



**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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Perancangan

Perancangan (*design*) merupakan suatu proses sistematis untuk merumuskan solusi teknis terhadap suatu permasalahan dengan mempertimbangkan aspek fungsi, kinerja, keandalan, keselamatan, serta efisiensi, sebagaimana didefinisikan dalam literatur metodologi perancangan teknik. Dalam konteks teknik, perancangan melibatkan analisis kebutuhan, pemilihan konsep, perhitungan teknis, hingga evaluasi hasil rancangan. Berikut adalah beberapa aspek penting mengenai perancangan:[3]

##### 2.1.1 Tujuan Perancangan

1. Menjaga Temperatur Motor: Sistem pendinginan dirancang untuk menjaga temperatur *stator*, *rotor*, dan *bearing* motor agar tetap berada di bawah batas maksimum yang diizinkan oleh standar dan pabrikan motor. Hal ini mengacu pada IEC 60034-1 dan IEC 60034-6 yang mengatur batas kenaikan temperatur dan metode pendinginan motor listrik.
2. Mencegah kerusakan pada isolasi *coil* motor: Temperatur yang berlebih dan kontaminan yang masuk ke dalam komponen *internal* motor dapat mempercepat degradasi isolasi lilitan *stator*. Dengan perancangan sistem pendinginan yang baik, laju penuaan dan permasalahan yang mungkin terjadi pada isolasi dapat ditekan sehingga risiko terjadinya hubung singkat antar lilitan (*turn to turn fault*) maupun kegagalan isolasi ke *ground* dapat diminimalkan[4]
3. Menyesuaikan dengan kondisi lingkungan *Finish Mill* : Modifikasi memungkinkan sistem untuk disesuaikan dengan kebutuhan spesifik



**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

pengguna atau kondisi lingkungan yang berubah. Ini bisa mencakup penyesuaian ukuran, bentuk, metode pendinginan atau material.

4. Meningkatkan keandalan dan umur pakai motor: Motor *main drive pre-grinder finish mill* merupakan peralatan kritis dengan daya besar dan biaya investasi tinggi. Sistem pendinginan yang optimal bertujuan untuk meningkatkan keandalan (*reliability*) motor serta memperpanjang umur pakainya dengan mengurangi stres termal selama operasi kontinu.

### 2.1.2 Proses Modifikasi

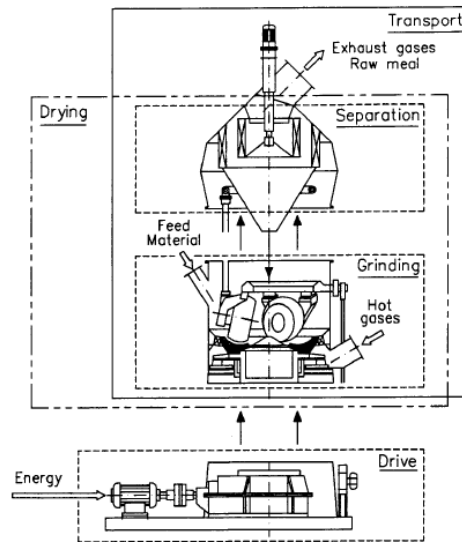
1. Identifikasi Masalah tahap ini meliputi identifikasi kondisi eksisting sistem pendinginan motor, seperti temperatur operasi yang tinggi, kondisi aktual komponen motor, kinerja pendinginan dan kinerja motor yang tidak optimal, serta pengaruh lingkungan kerja.
2. Pengumpulan Data dan Studi Literatur Data teknis motor, kondisi operasi, serta referensi dari buku manual, standar operasional, dan sumber lain.

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

## 2.2 Vertical Roller Mill



Gambar 2 1 Vertical Roller Mill



Gambar 2 2 Pre-Grinder Finish Mill Jalur 2



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

*Roller Mill* merupakan alat penggilingan material yang bekerja menggunakan tekanan *roller* terhadap permukaan meja putar atau lintasan penggilingan untuk memperkecil ukuran material. Pada industri semen, *Roller Mill* digunakan untuk proses penggilingan *raw meal*, batu bara, maupun klinker agar diperoleh ukuran material yang lebih halus sesuai kebutuhan proses produksi.[1]

Prinsip penggilingan pada *Roller Mill* dilakukan dengan memberikan gaya tekan pada material di antara *roller* dan *grinding table* sehingga material mengalami proses penghancuran akibat tekanan dan gesekan. Material yang telah halus kemudian terbawa oleh aliran udara menuju *separator* untuk dipisahkan berdasarkan ukuran partikelnya.

Penggunaan *Roller Mill* pada industri semen memiliki beberapa keuntungan, seperti efisiensi energi yang lebih baik, kapasitas produksi yang besar, serta kemampuan melakukan proses pengeringan dan penggilingan secara bersamaan. Oleh karena itu, *Roller Mill* banyak digunakan pada proses produksi semen *modern*.

### 2.2.1 Prinsip Kerja *Roller Mill*

Prinsip kerja *Roller Mill* diawali dengan masuknya material ke bagian tengah meja penggiling (*grinding table*) yang berputar. Putaran meja tersebut digerakkan oleh *main drive* berupa motor listrik dan sistem *gearbox* yang berfungsi menyalurkan tenaga putar menuju *grinding table*. Putaran dari *main drive* menyebabkan material bergerak menuju sisi luar meja akibat pengaruh gaya *sentrifugal*. [1]

Pada saat material bergerak di atas *grinding table*, *roller* akan memberikan tekanan terhadap material sehingga terjadi



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

proses penghancuran dan penghalusan material di antara permukaan *roller* dan meja penggiling. Tekanan *roller* tersebut umumnya dihasilkan oleh sistem hidrolik agar proses penggilingan dapat berlangsung secara stabil dan optimal.

Material yang telah mengalami proses penggilingan kemudian dibawa oleh aliran udara panas menuju separator. Udara panas yang dialirkan ke dalam *mill* berfungsi membantu proses pengeringan material sekaligus mengangkut partikel halus hasil penggilingan. Di dalam *separator*, material dipisahkan berdasarkan ukuran partikelnya. Material yang telah memenuhi ukuran produk akan keluar dari sistem, sedangkan material yang masih kasar akan dikembalikan kembali ke *grinding table* untuk mengalami proses penggilingan ulang.

Selama proses operasi berlangsung, kestabilan putaran *main drive*, tekanan *roller*, serta aliran udara di dalam *mill* sangat mempengaruhi performa *Roller Mill*. Apabila salah satu *parameter* tersebut tidak bekerja dengan baik, maka proses penggilingan dapat menjadi kurang optimal dan menyebabkan penurunan kapasitas produksi.

Pada industri semen, *Roller Mill* banyak digunakan karena mampu melakukan proses pengeringan, penggilingan, dan pemisahan material dalam satu sistem kerja sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien dibandingkan sistem penggilingan konvensional.

### 2.3 Main Drive

*Main drive pre-grinder* merupakan komponen penggerak dari *pre-grinder* dimana dalam proses produksi semen *pre-grinder* berfungsi sebagai penggiling klinker untuk membuat ukuran

#### 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

material siap masuk ke *Ball Mill*,. Proses ini melibatkan *Vertical Roller Mill* yang berfungsi sebagai penggiling material Klinker menjadi lebih halus. *Roller* digerakkan oleh Sistem Hidrolik dan motor listrik yang dilengkapi dengan *gearbox* dan kopling untuk mengatur kecepatan rotasi yang diperlukan.



Gambar 2 3 Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544 – MD1

Motor listrik yang digunakan pada *main drive pre-grinder* harus memiliki kapasitas yang cukup besar untuk menggerakkan *table* dan *roller* yang memiliki beban berat dan membutuhkan torsi yang besar. Pada *pre-grinder* ini menggunakan motor dengan tegangan menengah. Motor ini juga harus dapat diandalkan untuk menjaga kontinuitas proses produksi semen yang berkelanjutan.

## 2.4 Motor Listrik

Motor listrik adalah salah satu komponen kunci dalam industri yang digunakan untuk menggerakkan berbagai macam peralatan, pada industri semen motor listrik berperan penting sebagai komponen penggerak seperti *main drive pre-grinder*, *conveyor*, *crusher*, dan berbagai mesin lainnya yang digunakan dalam proses produksi semen. Motor listrik yang digunakan dalam industri semen harus dapat



**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

menghasilkan torsi yang besar untuk mengatasi beban berat yang sering kali terjadi dalam proses produksi. Selain itu, motor listrik juga harus memiliki efisiensi yang tinggi untuk mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional.



Gambar 2 4 Electric Motor Medium Voltage

Dalam aplikasinya, motor listrik dalam industri semen sering kali menggunakan motor induksi tiga fasa karena keandalannya yang tinggi dan kemampuannya untuk menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Motor induksi tiga fasa ini biasanya dikendalikan menggunakan sistem pengendalian yang canggih seperti VSD (*Variable Speed Drive*) untuk memastikan operasi yang stabil dan efisien.

#### 2.4.1 Jenis Motor Listrik

Berdasarkan kelas tegangannya, sistem tenaga listrik dibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu *Low Voltage*



**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

(LV), *Medium Voltage* (MV), dan *High Voltage* (HV). Pengelompokan tersebut digunakan untuk mempermudah proses distribusi tenaga listrik, pemilihan peralatan, serta penyesuaian terhadap kebutuhan daya pada suatu sistem industri. Menurut *Motor Drive Technical Primer*, [4] klasifikasi tegangan ditentukan berdasarkan standar ANSI, IEEE, dan IEC yang digunakan pada sistem tenaga listrik dan [5] peralatan industri.

#### 2.4.1.1 Motor *Low Voltage*

Motor *Low Voltage* (LV) merupakan motor listrik yang bekerja pada tegangan di bawah 1000 Vrms atau termasuk dalam kelas tegangan rendah. Tegangan yang umum digunakan pada motor jenis ini antara lain 120 V, 208 V, 240 V, 400 V, 480 V, dan 600 V. Motor LV banyak digunakan pada peralatan industri dengan kapasitas kecil hingga menengah karena memiliki sistem instalasi, pengoperasian, dan perawatan yang lebih sederhana.

#### 2.4.1.2 Motor *Medium Voltage*

Motor *Medium Voltage* (MV) adalah motor listrik yang bekerja pada sistem tegangan menengah. Berdasarkan standar ANSI C84.1, kelas tegangan menengah meliputi 1 kV, 15 kV, 25 kV, 35 kV, hingga 69 kV. Motor jenis ini umumnya digunakan pada peralatan industri dengan kebutuhan daya besar seperti *compressor*, *fan* industri, dan *ball mill* karena mampu menyalurkan daya lebih besar dengan arus yang lebih kecil dibandingkan motor tegangan rendah.



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

### 2.4.1.3 Motor *High Voltage*

Motor *High Voltage* (HV) merupakan motor listrik yang bekerja pada tegangan di atas 69 kV dan biasanya digunakan pada sistem transmisi serta industri berat dengan kapasitas daya sangat besar. Motor jenis ini memerlukan sistem isolasi dan proteksi yang lebih kompleks karena bekerja pada tegangan tinggi. Penggunaan motor HV umumnya diterapkan pada pembangkit listrik dan sistem industri skala besar yang membutuhkan kontinuitas operasi serta efisiensi penyaluran daya yang tinggi.

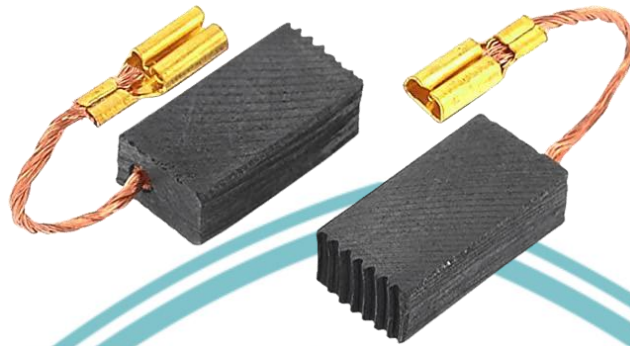
## 2.4.2 Komponen Motor Listrik

### 2.4.2.1 *Carbon Brush*

*Carbon brush* pada motor *main drive* berperan penting dalam transmisi arus listrik antara bagian statis (*stator*) dan bagian yang berputar (*rotor*) dari motor. Komponen ini sangat kritis karena berfungsi sebagai konektor listrik antara kawat statis dan kawat yang berputar, memungkinkan operasi motor yang lancar dan efisien. *Carbon brush* terdiri dari satu atau lebih blok karbon dan biasanya dilengkapi dengan satu atau lebih *shunt* atau *terminal*.

