruh spesimen mengalami retak pada ketinggian 60 cm.
3. Berdasarkan kombinasi hasil pengujian adhesi, ketahanan *impact*, dan ketebalan lapisan, perlakuan *sandblasting* (SB) merupakan variasi *pre-treatment* terbaik dalam penelitian ini. Perlakuan SB menghasilkan adhesi tertinggi, tidak mengalami retak pada seluruh variasi energi *impact*, serta memiliki nilai rata-rata *coating thickness* yang relatif tinggi, yaitu 96,96



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$\mu\text{m}$ . Meskipun ZP memiliki rata-rata ketebalan lapisan paling tinggi sebesar 97,91  $\mu\text{m}$ , hasil adhesi dan ketahanan *impact* yang diperoleh belum menunjukkan performa terbaik. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas lapisan tidak hanya ditentukan oleh ketebalan, tetapi juga oleh kondisi permukaan dan kekuatan ikatan antara lapisan *powder coating* dengan substrat.

### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Perlakuan *sandblasting* dapat dipertimbangkan sebagai metode *pre-treatment* yang paling potensial sebelum proses pelapisan pada material pelat elemen *Air Pre-Heater*. Hal ini karena perlakuan *sandblasting* menghasilkan nilai adhesi tertinggi dan menunjukkan ketahanan *impact* yang baik pada seluruh variasi energi tumbukan. Namun, penerapan proses ini tetap perlu dikendalikan, terutama pada tekanan udara, jenis abrasif, jarak *nozzle*, sudut penembakan, dan waktu proses, agar kekasaran permukaan yang terbentuk tetap sesuai dan tidak menyebabkan permukaan menjadi terlalu kasar.
2. Standar *pre-treatment* PTX perlu dievaluasi lebih lanjut karena perlakuan ini merupakan proses awal yang digunakan sebelum *enamel coating* pada material pelat elemen *Air Pre-Heater*. Tahapan *degreasing*, *rinsing*, pembilasan menggunakan air RO, dan *drying* perlu dikontrol agar tidak meninggalkan residu pada permukaan material. Pengendalian tersebut penting karena sisa kontaminan, proses pembilasan yang kurang optimal, atau pengeringan yang tidak sempurna dapat memengaruhi kualitas ikatan lapisan terhadap substrat.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan *powder enamel* sebagai bahan pelapis aktual yang digunakan pada aplikasi material pelat elemen *Air Pre-Heater*. Penggunaan *powder enamel* diperlukan agar hasil penelitian lebih mendekati kondisi proses dan aplikasi sebenarnya di



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

industri. Selain itu, pengujian pendukung seperti *surface roughness* pada seluruh variasi *pre-treatment*, pengamatan morfologi permukaan menggunakan SEM atau mikroskop optik, serta pengujian korosi dan temperatur perlu dilakukan agar performa lapisan dapat dinilai secara lebih menyeluruh sesuai kondisi kerja aktual elemen *Air Pre-Heater*.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] H. Chen, Z. Qi, L. Dai, B. Li, G. Xu, and Y. Yang, "Performance evaluation of a new conceptual combustion air preheating system in a 1000 MW coal-fueled power plant," *Energy*, vol. 193, p. 116739, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2019.116739.
- [2] H. Hajebzadeh, "Modification of rotary air preheater toward achieving extended life-span utilizing porous media approach : A case study," 2021, doi: 10.1177/09576509211034977.
- [3] W. Zhiliang, "Analysis of Low-Temperature Corrosion Mechanism and Optimization of Corrosion Resistance of Air Preheater for Boiler 2 at PLTU IPP Sumsel5," vol. 5, no. 12, pp. 1364–1373, 2025.
- [4] E. Medvedovski and G. L. Mendoza, "Enamel ( glassy ) coatings for steel protection against high temperature corrosion corrosion," *Adv. Appl. Ceram.*, pp. 1–25, 2023, doi: 10.1080/17436753.2023.2231699.
- [5] C. K. Schoff, "Surface Defects : Diagnosis and Cure," 1996.
- [6] K. Sabet-bokati and K. Plucknett, "Water-induced failure in polymer coatings : Mechanisms , impacts and mitigation strategies — A comprehensive review," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 230, no. November, p. 111058, 2024, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2024.111058.
- [7] Y. Yuan *et al.*, "Progress in Organic Coatings Improving the quality of thermosetting powder coatings : A review of the characterization methods , material properties , process techniques , and modeling approaches," *Prog. Org. Coatings*, vol. 200, no. December 2024, p. 108961, 2025, doi: 10.1016/j.porgcoat.2024.108961.
- [8] V. Yudha, M. Prasha, and R. Silitonga, "Analysis of Temperature Spread Distribution on Mold of Manual Injection Molding Machine Double-Stages 5 TF Capacity," vol. 23, no. 3, pp. 134–141, 2024.
- [9] C. Process, "Pengaruh perlakuan awal terhadap daya rekat dan kekuatan lapisan pada proses pengecatan serbuk," vol. 2, pp. 25–32, 2020.
- [10] Z. Sativa, P. Manik, and O. Mursid, "PREPARATION DENGAN VARIASI