**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



Gambar 2.5 Carbon Brush

Operasi *carbon brush* melibatkan tiga parameter: mekanis, elektrik, dan fisik/kemikal. Dalam konteks elektrik, arus listrik ditransmisikan dari arah *shaft* yang berputar melalui kontak dengan *carbon brush*. Area kontak yang sangat kecil, yang disebut *spot* kontak, berkontak dengan permukaan *slip ring* atau *commutator*. *Spot* kontak harus didistribusikan secara merata di permukaan *brush* untuk menjaga keseimbangan dan menghindari kerusakan pada permukaan *commutator/slup ring*.

*Brush* dengan resistivitas tinggi bekerja lebih baik karena membantu mencegah arcing di antara *brush* dan *commutator/slup ring*. Pemeliharaan *carbon brush* penting untuk memastikan stabilitas dan kinerja yang optimal. Ini termasuk memeriksa jarak antara *holder brush* dan *brush* itu sendiri untuk memastikan stabilitas dan pergerakan yang lancar, serta memeriksa jarak antara *holder brush* dan *slip ring commutator* untuk memastikan penyesuaian yang tepat dan sudut yang tepat. Penting juga untuk memeriksa tanda-tanda kerusakan *commutator* dan keberadaan debu tembaga, yang dapat menyebabkan

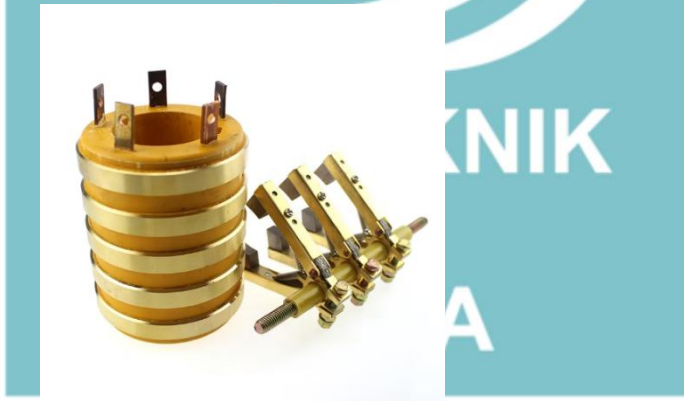
**Hak Cipta :**

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

kerusakan *brush*, polusi mesin, dan kerusakan pada *commutator/slip ring*.

#### 2.4.2.2 Slip Ring

*Slip ring* adalah komponen penting dalam motor *main drive* yang digunakan di mesin industri semen. Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan arus listrik antara bagian statis (stator) dan bagian yang berputar (rotor) dari motor, *slip ring* bertugas untuk mentransmisi arus listrik yang lancar dan efisien tanpa kehilangan daya. *Slip ring* memainkan peran kritis dalam memastikan bahwa motor beroperasi dengan kinerja optimal dan efisien. *Slip ring* terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian statis dan bagian rotasi.



Gambar 2 6 Slip Ring

Bagian statis biasanya terbuat dari material yang tidak menghilangkan daya, seperti permukaan yang dilapisi dengan lapisan isolator. Bagian rotasi, yang berputar, biasanya terbuat dari material yang dapat menghilangkan daya, seperti silikon atau *poliuretan*. Kedua bagian ini dihubungkan oleh sejumlah kawat yang



**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

mengalir melalui *slip ring*, dan membuat arus listrik untuk bergerak dari bagian statis ke bagian rotasi dan sebaliknya.

Pada motor motor besar di mesin industri semen, *slip ring* memainkan peran penting dalam memastikan bahwa arus listrik yang diperlukan untuk menggerakkan mesin dapat ditransmisikan dengan efisien. Hal ini penting untuk menjaga efisiensi energi dan mengurangi emisi karbon dioksida, yang merupakan faktor penting dalam upaya industri untuk mengurangi dampak lingkungan mereka. Pemeliharaan *slip ring* juga penting untuk memastikan kinerja yang optimal. Ini termasuk pembersihan dan penggantian kawat yang rusak, serta memastikan bahwa permukaan *slip ring* tetap bebas debu dan kotoran yang dapat mengganggu transmisi arus listrik. Pemeliharaan yang tepat dapat membantu memperpanjang umur *slip ring* dan memastikan bahwa motor *main drive* beroperasi dengan kinerja yang optimal.

#### 2.4.2.3 Coil Motor

*Coil* atau kumparan pada motor elektrik merupakan lilitan kawat penghantar yang dipasang pada bagian *stator* maupun *rotor* motor. Kumparan tersebut berfungsi untuk menghasilkan medan magnet ketika dialiri arus listrik. Medan magnet yang terbentuk akan berinteraksi dengan bagian motor lainnya sehingga menghasilkan gaya putar yang digunakan untuk menggerakkan poros motor.

#### 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



Gambar 2 7 Coil Motor Listrik

Pada motor listrik AC tiga fasa, *coil* umumnya dipasang pada stator dengan susunan tertentu agar dapat menghasilkan medan magnet berputar (*rotating magnetic field*). Medan magnet berputar tersebut menjadi prinsip utama dalam proses kerja motor listrik karena mampu menghasilkan torsi pada rotor sehingga motor dapat beroperasi. Jumlah lilitan, ukuran kawat, serta konfigurasi *coil* akan mempengaruhi karakteristik motor seperti tegangan kerja, arus, torsi, dan efisiensi motor.

Selain sebagai pembentuk medan magnet, *coil* juga berfungsi sebagai jalur utama aliran arus listrik pada motor. Oleh karena itu, kondisi isolasi dan kualitas *coil* sangat berpengaruh terhadap performa serta keandalan motor listrik dalam pengoperasiannya.

### 2.5 Perhitungan *Flow* Yang Dihasilkan *Impeller*

Perhitungan *Flow* yang dihasilkan *Impeller* dilakukan untuk memastikan apakah *impeller fan* eksisting pada motor akan mampu menggerakkan fresh air dari *ducting open air cooling system* yang nantinya akan digunakan.



**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

### 2.5.1 Hasil Perolehan Data *Impeller*

Data yang diperoleh dari studi lapangan dan studi literatur disebutkan bahwa sebagai berikut :

Daya motor = 1550 kW

Diameter impeller (D) = 900 mm

Putaran motor = 985 RPM

### 2.5.2 *Impeller Tip Speed*

Kecepatan ujung impeller (*Impeller Tip Speed*) digunakan untuk mengetahui kecepatan linear pada sisi terluar impeller fan. Nilai ini menjadi dasar dalam memperkirakan kemampuan fan dalam mengalirkan udara pendingin.[6], [7]

Kecepatan *impeller* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan {1}:

$$V_{tip} = \frac{\pi \times D \times N}{60} \{1\}$$

yang di mana :

$$\pi = 3,14 \text{ atau } \frac{22}{7}$$

$D$  = Diameter Impeller (900mm)

$N$  = RPM (985)

### 2.5.3 Estimasi Kecepatan Udara

Kecepatan udara yang dihasilkan *fan* diperkirakan menggunakan pendekatan empiris sebesar 30% dari kecepatan



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ujung *impeller*. Pendekatan ini digunakan untuk memperoleh estimasi kecepatan aliran udara aktual pada sistem pendinginan.

Perhitungan menggunakan persamaan {2}:

$$V = 0,3 \times V_{tip} \{2\}$$

#### 2.5.4 Luas Sapuan *Impeller*

Luas sapuan *impeller* adalah luas bidang melingkar yang dibentuk oleh perputaran sudu *impeller* dari titik pusat hingga *diameter* terluarnya. Luas ini merepresentasikan area efektif yang dilalui atau disapu oleh aliran udara akibat putaran *impeller*.

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan {3}:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \{3\}$$

#### 2.5.5 Debit Udara

Debit udara digunakan untuk mengetahui kapasitas aliran udara yang mampu dihasilkan oleh *impeller fan* eksisting guna mencari tahu apakah masih mampu untuk men-supply udara dalam rancangan desain *cooling system* nantinya

Perhitungan debit udara dilakukan menggunakan persamaan {4}:

$$Q = A \times V \{4\}$$

Yang dimana :

A = Luas sapuan *impeller*

V = *Velocity* estimasi udara



**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

### 2.5.6 Heat Loss Motor

Pada motor listrik, tidak seluruh daya listrik diubah menjadi daya mekanik. Sebagian energi akan berubah menjadi panas akibat rugi-rugi pada motor. Panas tersebut perlu dilepaskan agar temperatur motor tetap berada pada batas aman operasi.[2]

Perhitungan Heat Loss diperoleh dari persamaan {5} :

$$P_{loss} = (1 - \eta) \times P \{5\}$$

Yang dimana :

$\eta$  = Efisiensi motor ( 0,70 – 0,95 )

$P$  = Power motor ( 1550 kW)

### 2.5.7 Kebutuhan Udara Untuk Pendinginan

Kebutuhan udara pendingin merupakan jumlah aliran udara yang diperlukan untuk menyerap dan membuang panas dari suatu peralatan atau ruangan sehingga temperatur kerja dapat tetap berada pada batas yang diizinkan. Dalam sistem pendinginan industri, udara digunakan sebagai media perpindahan panas untuk menjaga temperatur motor, panel, maupun *equipment* lainnya agar tidak mengalami *overheating* saat beroperasi.[8]

Penentuan kebutuhan udara pendingin sangat penting dalam perancangan sistem *cooling* karena berpengaruh terhadap kapasitas *impeller fan*, ukuran *ducting*, serta performa pendinginan yang dihasilkan. Semakin besar panas yang dihasilkan oleh *equipment*, maka semakin besar pula kebutuhan aliran udara pendingin yang diperlukan.



**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

Perhitungan kebutuhan udara pendingin dapat dilakukan menggunakan persamaan {6} perpindahan panas pada aliran udara sebagai berikut:

$$Q = \frac{P_{loss}}{\rho \times C_p \times \Delta T} \{6\}$$

Dengan :

$Q$  = debit aliran udara ( $m^3/s$ )

$P$  = panas yang harus dilepas ( $W$ )

$\rho$  = massa jenis udara ( $kg/m^3$ )

$c_p$  = kalor jenis udara ( $J/kg \cdot K$ )

$\Delta T$  = perbedaan temperatur udara masuk dan keluar  
( $15^\circ C$ )

Pada kondisi standar, massa jenis udara biasanya bernilai sekitar  $1,2 kg/m^3$  dan kalor jenis udara sebesar  $1005 J/kg \cdot K$ . [8]

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan aliran udara dipengaruhi oleh besarnya panas yang dihasilkan *equipment* dan perbedaan temperatur udara pendingin. Semakin besar panas yang dilepas, maka debit udara yang dibutuhkan juga semakin besar. Sebaliknya, semakin besar selisih temperatur udara masuk dan keluar, maka kebutuhan debit udara dapat menjadi lebih kecil.

Dalam perancangan *cooling system motor*, hasil perhitungan kebutuhan udara pendingin digunakan sebagai dasar untuk menentukan kapasitas *impeller* fan dan dimensi ducting agar sistem pendinginan dapat bekerja secara optimal.

**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

## 2.6 Komponen Proteksi Motor Listrik

### 2.6.1 MCB

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah salah satu komponen proteksi dalam instalasi kelistrikan bila terjadi beban lebih dan hubungan singkat arus listrik (*short circuit*) yang dapat menimbulkan percikan api sehingga menyebabkan kebakaran.



Gambar 2.8 Miniature Circuit Breaker

Sebagai alat proteksi, MCB berfungsi secara otomatis untuk mengamankan rangkaian listrik, tetapi MCB tidak dapat beroperasi secara otomatis setelah mengatasi gangguan dari instalasi listrik, sehingga memerlukan tenaga manusia untuk mengaktifkan kembali secara manual agar jaringan instalasi dapat kembali bekerja.

### 2.6.2 Relay

*Relay* adalah saklar (*Switch*) merupakan komponen listrik yang terdiri dari 2 bagian utama yaitu elektromagnet



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

(*Coil*) dan mekanikal (Saklar/*Switch*). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar dimana arus listrik yang kecil (*low Power*) menghantarkan listrik yang bertegangan tinggi.



Gambar 2 9 Relay

*Relay* biasanya digunakan dalam aplikasi skala kecil dan memiliki desain lebih sederhana dibandingkan dengan kontaktor magnetik (MC). *Relay* mempunyai fungsi sebagai isolasi listrik antara rangkaian kendali dan rangkaian daya, serta dapat mencegah interferensi elektromagnetik.