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

JENIS CAT TERHADAP KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN IMPACT COATING PADA BAJA SS400,” vol. 15, no. 2, pp. 1129–1141, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i2.1711.

- [11] A. Rudawska, I. I. Danczak, and P. Henc, “Author ’ s Accepted Manuscript adhesion,” *Int. J. Adhes. Adhes.*, 2016, doi: 10.1016/j.ijadhadh.2016.06.010.
- [12] M. Golabadi, M. Aliofkhazraei, M. Toorani, and A. S. Rouhaghdam, “Journal of Industrial and Engineering Chemistry Corrosion and cathodic disbondment resistance of epoxy coating on zinc phosphate conversion coating containing Ni 2 + and Co 2 +,” *J. Ind. Eng. Chem.*, 2016, doi: 10.1016/j.jiec.2016.11.027.
- [13] Q. Li and S. Urth, “Progress in Organic Coatings Wettability of contaminated steel panels by water- and solvent-borne epoxy coatings : Interactions among surface tension and surface free energy components,” vol. 208, no. April, 2025, doi: 10.1016/j.porgcoat.2025.109467.
- [14] “BSI Standards Publication Cold rolled low carbon steel flat products for vitreous enamelling — Technical delivery conditions,” 2013.
- [15] U. Budiarto, P. Manik, and G. A. Kusuma, “ANALISIS PENERAPAN COATING PADA BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI CAT TERHADAP LAJU KOROSI , KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN IMPACT COATING,” vol. 15, no. 3, pp. 1253–1269, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i3.1500.
- [16] L. Prendi, M. Mills, J. Bastien, and P. Henshaw, “Progress in Organic Coatings Thermosetting powder coatings : Finish appearance and durability at cure window corner points,” *Prog. Org. Coatings*, vol. 78, pp. 411–418, 2015, doi: 10.1016/j.porgcoat.2014.01.025.
- [17] C. Liu, J. Ye, L. Liao, and X. Dong, “Study on Combination Mechanism of Pretreatment Layer in Pre-Coated Metal Sheets,” pp. 1–12, 2025.
- [18] I. A. Saputra, T. D. Widodo, and L. Yuliati, “SANDBLASTING PADA PROSES PRETREATMENT TERHADAP KUALITAS PELAPISAN CAT DAN SIFAT KOROSI PADA BAJA,” vol. 15, no. 1, pp. 93–102, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i3.1382.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [19] P. P. Hasugian, X. Salahudin, and N. Mulyaningsih, "Analysis of Adhesion Strength and Surface Hardness of 6061 Aluminum Alloy Resulting from Powder Coating with Variations in Sandblasting Process Time," vol. 14, no. 02, pp. 109–116, 2025.
- [20] I. R. A. Jurnal, T. Mesin, R. C. Hermawan, N. Mulyaningsih, M. F. Kussuma, and H. Sufyan, "Pengaruh Pelapisan Zinc Phosphate pada Baja Karbon ST42 terhadap Laju Korosi dan Ketahanan Aus The Effect of Zinc Phosphate Coating on ST42 Carbon Steel on Corrosion Rate and Wear Resistance," vol. 4, no. 3, pp. 193–200, 2025.
- [21] I. C. Hernando *et al.*, "Pengaruh Perbedaan Suhu Curing dan pH Cairan Pembersih Terhadap Ceramic Coating," vol. 21, no. 1, pp. 29–36, 2024.
- [22] "INTERNATIONAL STANDARD iTeh STANDARD iTeh STANDARD PREVIEW," vol. 2021, 2022.
- [23] C. Coatings, R. C. Products, and C. T. Requirements, "Standard Practice for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to Ferrous Metals and Nonmagnetic , Nonconductive Coatings Applied to Non-", doi: 10.1520/D7091-22.minimum.
- [24] S. T. Method, "Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effects of Rapid Deformation ( Impact ) 1," vol. i, no. Reapproved, pp. 1–3, 2019, doi: 10.1520/D2794-93R19.2.
- [25] M. Riva, B. Prakasa, N. Mulyaningsih, A. Noor, and S. Hadi, "A r m a t u r ;," vol. 6, no. September, pp. 142–149, 2025.
- [26] P. Mayer *et al.*, "Pull-off strength of fibre-reinforced composite polymer coatings on steel substrate," *J. Adhes.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1080/00218464.2020.1831478.
- [27] N. O. T. Restricted, "Npl report," no. December, 2004.
- [28] A. M. An and A. Test, "Uncertainty analysis of voltage measurement using atmega328p microcontroller: an anova test approach," vol. 17, no. 2, pp. 173–184, 2025, doi: 10.14710/medstat.17.2.173-184.
- [29] V. Gurvich and M. Naumova, "SS symmetry Logical Contradictions in the One-Way ANOVA and Tukey – Kramer Multiple Comparisons Tests with