### 2.6.3 Thermal Overload Relay

(TOR) adalah perangkat *relay* yang beroperasi berdasarkan prinsip bimetalik, dimana bimetalik terdiri dari dua jenis logam dengan koefisien muai yang berbeda.

#### 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



Gambar 2 10 Thermal Overload Relay

Jika arus yang mengalir melalui TOR yang melebihi batas aman, maka pemanasan arus yang berlebihan akan membengkokkan bimetal dan memutus kontak relay yang akan mematikan motor dan mencegah kerusakan akibat panas berlebih.

### 2.7 Cooling System

Sistem pendinginan (*cooling system*) merupakan salah satu sistem pendukung yang berperan dalam menjaga temperatur kerja peralatan agar tetap berada pada batas operasi yang aman. Pada motor listrik, panas akan terbentuk selama proses operasi akibat adanya rugi-rugi listrik pada belitan, rugi-rugi inti besi, serta gesekan mekanis pada komponen yang bergerak. Apabila panas tersebut tidak dapat dilepaskan dengan baik, temperatur motor akan terus meningkat dan dapat menyebabkan penurunan kinerja, mempercepat kerusakan isolasi belitan, serta mengurangi umur pakai motor.[3]

Untuk mencegah terjadinya kenaikan temperatur yang berlebihan, diperlukan sistem pendinginan yang mampu memindahkan panas dari motor ke lingkungan sekitar. Proses pelepasan panas



**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

tersebut umumnya dilakukan dengan memanfaatkan media pendingin, seperti udara atau air, yang mengalir melalui bagian-bagian motor yang mengalami peningkatan temperatur. Dengan sistem pendinginan yang bekerja secara optimal, temperatur operasi motor dapat dipertahankan pada kondisi yang sesuai sehingga keandalan dan kontinuitas operasinya tetap terjaga.

Berdasarkan metode sirkulasi media pendinginnya, sistem pendinginan motor listrik secara umum dibedakan menjadi sistem pendinginan terbuka (*open cooling system*) dan sistem pendinginan tertutup (*closed cooling system*). Pemilihan sistem pendinginan yang digunakan bergantung pada karakteristik motor, kondisi lingkungan kerja, serta kebutuhan operasional pada masing-masing aplikasi industri.

Pada aplikasi di industri semen, sistem pendinginan udara sangat penting untuk menjaga kinerja *motor drive* yang optimal. *Motor drive* mengendalikan berbagai komponen mesin pada industri semen, seperti *roller mill*, *kiln*, *pregrinder*, *ball mill* dan peralatan lainnya. Tanpa sistem pendinginan yang efektif, *motor drive* dapat panas dengan cepat, yang dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan komponen atau *part* yang berada didalam motor itu sendiri.[9]

### **2.7.1 Jenis Cooling System**

#### **2.7.1.1 Enclosed Air Cooling System**

*Closed Air Cooling System* merupakan sistem pendinginan motor listrik yang menggunakan udara pendingin yang bersirkulasi dalam suatu rangkaian tertutup (*closed loop*). Udara pendingin tidak berhubungan langsung dengan lingkungan luar,



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

melainkan berputar secara terus-menerus di dalam sistem dan didinginkan kembali menggunakan *heat exchanger* sebelum digunakan kembali.

*Closed circuit cooling* adalah sistem pendinginan dimana media pendingin bersirkulasi dalam jalur tertutup di dalam motor dan panas yang diserap dipindahkan ke media pendingin lain melalui *heat exchanger* atau permukaan luar motor. Dengan sistem ini, udara pendingin tetap berada di dalam rangkaian sehingga terlindung dari debu, kelembapan, maupun kontaminan lingkungan.

*Closed air cooling system* umumnya digunakan pada motor-motor berkapasitas besar yang beroperasi pada lingkungan dengan tingkat debu tinggi, temperatur ekstrem, atau kondisi korosif. Sistem ini memiliki keunggulan berupa kualitas pendinginan yang lebih stabil, perlindungan yang lebih baik terhadap komponen internal motor, serta umur pakai motor yang lebih panjang. Namun, sistem ini memiliki konstruksi yang lebih kompleks, membutuhkan *heat exchanger* dan peralatan tambahan lainnya, serta memiliki biaya investasi dan perawatan yang lebih tinggi dibandingkan *open air cooling system*.

Contoh penerapan *closed air cooling system* pada motor industri adalah sistem *Air-to-Air Heat Exchanger (TEAAC)* dan *Air-to-Water Heat Exchanger (TEWAC)* yang banyak digunakan pada motor berdaya besar di



**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

industri semen, pembangkit listrik, dan industri proses lainnya.

#### 2.7.1.2 *Open Air Cooling System*

*Open Air Cooling System* merupakan sistem pendinginan motor listrik yang menggunakan udara dari lingkungan sekitar sebagai media pendingin utama. Udara luar dihisap atau dialirkan ke dalam motor, menyerap panas yang dihasilkan oleh motor selama beroperasi, kemudian udara panas tersebut dibuang kembali ke lingkungan tanpa digunakan kembali.

*Open air cooling* adalah sistem pendinginan dimana media pendingin diambil langsung dari lingkungan sekitar atau dari lokasi tertentu, dialirkan melalui atau melewati motor, kemudian dibuang kembali ke lingkungan setelah menyerap panas dari motor. Sistem ini banyak digunakan karena konstruksinya sederhana, biaya instalasi relatif rendah, serta tidak memerlukan peralatan tambahan seperti *heat exchanger*. [3]

Keunggulan utama *open air cooling system* adalah kemudahan perawatan, biaya investasi yang rendah, dan kemampuan menghasilkan kapasitas pendinginan yang baik apabila udara lingkungan memiliki temperatur dan kualitas yang sesuai. Namun, sistem ini memiliki kelemahan karena udara pendingin dapat membawa debu, kelembapan, atau kontaminan lain yang berpotensi masuk ke dalam motor sehingga dapat menurunkan efektivitas pendinginan dan mempercepat penumpukan kotoran pada



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

komponen *internal* motor. Oleh karena itu, pada lingkungan industri yang memiliki tingkat debu tinggi sering digunakan *ducting* dan filter udara untuk meningkatkan kualitas udara pendingin yang masuk ke motor.

Pada penelitian ini, sistem pendinginan yang digunakan adalah *open air cooling system* dengan memanfaatkan udara segar (*fresh air*) dari luar bangunan *Finish Mill* yang dialirkan menuju motor melalui *ducting* dan filter udara.

### 2.7.2 Komponen *Cooling System*

*Cooling system* digunakan untuk mendinginkan motor listrik pada aplikasi industri. Sistem pendingin ini biasanya digunakan pada motor listrik besar yang digunakan dalam industri, termasuk motor listrik yang digunakan dalam *main drive pre-grinder* di PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap Plant. Komponen-komponen utama dari *Cooling system* antara lain:[3]

#### 2.7.2.1 Motor Listrik

Motor listrik adalah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi, termasuk rumah tangga, industri, dan transportasi, pada *cooling system* motor listrik berguna untuk memutar fan impeller dan akan menghasilkan aliran udara untuk menyirkulasikan *cooling air*. Dalam aplikasinya, motor listrik dalam industri semen sering kali menggunakan motor induksi tiga fasa karena

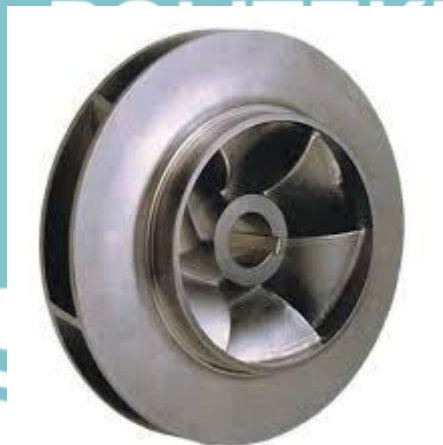
**Hak Cipta :**

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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keandalannya yang tinggi dan kemampuannya untuk menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan rendah. Motor induksi tiga fasa ini biasanya dikendalikan menggunakan sistem pengendalian yang canggih untuk memastikan operasi yang stabil dan efisien.[9]

### 2.7.2.2 *Impeller Cooling Fan*

*Fan impeller* pada sistem pendinginan (*cooling system*) memainkan peran penting dalam menjaga suhu dan kondisi lingkungan yang aman dan efisien dalam berbagai aplikasi industri, termasuk dalam mesin industri semen. *Impeller* adalah inti dari fan centrifugal, yang merupakan disk berputar dengan bilah yang membulat. Bilah-bilah ini dirancang untuk menangkap udara di pusat *impeller* dan memberikan gerakan ke arah luar secara radial kepada udara[10]



Gambar 2 11 *Impeller Fan*

Dalam konteks mesin industri semen, sistem pendinginan sangat penting untuk mengurangi panas yang dihasilkan oleh proses produksi semen. *Fan centrifugal*

**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

digunakan dalam aplikasi pendinginan seperti menara pendingin, *radiator*, dan *heat exchanger* yang dingin untuk menyebarkan panas berlebih dari proses industri dan peralatan.[22]

### 2.7.2.3 Filter

Pada sistem sirkulasi pendinginan tertutup pengoperasian motor harus diperhatikan, udara yang di alirkan harus bersih dari partikel kecil seperti debu dan kotoran lainnya. Filter bertindak sebagai penghalang terhadap debu, kotoran, dan partikel asing lainnya yang dapat masuk ke dalam motor melalui aliran udara. Ini membantu menjaga kebersihan komponen *internal* motor dan mencegah kerusakan yang disebabkan oleh kontaminan tersebut.[11]



Gambar 2 12 Air Filter

Dengan mencegah partikel asing masuk, filter memastikan bahwa udara yang mengalir melalui motor adalah udara bersih. Udara bersih memiliki kapasitas pendinginan yang



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lebih baik karena tidak ada partikel yang dapat menghambat aliran udara atau menempel pada permukaan yang didinginkan.

Debu dan kotoran yang masuk ke dalam motor dapat menyebabkan abrasi dan keausan pada komponen bergerak, seperti bantalan dan rotor. Filter membantu mengurangi risiko ini dengan menyaring partikel yang dapat menyebabkan keausan mekanis pada motor. Dengan menjaga kebersihan dan mengurangi keausan, filter membantu memperpanjang umur motor. Motor yang beroperasi dalam kondisi bersih cenderung memiliki masa pakai yang lebih lama dan memerlukan lebih sedikit perawatan.

### 2.7.3 Skematik *Open air cooling system* yang akan digunakan



Sistem pendinginan yang akan dirancang untuk digunakan pada *main drive pre-grinder finish mill 544-MD1* akan tetap menggunakan metode *open air cooling system* dengan memanfaatkan udara luar (*fresh air*) sebagai media pendingin utama. Sistem ini bekerja dengan cara mengalirkan udara dari [3] lingkungan luar menuju motor melalui *ducting*, kemudian udara panas hasil pendinginan dibuang kembali ke atmosfer tanpa proses sirkulasi ulang.

Pada sistem ini, udara segar diambil dari luar bangunan *finish mill* yang menggunakan *impeller* bawaan pada *motor main drive* sebagai penggerak aliran udara. Udara tersebut



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kemudian dialirkan melalui *ducting* menuju area motor yang membutuhkan pendinginan. *Ducting* berfungsi sebagai jalur distribusi udara agar aliran udara pendingin dapat diarahkan secara optimal menuju motor.

Ketika motor beroperasi, panas dihasilkan dari rugi-rugi listrik dan mekanis pada motor. Udara pendingin yang mengalir melewati permukaan motor akan menyerap panas tersebut sehingga temperatur udara meningkat. Setelah proses pendinginan berlangsung, udara panas kemudian dikeluarkan kembali ke lingkungan luar melalui sisi *outlet*.

Skematik sistem pendinginan ini menerapkan konsep *once-through cooling*, dimana udara pendingin hanya digunakan satu kali sebelum dibuang ke atmosfer. Oleh karena itu, sistem ini termasuk ke dalam kategori *open loop cooling system*. Berbeda dengan sistem *closed loop*, udara pada sistem ini tidak didinginkan kembali dan tidak disirkulasikan ulang ke dalam sistem.

Penggunaan *fresh air* dari luar bangunan dipilih karena lebih sederhana dalam pengoperasian dan tidak memerlukan peralatan tambahan seperti *heat exchanger*, *cooling tower*, maupun sistem refrigerasi. Selain itu, udara luar memiliki tingkat *dusty* yang lebih rendah dibandingkan udara pada dalam bangunan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai media pendingin secara langsung.[12]

Pada perancangan sistem ini, *ducting* memiliki peranan penting dalam menjaga kelancaran distribusi udara pendingin menuju motor. Aliran udara harus dapat mencapai area motor dengan baik agar proses pelepasan panas berlangsung secara



**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

optimal. Selain itu, filter digunakan untuk mengatasi hambatan aliran udara dari debu sepanjang *ducting* sehingga memperkecil kemungkinan kontaminan masuk ke dalam *Coil Motor*. [13]

## 2.8 Duct

*Ducting*, atau saluran udara, merupakan komponen vital dalam sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) yang berperan penting dalam mendistribusikan udara segar dan mengatur temperatur [14] di dalam ruangan. *Ducting* mengantarkan udara yang telah diolah oleh AHU (*Air Handling Unit*) ke berbagai ruangan di gedung, hunian, maupun industri. *Ducting* memiliki beberapa fungsi. Pertama, sebagai alat menyalurkan udara segar dari luar ruangan dan udara yang telah diolah oleh AHU ke seluruh ruangan yang membutuhkan. Kedua, membantu mendistribusikan udara dingin atau panas secara merata, sesuai pengaturan yang diinginkan. Ketiga, berfungsi sebagai ventilasi yang menghasilkan sirkulasi udara menjadi lebih optimal. Membantu membuang udara kotor dan lembap serta menjaga kualitas udara di dalam ruangan. *Ducting* juga berfungsi sebagai sistem filtrasi dimana *ducting* dilengkapi dengan filter udara untuk menyaring debu, polutan, dan alergen, sehingga menghasilkan udara yang lebih bersih dan sehat.

### 2.8.1 Komponen *Ducting*

*Ducting*, selain fungsinya yang penting, terdiri dari berbagai komponen yang bekerja sama untuk mengalirkan udara secara efisien. Berikut adalah beberapa komponen utama dalam sistem *ducting*: [14], [15]

#### 2.8.1.1 Saluran Udara (*Ducts*)



**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



Gambar 2.13 Duct

Saluran udara adalah komponen utama dari *ducting* yang berupa pipa atau saluran yang terbuat dari bahan seperti baja lapis seng (BJLS), galvanis, *aluminium*, atau plastik. *Duct* inilah yang menjadi jalur utama mengalirnya udara yang telah diolah oleh *AHU* (*Air Handling Unit*).

#### 2.8.1.2 *Fitting*

*Fitting* adalah komponen yang berfungsi untuk menghubungkan saluran udara. *Fitting* memiliki beberapa jenis, yang pertama adalah *Elbow* yang berfungsi untuk menghubungkan saluran udara dengan sudut 90°. Kedua, *Tee* yang menghubungkan tiga saluran udara biasanya digunakan untuk membagi aliran udara. [15]Ketiga, *Reducer* yang berfungsi untuk menghubungkan saluran udara dengan ukuran yang berbeda. Lalu damper yang memiliki fungsi untuk mengatur aliran udara secara manual atau otomatis.

**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2 14 Fitting Duct

## 2.8.2 Jenis – jenis *Duct*

*Duct* merupakan saluran yang digunakan untuk mendistribusikan udara pada sistem ventilasi, HVAC, maupun *cooling system* industri. Pemilihan jenis *duct* harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem, temperatur kerja, tekanan udara, serta kondisi lingkungan operasi. Material yang digunakan akan mempengaruhi kekuatan, ketahanan korosi, efisiensi aliran udara, dan biaya instalasi pada sistem distribusi udara.

### 2.8.2.1 *Ducting* BJLS

*Ducting* BJLS merupakan saluran udara yang terbuat dari baja dengan lapisan seng pada permukaannya untuk melindungi material dari korosi. Jenis ini memiliki kekuatan mekanis yang baik sehingga banyak digunakan pada sistem ventilasi dan HVAC industri. Selain memiliki daya tahan yang cukup tinggi, *duct* BJLS juga relatif mudah dibentuk dan dipasang sesuai kebutuhan instalasi.



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Penggunaan lapisan seng pada permukaan baja berfungsi untuk mengurangi risiko karat akibat pengaruh udara dan kelembaban lingkungan.



Gambar 2 15 Ducting BJLS

### 2.8.2.2 Ducting Galvanis

*Ducting* galvanis adalah saluran udara yang menggunakan material baja galvanis sebagai bahan utama. Baja galvanis merupakan baja yang telah melalui proses pelapisan seng sehingga memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan baja biasa. *Duct* galvanis banyak digunakan pada sistem distribusi udara karena memiliki permukaan yang kuat, tahan lama, dan mampu digunakan pada tekanan udara menengah hingga tinggi. Selain itu, *duct* galvanis juga memiliki biaya produksi yang relatif lebih ekonomis dibandingkan material lainnya.



**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



Gambar 2-16 Ducting Galvanis

### 2.8.2.3 Ducting Aluminium

*Ducting aluminium* merupakan saluran udara yang terbuat dari material aluminium dengan karakteristik ringan dan tahan terhadap korosi. Jenis duct ini banyak digunakan pada sistem ventilasi dan pendinginan yang membutuhkan material dengan bobot ringan serta kemudahan dalam proses pemasangan. Selain memiliki ketahanan korosi yang baik, *aluminium* juga memiliki permukaan yang lebih halus sehingga dapat membantu mengurangi hambatan aliran udara di dalam duct. Namun, kekuatan mekanis *duct aluminium* umumnya lebih rendah dibandingkan duct berbahan baja.



**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



Gambar 2 17 Ducting Alluminium

#### 2.8.2.4 Ducting Fleksibel

*Ducting* fleksibel merupakan saluran udara yang memiliki struktur lentur sehingga mudah dipasang pada area dengan ruang terbatas atau jalur instalasi yang sulit dijangkau. Jenis ini umumnya digunakan sebagai penghubung antara duct utama dengan equipment atau diffuser udara. Material *duct* fleksibel biasanya terdiri dari lapisan *aluminium*, plastik, atau kombinasi material lainnya yang diperkuat dengan rangka spiral kawat. Keunggulan utamanya adalah kemudahan instalasi dan kemampuan mengikuti bentuk jalur pemasangan. Namun, *duct* jenis ini memiliki rugi tekanan (*pressure drop*) yang lebih besar dibandingkan *duct* kaku karena permukaannya tidak sepenuhnya rata.



**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



Gambar 2 18 Ducting Fleksibel

## 2.9 Rumus Perhitungan *Ducting*

### 2.9.1 Rumus Menentukan Luas Penampang *Ducting* (A)

Luas penampang *duct* merupakan salah satu parameter penting dalam perancangan sistem *ducting* karena berpengaruh terhadap kapasitas aliran udara dan kecepatan udara di dalam saluran. Penentuan luas penampang *duct* dilakukan untuk memastikan udara dapat mengalir dengan baik sesuai kebutuhan sistem pendinginan atau ventilasi. Selain itu, ukuran *duct* yang sesuai dapat membantu mengurangi *pressure drop*, kebisingan, serta kehilangan energi pada sistem distribusi udara.

Luas penampang *duct* dihitung berdasarkan debit aliran udara yang melewati *duct* dan kecepatan udara yang direncanakan di dalam saluran. Semakin besar debit udara yang dibutuhkan, maka luas penampang *duct* juga akan semakin besar. Sebaliknya, semakin tinggi kecepatan udara yang digunakan, maka luas penampang *duct* dapat menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, pemilihan kecepatan udara harus disesuaikan dengan standar desain agar sistem tetap bekerja



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

secara optimal dan tidak menimbulkan turbulensi maupun kebisingan berlebih.

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan {7}:[7]

$$A = \frac{Q}{V} \{7\}$$

### 2.9.2 Diameter Hidrolik

*Diameter* hidrolik (*hydraulic diameter*) pada *duct* adalah *diameter* ekuivalen yang digunakan untuk menghitung karakteristik aliran fluida pada *duct* berbentuk non-sirkular, seperti *duct* persegi atau persegi panjang. *Diameter* hidrolik digunakan agar perhitungan aliran udara dapat dianalisis seperti aliran pada pipa bulat.

Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan {8} :[13]

$$D_h = \frac{2ab}{a+b} \{8\}$$

Dengan keterangan:

- a = Lebar *duct*  
b = Tinggi *duct*

### 2.9.3 Pressure Drop Pada Duct

*Pressure drop* merupakan hambatan aliran udara yang terjadi di sepanjang *ducting* akibat gesekan aliran udara, belokan *duct*, dan penggunaan filter.

Perhitungan *pressure drop* dilakukan menggunakan persamaan {9} *Darcy-Weisbach*: [16]



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\Delta P = f \times \frac{L}{D_h} \times \frac{\rho V^2}{2} \{9\}$$

### 2.9.3.1 Friction Factor

*Friction factor* merupakan koefisien hambatan aliran fluida yang digunakan untuk menentukan besarnya kerugian tekanan (*pressure loss*) akibat gesekan antara fluida dan permukaan dinding *duct* atau pipa. Pada *ducting cooling system*, friction factor digunakan dalam perhitungan *pressure drop* untuk mengetahui besarnya tekanan yang harus diatasi oleh *impeller fan* agar aliran udara dapat mengalir sesuai kebutuhan sistem. Berdasarkan *galvanized steel ductwork* diperoleh nilai *absolute roughness* : [16]

$$f = 0,095$$

### 2.9.3.2 Dynamic Pressure

*Dynamic pressure* merupakan tekanan yang dihasilkan akibat pergerakan aliran fluida di dalam ducting. Pada sistem pendinginan dengan media udara, *dynamic pressure* menunjukkan energi kinetik dari aliran udara yang bergerak akibat kerja *fan*. [17]

Besarnya *dynamic pressure* dipengaruhi oleh densitas udara, serta kecepatan aliran udara di dalam *duct*.

Semakin besar kecepatan aliran udara, maka nilai *dynamic pressure* akan semakin besar. Nilai *dynamic pressure* digunakan dalam perhitungan sistem *ducting*



**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

untuk menentukan total *pressure* dan kebutuhan tekanan *impeller fan* pada sistem *pendinginan*.

Persamaan *dynamic pressure* dapat dihitung menggunakan persamaan {10} berikut:

$$p_v = \frac{\rho V^2}{2} \quad \{10\}$$

Keterangan:

$p_v$  = *dynamic pressure* (Pa)

$\rho$  = densitas udara ( $kg/m^3$ )

$V$  = kecepatan aliran udara (m/s)

#### 2.9.4 *Pressure Drop* Pada *Duct Elbow 90°*

*Pressure drop* pada *duct elbow 90°* merupakan kerugian tekanan yang terjadi akibat perubahan arah aliran udara pada sistem *ducting*. Saat aliran udara melewati *elbow*, arah aliran berubah sehingga menimbulkan turbulensi dan gesekan tambahan yang menyebabkan energi aliran berkurang.

Perhitungan *pressure drop* pada *elbow 90°* dapat dihitung menggunakan persamaan {11} *minor loss* sebagai berikut:[18]

$$\Delta P = K \frac{\rho V^2}{2} \quad \{11\}$$

Keterangan:

$\Delta P$  = *pressure drop elbow* (Pa)



**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

$K$  = *loss coefficient elbow*

$\rho$  = densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = kecepatan aliran udara ( $\text{m/s}$ )

Nilai *loss coefficient* ( $K$ ) bergantung pada jenis *elbow* yang digunakan. Untuk *elbow*  $90^\circ$  pada *ducting* HVAC, nilai  $K$  umumnya berada pada rentang 0,5.

### 2.9.5 Perhitungan *External Static Pressure* (ESP)

*External Static Pressure* (ESP) merupakan tekanan statis total yang harus diatasi oleh impeller untuk mengalirkan udara melalui sistem *ducting cooling*. Nilai ESP diperoleh dari *total pressure loss* yang terjadi pada *ducting* lurus, *fitting duct*, dan filter yang digunakan pada sistem.[18]

*Pressure loss* pada *ducting* lurus terjadi akibat gesekan aliran udara dengan permukaan *duct*, sedangkan *pressure loss fitting* terjadi karena adanya perubahan arah atau bentuk aliran udara pada *elbow*, *reducer*, maupun sambungan *duct*. Selain itu, penggunaan filter juga menyebabkan hambatan aliran udara sehingga menambah total *pressure loss* pada sistem *ducting*. [13]

Perhitungan *External Static Pressure* (ESP) dapat dihitung menggunakan persamaan {12} berikut:

$$ESP = PL + P_f + F_{fl} \{12\}$$

Keterangan:

ESP = *External Static Pressure* (Pa)



## © 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

$PL$  = *pressure loss ducting lurus (Pa)*

$P_f$  = *pressure loss fitting duct (Pa)*

$F_{fl}$  = *pressure loss filter (Pa)*

Nilai ESP digunakan sebagai dasar dalam pemilihan desain *ducting* agar mampu mengatasi seluruh hambatan aliran udara pada sistem pendinginan. Semakin besar *total pressure loss* yang terjadi pada *ducting*, maka tekanan yang harus dihasilkan oleh *impeller* juga semakin besar. Oleh karena itu, perhitungan ESP sangat penting untuk memastikan sistem pendinginan dapat bekerja secara optimal sesuai kebutuhan aliran udara yang direncanakan.

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

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian dari tugas akhir berguna untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan dan menjawab permasalahan yang telah dirumuskan dengan berbagai macam tahap penelitian agar lebih terarah. Metode - metode yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini meliputi:

#### 3.1.1 Metode Kepustakaan

Mencari dan mempelajari informasi – informasi dari internet, jurnal – jurnal penelitian, *technical information system* serta buku manual tentang *equipment – equipment* yang terkait dengan tugas akhir ini.

#### 3.1.2 Metode Observasi

Melakukan pengamatan secara langsung terhadap *equipment* yang menjadi objek tugas akhir. Mempelajari informasi – informasi hasil observasi guna mempermudah dalam penyelesaian masalah.

#### 3.1.3 Metode Diskusi

Mendiskusikan masalah dengan pembimbing di lapangan, dosen pembimbing, dan rekan – rekan mahasiswa. Diskusi juga dilakukan dengan pihak lain yang terkait, dalam hal ini pihak *Mechanical Engineering* dan *Process Engineering*.

#### 3.1.4 Metode Evaluasi

Mengevaluasi hasil rancangan desain alat setelah dilakukan perancangan desain serta dampak yang dihasilkan dari penggunaan alat ini.



## © 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

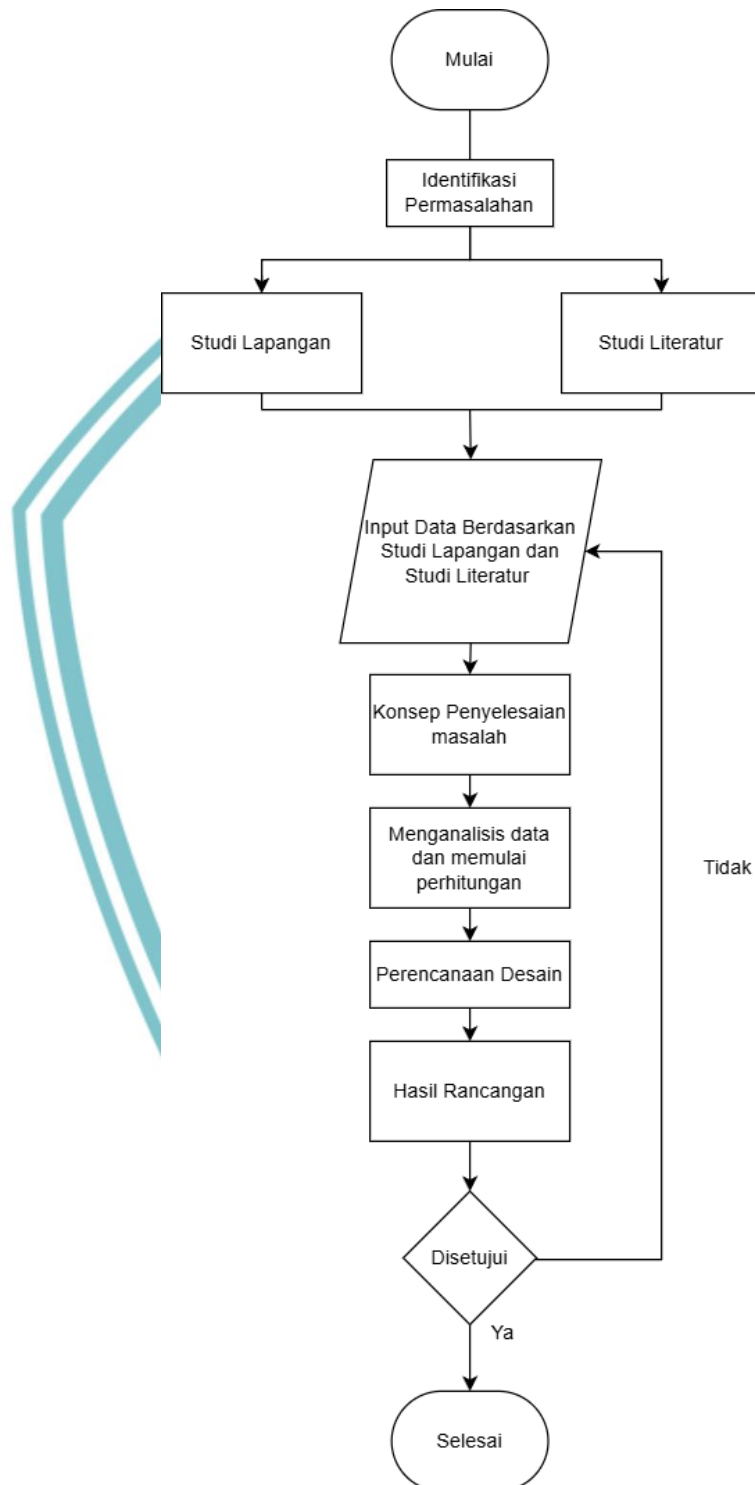




**Hak Cipta :**

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

### 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3 1 Diagram Alir Tugas Akhir.

### 3. Timeline Pelaksanaan Tugas Akhir

| No  | Aktivitas                                 | 2025 |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   | 2026 |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
|-----|-------------------------------------------|------|----|----------|----|----|----|----------|----|----|----|---------|---|------|---|----------|---|---|---|-------|---|----|----|-------|----|----|----|-----|----|----|----|------|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|
|     |                                           | okt  |    | November |    |    |    | Desember |    |    |    | Januari |   |      |   | Februari |   |   |   | Maret |   |    |    | April |    |    |    | Mei |    |    |    | Juni |    |    |    | Juli |    |    |    |    |    |    |
|     |                                           | 42   | 43 | 44       | 45 | 46 | 47 | 48       | 49 | 50 | 51 | 52      | 1 | 2    | 3 | 4        | 5 | 6 | 7 | 8     | 9 | 10 | 11 | 12    | 13 | 14 | 15 | 16  | 17 | 18 | 19 | 20   | 21 | 22 | 23 | 24   | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| I   | Proposal Tugas Akhir                      |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 1   | Penentuan Judul Tugas Akhir               |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 2   | Studi Literatur dan Pengumpulan Referensi |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 3   | Penyusunan Proposal Tugas Akhir           |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 4   | Seminar Proposal Tugas Akhir              |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 5   | Pengumpulan Proposal Tugas Akhir          |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 6   | Mengumpulkan Informasi                    |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| II  | Classroom Semester 6                      |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| III | Pelaksanaan Tugas Akhir                   |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 1   | Bimbingan Ekspert Lapangan                |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 2   | Bimbingan Bersama Dosen                   |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 3   | Perencanaan                               |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 4   | Perancangan Sistem                        |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 5   | Perhitungan Desain                        |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 6   | Pembuatan Desain                          |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 7   | Pengujian Desain                          |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 8   | Perbaikan Sistem                          |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 9   | Penulisan Laporan                         |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 10  | Pengumpulan Laporan Tugas Akhir           |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 11  | Seminar Nasional                          |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| IV  | Sidang Tugas Akhir                        |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 1   | Pendaftaran                               |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 2   | Penjadwalan Sidang Tugas Akhir            |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 3   | Pelaksanaan Sidang Tugas Akhir            |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 4   | Revisi Laporan Tugas Akhir                |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| 5   | Pengumpulan Laporan Tugas Akhir           |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |
| V   | Wisuda                                    |      |    |          |    |    |    |          |    |    |    |         |   |      |   |          |   |   |   |       |   |    |    |       |    |    |    |     |    |    |    |      |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |

Gambar 3.2 Timeline Schedule Tugas Akhir



**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

### 3.4 Metode Penyelesaian

#### 3.4.1 Mengumpulkan Informasi

Untuk menunjang pelaksanaan tugas akhir ini maka segala informasi yang dibutuhkan sehubungan dengan tugas akhir ini harus dikumpulkan. Informasi yang dibutuhkan seperti menentukan latar belakang masalah yang akan dihadapi dengan cara membuat analisa permasalahan, membuat diagram alir sistem pada *cooling system main drive pre-grinder finish mill jalur 2*, serta menentukan arah dan tujuan dari pengerjaan tugas akhir.[1]

#### 3.4.2 Mengumpulkan Data

Pada tahap ini keperluan yang dibutuhkan untuk tugas akhir dibentuk data peralatan dengan menentukan spesifikasi ukuran *duct*, kapasitas motor dan *cooling capacity* dari *impeller* yang eksisting serta mencari data pendukung seperti data riwayat perbaikan dari tahun-tahun sebelumnya baik itu dari segi motor ataupun komponen dari *cooling box*.

#### 3.4.3 Menganalisa dan memulai perhitungan

Selanjutnya, data yang sudah terkumpul mulai dianalisa dan dihitung berapa konsumsi daya, kapasitas motor yang digunakan, ukuran *duct* yang akan digunakan dan spesifikasi *filter* yang digunakan.[14]

#### 3.4.4 Menentukan tipe dan desain *Cooling System*

Dari hasil perhitungan, didapat data berupa nilai spesifikasi motor dan *impeller* dengan *cooling capacity* yang sesuai. Sehingga dapat melanjutkan ketahap berikutnya, yaitu



## © 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

penentuan desain sistem pendinginan untuk mengganti tipe yang lama.

### 3.4.5 Diskusi

Setelah menentukan peralatan dan mengumpulkan segala informasi yang dibutuhkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan diskusi dengan dosen pembimbing, mentor, serta semua pihak yang terkait dengan tugas akhir ini. Jika semua pihak terkait sudah menyetujui segala kegiatan yang akan dilakukan selanjutnya maka mulai mengerjakan kegiatan penelitian tugas akhir.



**Hak Cipta :**

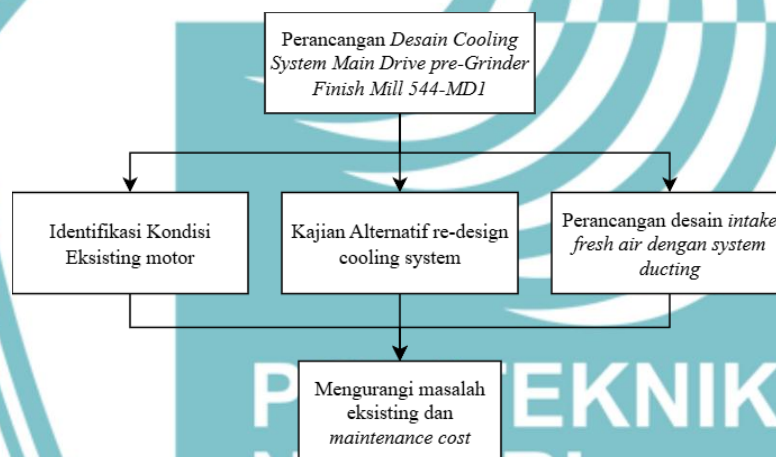
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Target Tugas Akhir

Berikut adalah analisis mengenai target untuk Perancangan Desain *Cooling System* pada *Pre-Grinder Finish Mill 544 – MD1* dengan mengkaji beberapa alternatif *re-design* sistem pendinginan guna menentukan solusi yang paling tepat dalam mengatasi permasalahan eksisting sekaligus menjaga keandalan operasional motor.



Gambar 4.1 Target Tugas Akhir

Dengan adanya metode perancangan yang dilakukan ini, ditargetkan :

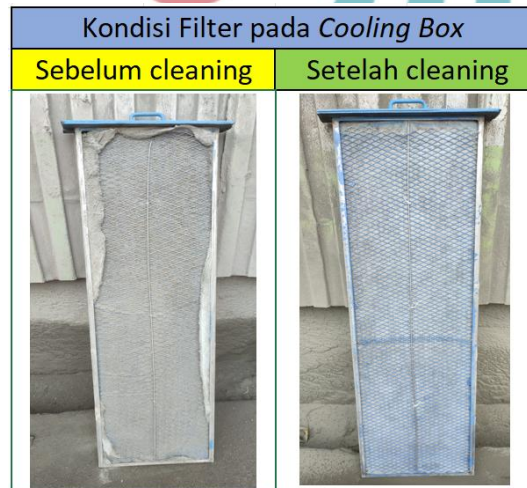
##### 4.1.1 Identifikasi Kondisi Eksisting Motor

Berdasarkan kondisi eksisting di lapangan, sistem pendinginan motor *Main Drive Pre-Grinder* telah menggunakan prinsip *open air cooling system* dengan memanfaatkan *cooling box* sebagai media distribusi udara pendingin menuju motor. Udara pendingin yang digunakan berasal dari lingkungan

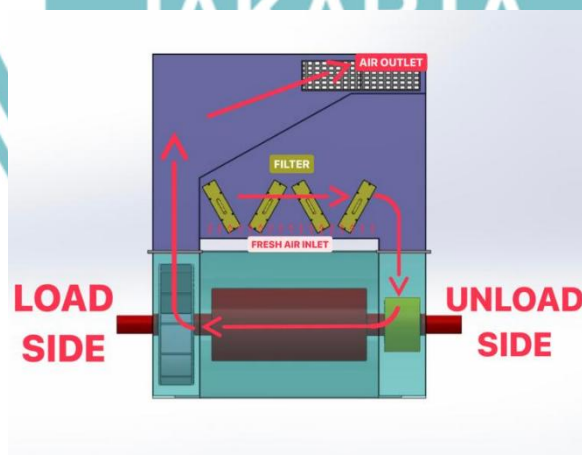
### Hak Cipta:

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

sekitar area *Finish Mill* dan dialirkan ke dalam motor melalui *cooling box* yang terpasang pada sistem pendinginan. Meskipun telah menerapkan sistem pendinginan terbuka, kondisi lingkungan di sekitar *equipment* yang memiliki kandungan debu tinggi menyebabkan kualitas udara pendingin yang masuk ke motor menjadi kurang optimal dan menyebabkan komponen dalam motor menjadi lebih sering dilakukan *maintenance*. Seperti filter yang digunakan untuk menyaring udara pada *cooling box* menjadi cepat kotor dikarenakan kadar debu yang tinggi pada kondisi *intake fresh air* eksisting.



Gambar 4 2 Filter Cooling Box



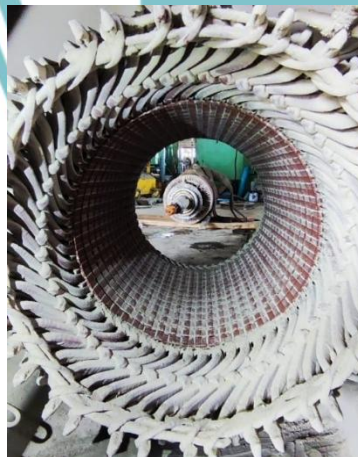
Gambar 4 3 Metode Cooling System Eksisting

**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dalam jangka waktu tertentu, partikel debu tersebut dapat terakumulasi pada filter di *cooling box*, jalur aliran udara, *impeller cooling fan*, *coil motor*, *carbon brush* serta komponen pendingin lainnya. Akumulasi debu dapat menghambat aliran udara, menurunkan efektivitas perpindahan panas, serta meningkatkan frekuensi kegiatan pembersihan dan pemeliharaan pada sistem pendinginan motor.

Kondisi eksisting juga menunjukkan bahwa sumber udara pendingin yang berada di area sekitar *Finish Mill* memiliki tingkat kontaminasi debu yang relatif tinggi. Hal ini menyebabkan komponen internal motor lebih cepat kotor sehingga proses *troubleshooting* maupun inspeksi berkala pada *carbon brush* memerlukan usaha dan waktu yang lebih besar dibandingkan apabila sistem menggunakan udara dengan kualitas yang lebih baik. Semakin sering terjadi penumpukan debu, maka semakin tinggi pula kebutuhan pemeliharaan yang harus dilakukan untuk menjaga performa sistem pendinginan.[12]



Gambar 4 4 Kondisi Komponen Internal Motor Eksisting

Apabila kondisi tersebut dibiarkan dalam jangka panjang, tidak hanya berpotensi menurunkan efektivitas



## © 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

pendinginan motor, tetapi juga dapat meningkatkan beban kerja pemeliharaan, memperpanjang waktu perbaikan saat terjadi gangguan, serta meningkatkan biaya operasional akibat bertambahnya kebutuhan tenaga kerja, peralatan pendukung, dan waktu penghentian operasi, selain itu memungkinkan juga terjadinya *Breakdown* pada motor.

Berikut merupakan beberapa masalah yang pernah terjadi pada motor dengan kondisi eksisting.



Gambar 4 5 Insulation Test indikasi Short to Ground



Gambar 4 6 Coil bar Rotor Insulation terbuka



Gambar 4 7 Insulation Failure



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

#### 4.1.2 *Alternative Design Cooling System Motor*

Berdasarkan hasil analisis kondisi eksisting sistem pendinginan motor *Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MDI*, ditemukan beberapa permasalahan yang berkaitan dengan kualitas udara pendingin, tingginya akumulasi debu pada komponen *internal* motor, serta kesulitan dalam pelaksanaan pemeliharaan. Oleh karena itu, dilakukan kajian terhadap beberapa alternatif desain sistem pendinginan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas pendinginan dan keandalan operasi motor.

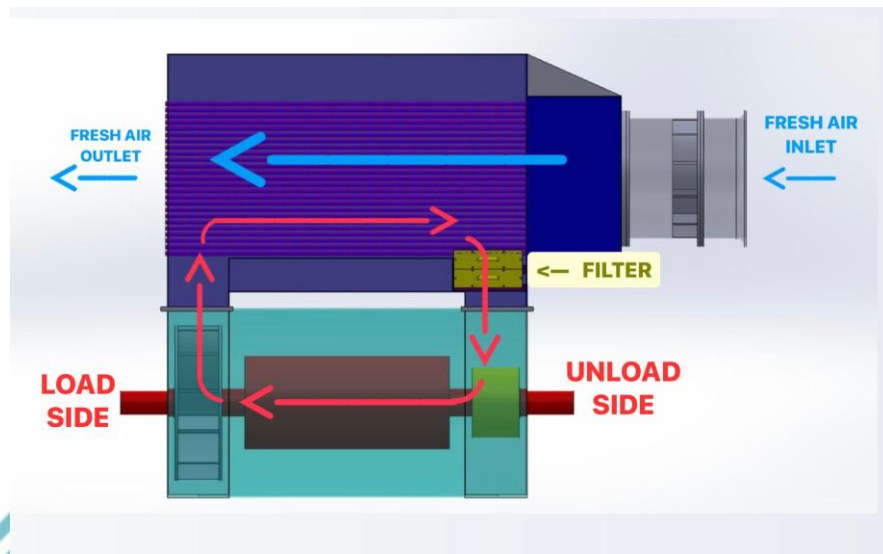
Alternatif desain yang dikaji meliputi modifikasi menjadi *closed loop cooling system*, penggunaan sistem *fresh air intake* dari luar bangunan *Finish Mill* melalui ducting, pembangunan ruang isolasi motor dengan bantuan *chiller*, serta pengadaan motor baru dengan sistem pendinginan tertutup. Masing-masing alternatif dievaluasi berdasarkan aspek teknis, kemudahan implementasi, kebutuhan ruang, biaya investasi, kemudahan pemeliharaan, dan efektivitas pendinginan.

##### 4.1.2.1 *Desain 1 - Closed loop Cooling System*

Alternatif pertama yang dipertimbangkan adalah mengubah sistem pendinginan eksisting menjadi *closed loop cooling system*. Pada sistem ini, udara pendingin bersirkulasi di dalam sistem tertutup sehingga tidak terjadi kontak langsung dengan udara lingkungan yang mengandung partikel debu.[11]

#### 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



Gambar 4 8 rancangan Desain Closed Air Cooling System

Secara teoritis, pendekatan ini berpotensi mengurangi kontaminasi debu pada komponen *internal* motor secara signifikan. Namun demikian, hasil evaluasi terhadap konstruksi motor menunjukkan adanya permasalahan mendasar, yakni ruang antara *slip ring*, *coil*, dan *impeller* tidak dilengkapi sekat pemisah yang memadai. Kondisi ini menyebabkan aliran udara dalam sistem tertutup berpotensi mengakumulasi panas pada sejumlah area tertentu, yang pada akhirnya dapat meningkatkan temperatur komponen *internal* motor.

Di samping itu, pemenuhan persyaratan teknis sistem *closed loop* membutuhkan modifikasi konstruksi *internal* motor yang cukup signifikan, sehingga berpotensi menimbulkan risiko terhadap keandalan motor dalam jangka panjang.

#### 4.1.2.2 Desain 2 - Intake fresh air dari luar bangunan *Finish Mill* menggunakan *Ducting*



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Alternatif kedua adalah memanfaatkan udara segar (*fresh air*) dari luar bangunan *Finish Mill* yang dialirkan menuju *inlet* motor melalui sistem ducting. Udara di luar area produksi pada umumnya memiliki kandungan partikel debu yang jauh lebih rendah dibandingkan udara di dalam gedung, sehingga kualitas udara pendingin yang masuk ke motor dapat ditingkatkan secara signifikan. Kualitas udara pendingin berpengaruh langsung terhadap efektivitas pendinginan dan umur pakai peralatan. Selain itu, udara dengan kandungan kontaminan yang lebih rendah dapat mengurangi laju deposisi partikel pada belitan dan komponen *internal* motor, yang merupakan salah satu penyebab utama kegagalan isolasi pada mesin listrik berputar.[9]

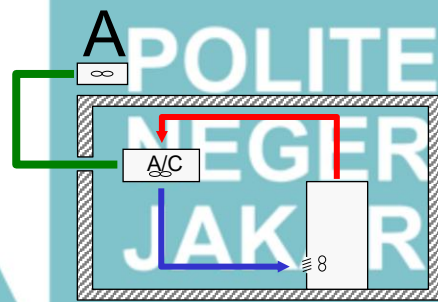
Dari sisi implementasi, alternatif ini tidak memerlukan modifikasi pada konstruksi *internal* motor sehingga risiko terhadap integritas dan keandalan mesin dapat diminimalkan. Penggunaan ducting juga memberikan fleksibilitas dalam penentuan titik pengambilan udara (*air intake point*) pada lokasi yang memiliki kualitas udara lebih baik sekaligus temperatur lebih rendah, kondisi yang secara langsung berkontribusi pada peningkatan efisiensi pendinginan motor. Dari sisi ekonomis, sistem ini tergolong solusi yang efisien karena komponen utama yang dibutuhkan hanya berupa *ducting*, *support structure*, dan beberapa komponen pendukung sehingga biaya investasi awal dapat ditekan.

#### 4.1.2.3 Desain 3 - Pembuatan ruangan Isolasi motor dengan *Chiller* sebagai *Cooling Element* tambahan

**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Alternatif ketiga adalah membangun ruang isolasi khusus (*enclosure room*) di sekitar motor dan mengontrol kondisi lingkungan operasinya menggunakan sistem chiller atau pendingin udara. Pendekatan ini mampu menciptakan lingkungan operasi yang bersih dengan temperatur terkendali, sesuai dengan klasifikasi metode pendinginan mesin listrik yang diatur dalam IEC 60034-6. Pengendalian temperatur lingkungan operasi motor merupakan faktor kritis dalam menjaga performa isolasi belitan, di mana setiap kenaikan temperatur sebesar  $10^{\circ}\text{C}$  di atas batas yang diizinkan dapat mempersingkat umur isolasi hingga setengahnya sesuai dengan *thermal aging law* (Hukum *Arrhenius*). Dengan demikian, lingkungan berpendingin yang terkontrol secara teoritis mampu memperpanjang umur operasional motor secara signifikan.[18]



Gambar 4 9 Layout Isolation room with Chiller

Namun demikian, penerapan alternatif ini menghadapi sejumlah kendala. Keterbatasan area di sekitar motor menjadi hambatan utama yang menyulitkan pembangunan struktur *enclosure* yang memadai. Di samping itu, penggunaan sistem *chiller* memerlukan investasi awal yang substansial serta menambah beban energi dan biaya operasional secara berkelanjutan,



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sehingga perlu dipertimbangkan secara cermat dalam analisis *life cycle cost* (LCC).

#### 4.1.2.4 Desain 4 - Pengadaan Motor Baru dengan *Closed Cooling System*

Alternatif keempat adalah mengganti motor eksisting dengan unit baru yang dirancang menggunakan sistem pendinginan tertutup (*closed cooling system*), atau yang dalam klasifikasi IEC 60034-6 dikenal sebagai metode pendinginan tipe IC W (*water-cooled*) maupun IC A (*air-to-air heat exchanger*). Motor dengan desain *closed cooling system* memiliki keunggulan dalam lingkungan berdebu tinggi karena komponen internal sepenuhnya terisolasi dari udara luar. Tingkat proteksi motor terhadap masuknya partikel padat diatur dalam IEC 60034-5 melalui *Ingress Protection (IP) Code*, di mana motor berpendingin tertutup umumnya memiliki indeks proteksi IC-611 atau lebih tinggi sehingga lebih sesuai untuk kondisi operasi dengan tingkat kontaminan tinggi.[3]

Dari sisi teknis, alternatif ini merupakan solusi yang paling komprehensif karena motor dirancang khusus untuk beroperasi pada lingkungan berdebu sehingga permasalahan kontaminasi dapat diatasi secara fundamental. Namun demikian, terdapat dua kendala utama yang perlu diperhatikan, yaitu biaya pengadaan motor baru yang sangat besar dengan estimasi harga *Motor Medium Voltage 1500 kW* sekitar **Rp. 4.000.000.000,00-(Empat Milyar Rupiah)** serta *lead time* pengadaan yang relatif panjang sekitar 6 bulan untuk



**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

tender pengadaan barang, terutama untuk motor dengan spesifikasi khusus yang umumnya diproduksi secara *made to order*. Kedua faktor ini menjadi pertimbangan kritis apabila terdapat tekanan dari sisi ketersediaan unit (*availability*) dan keberlangsungan produksi.[2]

#### 4.1.3 Perancangan Desain *Intake Fresh Air Dengan System Ducting*

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan upaya pengembangan dan perancangan ulang sistem distribusi udara pendingin tanpa mengubah prinsip dasar *open air cooling system* yang telah digunakan. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah dengan merancang sistem *ducting* yang mengambil sumber udara segar (*fresh air*) dari area luar bangunan *Finish Mill* yang memiliki tingkat kontaminasi debu lebih rendah dibandingkan area di sekitar motor. Selain itu, pada sisi *inlet duct* direncanakan pemasangan filter untuk menyaring partikel debu sebelum udara masuk ke sistem pendinginan motor.

Melalui penerapan sistem *ducting* dan filter tersebut, kualitas udara pendingin yang masuk ke motor diharapkan menjadi lebih bersih sehingga akumulasi debu pada *cooling box*, *impeller*, dan komponen motor lainnya dapat diminimalkan. Berkurangnya penumpukan debu tidak hanya meningkatkan efektivitas proses pendinginan, tetapi juga mendukung efisiensi kegiatan maintenance karena kebutuhan pembersihan, inspeksi, dan *troubleshooting* dapat dikurangi. Dengan kondisi komponen yang lebih bersih dan akses sistem yang lebih terstruktur, proses identifikasi gangguan maupun pekerjaan perawatan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efektif.



**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

Penerapan sistem ini diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem pendinginan motor, mengurangi frekuensi gangguan akibat kontaminasi debu, memperpendek waktu *troubleshooting* dan *downtime* peralatan, serta menekan biaya operasional yang berkaitan dengan kegiatan pemeliharaan. Dengan demikian, sistem pendinginan yang dirancang tidak hanya berfungsi untuk menjaga temperatur operasi motor, tetapi juga berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi maintenance dan kontinuitas proses produksi di PT. Solusi Bangun Indonesia Tbk.

#### 4.1.4 Mengurangi Masalah Eksisting dan *Maintenance Cost Motor*

Dengan adanya perubahan desain, maka diharapkan akan mengurangi permasalahan eksisting motor dan menurunkan biaya perawatan pada motor. Dengan desain terbaru *cooling system* tetap akan menggunakan sebuah *impeller* pada sistemnya sehingga menurunkan biaya rekondisi dan waktu dalam maintenance motornya. Ketika melakukan proses *troubleshooting* saat *equipment* berhenti beroperasi, pihak *maintenance* lebih cepat dalam melakukan prosesnya, seperti pergantian *filter ducting*[7]

#### 4.2 Data Aktual

##### 4.2.1 Definisi Umum dari *Equipment*

Pada PT Solusi Bangun Indonesia Tbk pabrik Cilacap *Pre-grinder* digerakkan oleh *main drive* dengan tipe AC motor yang memiliki daya menengah 1550 kW dengan kecepatan 985 rpm dan dilengkapi *Cooling box*



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

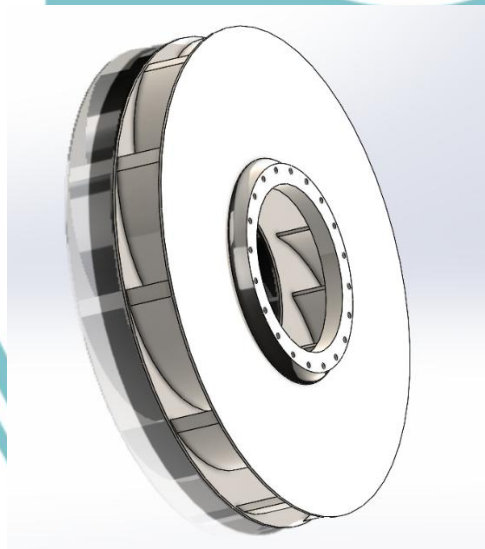
### Hak Cipta:

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

| FUJI ELECTRIC                         |                  |        |           |          |        |
|---------------------------------------|------------------|--------|-----------|----------|--------|
| 3-PHASE INDUCTION MOTOR               |                  |        |           |          |        |
| TYPE                                  | MI3556GR         | FRAME  |           | POLES    | 6      |
| OUTPUT                                | 1550KW           | RATING | CONT.     | INSUL    | F      |
| VOLT                                  | 6000             | A.M.P. | 182       |          |        |
| Hz.                                   | 50               | R.P.M. | 985       |          |        |
| SEC. V                                | 1440             | SEC. A | 655       |          |        |
| JPU 24 JC 0                           |                  |        |           |          |        |
| RULE                                  | JEC-37-1979      | GREASE | ALVANIA 2 |          |        |
| BRG                                   | D-END 6236+NU236 | RE     | 320 g     | INTERVAL |        |
|                                       | N-END NU236      | GRS    | 160 g     |          | 2000 h |
| SER NO.                               | 71038233H01      | MFD.   | 1991      |          |        |
| SK500552 Fuji Electric Co.,Ltd. Japan |                  |        |           |          |        |

Gambar 4 10 Nameplate Aktual Main drive pre-grinder Finish Mill 544 – MD1

Pada motor *main drive pre-grinder* terdapat sebuah *impeller* dengan tipe sentrifugal yang memiliki dimensi 900 mm atau sebesar 35,4331 inci. *Impeller* tersebut mengalirkan udara didalam motor dalam proses *Open Air Cooling*.



Gambar 4 11 Impeller fan Eksisting

*Impeller* pada sistem *Open Air Cooling* berfungsi sebagai penggerak sirkulasi udara pendingin di dalam *body* motor. *Impeller* akan berputar mengikuti putaran poros motor sehingga udara di dalam sistem pendingin dapat terus



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

bersirkulasi melewati bagian-bagian motor yang menghasilkan panas, seperti *stator*, *rotor*, dan *coil*.

Selain menghasilkan aliran udara, *impeller* juga membantu proses perpindahan panas dari komponen motor menuju udara pendingin. Semakin baik sirkulasi udara yang dihasilkan *impeller*, maka proses pelepasan panas dari motor akan semakin optimal. Hal tersebut dapat membantu menjaga temperatur kerja motor tetap stabil serta mencegah terjadinya *overheating* yang dapat menyebabkan penurunan performa maupun kerusakan isolasi motor.

### 4.3 Perhitungan Tugas Akhir

#### 4.3.1 Perhitungan *Impeller Tip Speed*

Perhitungan kecepatan ujung *impeller* (*Impeller Tip Speed*) digunakan untuk mengetahui apakah kecepatan linear pada sisi terluar *impeller fan* bisa digunakan untuk sistem pendingin yang akan digunakan

*Impeller tip speed* dihitung menggunakan persamaan {1} :[6]

$$V_{tip} = \frac{\pi \times D \times N}{60} \quad \{1\}$$
$$V_{tip} = \frac{3,14 \times 900mm \times 985}{60}$$

$$V_{tip} = 46,21 \text{ m/s}$$

#### 4.3.2 Perhitungan Estimasi Kecepatan Udara

Perhitungan menggunakan persamaan :[7]

$$V = 0,3 \times V_{tip} \quad \{2\}$$



**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

Maka perhitungan:[8]

$$V = 0,3 \times 46,21 \text{ m/s}$$

$$V = 13,9 \text{ m/s}$$

Dari hasil perhitungan didapat estimasi kecepatan udara  
13,9 m/s.

#### 4.3.3 Perhitungan Luas Sapuan *Impeller*

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:[6]

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \{3\}$$

Perhitungan:

$$A = \frac{3,14 \times (0,9)^2}{4}$$

$$A = 0,636 \text{ m}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh luas sapuan  
impeller sebesar 0,636 m<sup>2</sup>.

#### 4.3.4 Perhitungan Debit Udara

Setelah memperoleh perhitungan estimasi kecepatan  
udara dilanjutkan dengan *flow rate (Q)* dapat dihitung dengan  
mengalikan kecepatan udara (V) dengan *oulet area* dari  
*impeller (A)*

Perhitungan debit udara dilakukan menggunakan  
persamaan:[8]

$$Q = A \times V \{4\}$$

Perhitungan:



**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

$$Q = 0,636 \text{ m}^2 \times 13,9 \text{ m/s} = 8,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit udara tersebut kemudian dikonversi ke satuan  $\text{m}^3/\text{jam}$ :

$$Q = 8,85 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600$$

$$Q = 31.860 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan demikian, debit udara yang dihasilkan fan sebesar  $8,85 \text{ m}^3/\text{s}$  atau  $31.860 \text{ m}^3/\text{jam}$ .

#### 4.3.5 Perhitungan *Heat Loss Motor*

Motor listrik tidak mampu mengubah seluruh energi listrik yang diterima menjadi energi mekanik. Sebagian energi akan hilang dalam bentuk panas (*heat loss*) akibat rugi-rugi listrik pada belitan, rugi-rugi inti besi, serta rugi-rugi mekanis selama motor beroperasi. Panas yang dihasilkan tersebut harus dilepaskan melalui sistem pendinginan agar temperatur motor tetap berada pada batas operasi yang diizinkan dan tidak menyebabkan penurunan performa maupun kerusakan komponen motor.[2]

Berdasarkan data *nameplate*, motor *Main Drive Pre-Grinder* memiliki daya keluaran sebesar 1550 kW dengan estimasi efisiensi sebesar 95%. Besarnya panas yang dihasilkan motor dihitung berdasarkan selisih antara daya masukan dan daya keluaran motor.

Daya masukan motor dihitung menggunakan Persamaan:

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta}$$



**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

$$P_{in} = \frac{1550}{0,95}$$

$$P_{in} = 1631,58 \text{ kW}$$

Sehingga besarnya *heat loss motor* adalah:

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out}$$

$$P_{loss} = 1631,58 - 1550$$

$$P_{loss} = 81,58 \text{ kW}$$

Dengan hasil perhitungan, diperoleh *heat loss motor* sebesar 81,58 kW

#### 4.3.6 Perhitungan Kebutuhan *Airflow Pendinginan*

Setelah nilai *heat loss* diperoleh, kebutuhan udara pendingin dapat dihitung berdasarkan jumlah panas yang harus dibuang oleh sistem pendinginan. Pada perancangan ini digunakan kenaikan temperatur udara pendingin yang diizinkan sebesar:[14]

$$\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1005 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

maka kebutuhan debit udara pendingin dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{P_{loss}}{\rho \times C_p \times \Delta T} \{6\}$$

Substitusi nilai yang diketahui:

$$Q = \frac{81.580 \text{ W}}{1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1005 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times 15^{\circ}\text{C}}$$

$$Q = 4,51 \text{ m}^3/\text{s}$$

atau jika dikonversi dalam hitungan jam menjadi :



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$Q = 4,51 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600$$

$$Q = 16.236 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### 4.3.7 Perhitungan Luas Penampang *Duct*

Luas penampang *duct* dihitung berdasarkan debit udara yang mengalir ( $Q$ ) dan kecepatan udara di dalam *duct* (*velocity*).

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:[15]

$$A = \frac{Q}{V} \{7\}$$

Maka, diperoleh hasil

$$A = \frac{4,51 \text{ m}^3/\text{s}}{13,9 \text{ m}^2/\text{s}} = 0,32 \text{ m}^2$$

Pada perancangan ini digunakan *duct* berbentuk persegi dengan dimensi  $0,56 \text{ m} \times 0,56 \text{ m}$  dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\sqrt{0,32 \text{ m}^2} = 0,56 \text{ m} \times 0,56 \text{ m}$$

$$A = 560 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}$$

#### 4.3.8 Perhitungan *Diameter Hidrolik*

*Diameter* hidrolik digunakan dalam perhitungan *pressure drop* pada *duct* berbentuk persegi.

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

$$Dh = \frac{2AB}{A + B} \{8\}$$

Dengan:

$$A = 0,560 \text{ mm}$$



**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

$$B = 0,560 \text{ mm}$$

Maka:

$$Dh = \frac{2 \times 560 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}}{560 \text{ mm} + 560 \text{ mm}}$$

$$Dh = \frac{0,6272 \text{ mm}^2}{1.120 \text{ mm}}$$

$$Dh = 560 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh diameter hidrolik sebesar 560mm

#### 4.3.9 Perhitungan *Dynamic Pressure*

Untuk menghitung *pressure drop* yang terjadi pada rancangan *ducting*, diperlukan mencari *dynamic pressure*. Dengan menggunakan persamaan :

$$Pd = \frac{\rho V^2}{2} \{10\}$$

$$Pd = \frac{1,2 \text{ kg/m}^3 \times (13,9 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$Pd = 116 \text{ Pa}$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh *dynamic pressure* sebesar 116 Pa

#### 4.3.10 Perhitungan *Pressure Drop Duct Lurus (Major Loss)*

Major loss diperoleh dengan menghitung *pressure drop* pada *duct* lurus, menggunakan persamaan :

$$\Delta P = f \times \frac{L}{D_h} \times \frac{\rho V^2}{2} \{9\}$$

Maka kita masukkan nilai nilai yang telah diperoleh :



**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

$$\Delta P_{major\ loss} = 0,09 \times \frac{1}{0,56m} \times 116\ Pa$$

$$\Delta P_{major\ loss} = 18,64\ Pa/m$$

Total panjang dari *major loss*  $L = 9,1m$ . Sehingga menghitung *major loss* keseluruhan dari Panjang *duct* lurus :

$$\Delta P_{major\ loss} = 9,1\ m \times 18,64\ Pa$$

$$\Delta P_{major\ loss} = 169,65\ Pa\ \text{atau}\ 170\ Pa$$

Sehingga diperoleh *Major loss* dari perhitungan yang telah dilakukan sebesar 170 Pa

#### 4.3.11 Perhitungan *Pressure Drop Duct Elbow 90° (Minor Loss)*

*Minor loss* pada *pressure drop* adalah kehilangan tekanan yang terjadi akibat perubahan arah atau gangguan aliran fluida di dalam sistem perpipaan atau *ducting*, seperti adanya *reducer*, *elbow*, dan jenis *fitting* lainnya.

*Pressure drop minor loss* diperoleh dari persamaan : [18]

$$\Delta P_{minor\ loss} = K \frac{\rho V^2}{2} \{11\}$$

Nilai *loss coefficient* ( $K$ ) bergantung pada jenis *elbow* yang digunakan. Untuk *elbow 90°* pada *ducting HVAC*, nilai  $K$  umumnya berada pada rentang 0,5. Jumlah *duct elbow* = 2, Sehingga perhitungan diperoleh :

$$\Delta P_{elbow} = 2 \times 0,5 \times 116\ Pa$$

$$\Delta P_{elbow} = 116\ Pa$$

Filter juga termasuk dalam *Minor loss*, jenis filter udara yang akan dipakai yaitu *double inlet pre-filter G4 560mm x 560mm x 6 mm (custom size)* yang secara umum memiliki nilai



**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

*pressure drop* sebesar 150 Pa jika dalam kondisi *clean* dan 300 Pa jika dalam kondisi *load*

$$\Delta P_{\text{minor loss}} = 2 (150 \text{ Pa}) + 116 \text{ Pa}$$

$$\Delta P_{\text{minor loss (clean)}} = 416 \text{ Pa}$$

jika dalam kondisi *filter load*

$$\Delta P_{\text{minor loss (load)}} = 716 \text{ Pa}$$

#### 4.3.12 Perhitungan *External Static Pressure*

Perhitungan *External Static Pressure* (ESP) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$ESP = \Delta P_{\text{major loss}} + \Delta P_{\text{minor loss}} \{12\}$$

$$ESP = 170 \text{ Pa} + 416 \text{ Pa}$$

$$ESP = 586 \text{ Pa}$$

Setelah dilakukan perhitungan total *external static pressure* maka didapatkan total penurunan tekanan udara pada keseluruhan *ducting* yaitu 586 Pa.

#### 4.3.13 Perhitungan *Pressure* yang dihasilkan *impeller*

Berdasarkan data perhitungan yang diperoleh yaitu *Impeller tip speed* dan densitas udara, maka diperoleh *pressure* yang dihasilkan *Impeller fan* dengan menggunakan persamaan :[10]

$$P = \rho \times V_{\text{tip}}^2$$

$$P = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times (46,2 \text{ m/s})^2$$

$$\Delta P = 2586 \text{ Pa}$$



**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

Secara teoritis efisiensi fan hanya 70% dari keseluruhan, sehingga Pressure actual dari Impeller dihitung dengan :

$$P_{Impeller} = 0,7 \times 2586 \text{ Pa}$$

$$P_{Impeller} = 1810 \text{ Pa}$$

Nilai tersebut merupakan estimasi berdasarkan Persamaan *Euler Turbomachinery* yang menghitung tekanan teoritis maksimum dari kecepatan ujung impeller. Setelah dikalikan efisiensi fan sebesar 70%, diperoleh tekanan aktual sekitar 1.810 Pa.

#### 4.3.14 Perbandingan *Pressure impeller* dan ESP

Dengan adanya modifikasi desain dari cooling system terdapat beberapa parameter yang telah diperoleh dari perhitungan guna menentukan apakah *Impeller fan existing* masih mampu untuk menyediakan tekanan untuk desain *cooling system* yang baru, sehingga:

$$P_{Impeller} > ESP$$

$$1810 \text{ Pa} > 586 \text{ Pa (clean)}$$

Atau jika filter dalam kondisi *load*

$$1810 \text{ Pa} > 886 \text{ Pa}$$

Bisa disimpulkan bahwa tekanan yang dihasilkan *Impeller fan* masih mampu dalam menyediakan tekanan untuk desain *Cooling system* yang baru.[19]

#### 4.4 Desain Modifikasi *Intake Fresh Air* Dengan *System Ducting*



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada proyek tugas akhir perancangan ini banyak aspek desain yang diubah terutama pada desain komponen *ducting* yang nantinya akan digunakan.

#### 4.4.1 Desain *Duct* Lurus

*Duct* lurus merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai saluran distribusi udara pendingin dari sumber udara menuju sistem pendingin motor. Pada rancangan ini, *duct* lurus memiliki penampang berbentuk persegi yang disesuaikan dengan hasil perhitungan kebutuhan debit udara dan kecepatan aliran yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya.[20]

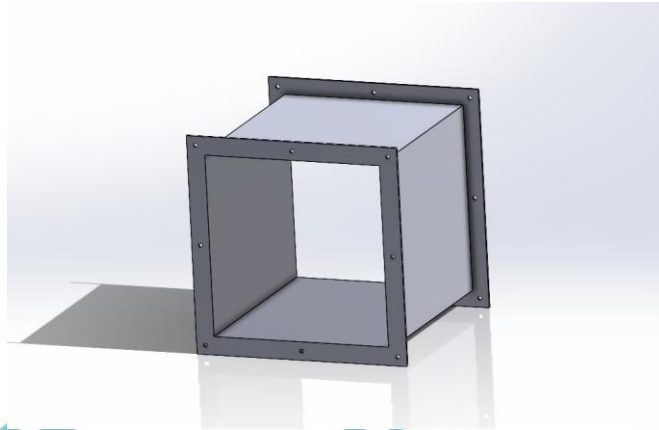
Material yang digunakan adalah *ASTM A36 Steel* dengan ketebalan 6 mm. Pemilihan material tersebut didasarkan pada kemampuannya dalam menahan beban mekanis, kemudahan proses fabrikasi, serta ketahanan yang baik terhadap kondisi lingkungan *Finsih Mill* yang memiliki tingkat debu tinggi. Ketebalan 6 mm dipilih untuk meningkatkan kekakuan struktur *duct* sehingga deformasi akibat getaran peralatan maupun tekanan aliran udara dapat diminimalkan.

Pada kedua sisi *duct* lurus dipasang *flange* yang berfungsi sebagai sambungan antarsegmen *ducting*. Penggunaan *flange* memudahkan proses pemasangan, pembongkaran, dan perawatan sistem *cooling system*. Selain itu, sambungan *flange* memungkinkan setiap komponen *duct* dapat diganti secara individual tanpa perlu membongkar keseluruhan sistem.



**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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.12 Desain Duct Lurus

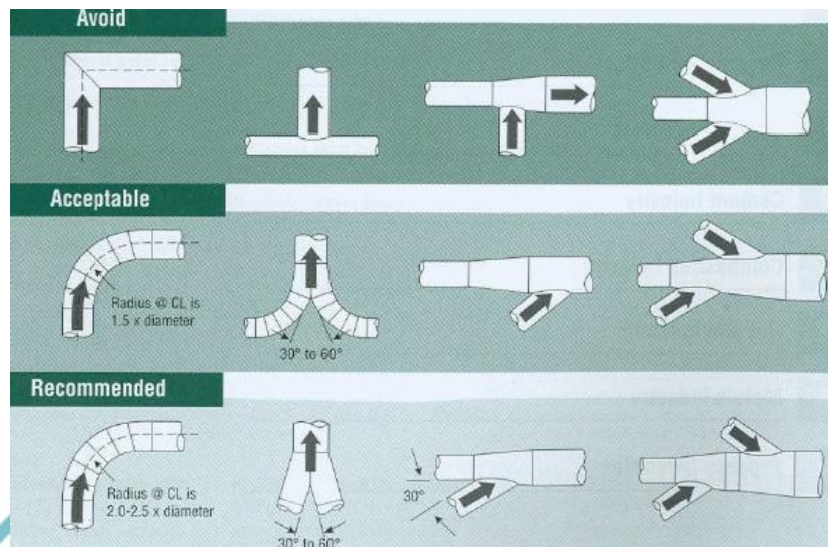
#### 4.4.2 Desain *Elbow Duct*

*Duct elbow 90°* merupakan komponen yang digunakan untuk mengubah arah aliran udara sebesar 90°. Komponen ini diperlukan untuk menyesuaikan jalur instalasi *ducting* dengan kondisi aktual di lapangan, khususnya pada area sekitar motor dan struktur pendukung yang memiliki keterbatasan ruang.[14]

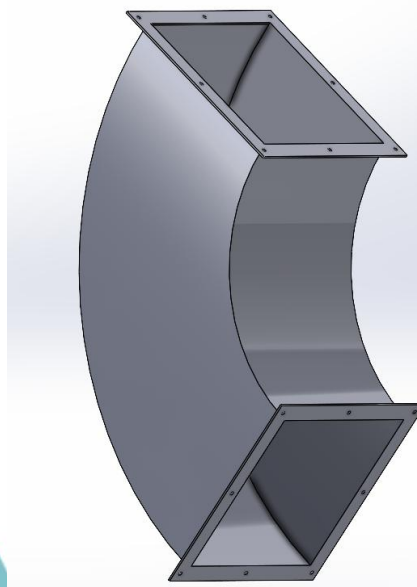
Bentuk *elbow* dirancang menggunakan radius lengkung yang berukuran 200% dimensi lebar *duct* sehingga perubahan arah aliran udara berlangsung secara bertahap. Penggunaan radius lengkung bertujuan untuk mengurangi terjadinya separasi aliran dan turbulensi yang umumnya muncul pada tikungan tajam.[21]

#### 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



Gambar 4 13 Standar untuk Dimensi Elbow Duct



Gambar 4 14 Desain Elbow Duct

#### 4.4.3 Desain *Transition Duct*