More Than Two Groups of Observations,” 2021.



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

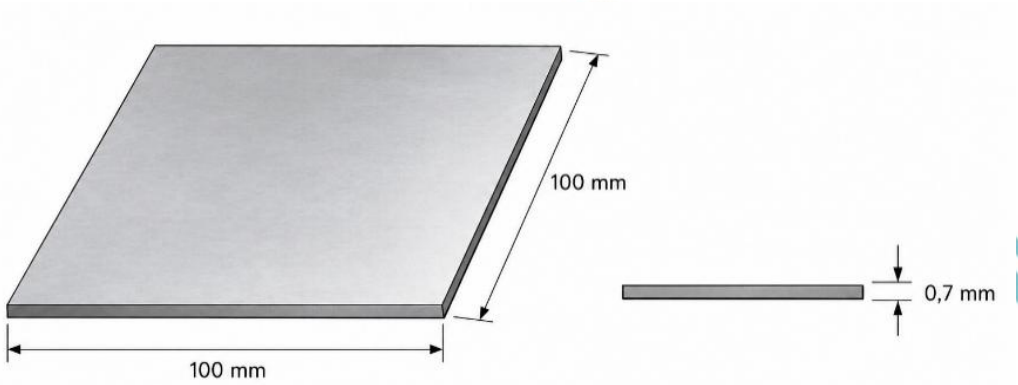


**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## LAMPIRAN

Lampiran 1 Dimensi Spesimen Pengujian



## Lampiran 2 Dokumentasi Hasil Pengujian Surface Roughness

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



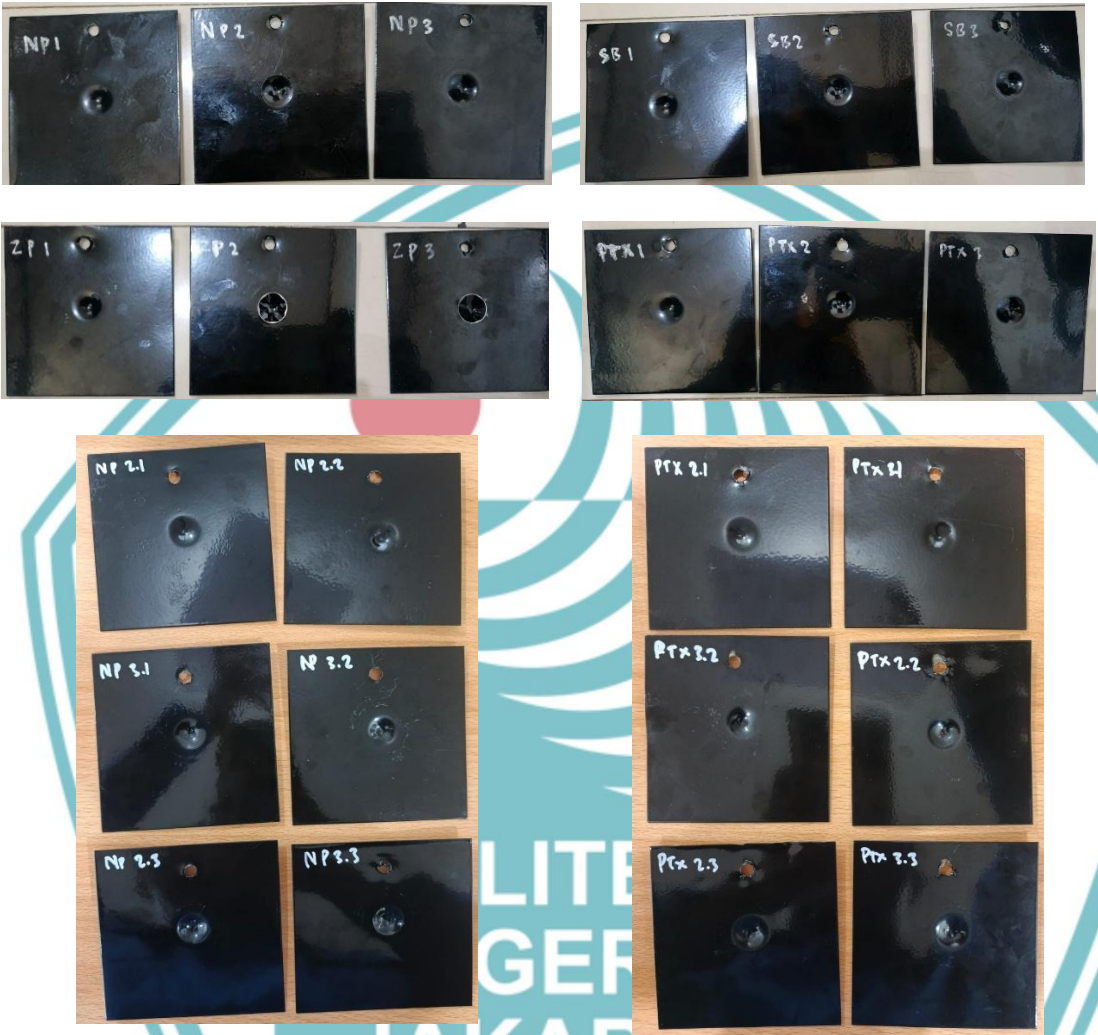
### Lampiran 3 Dokumentasi Hasil Pengujian Coating Thickness

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



#### Lampiran 4 Dokumentasi Hasil Pengujian Impact



#### Hak Cipta :

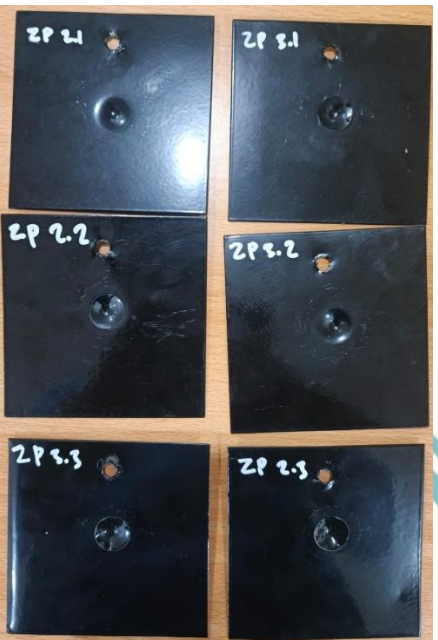
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA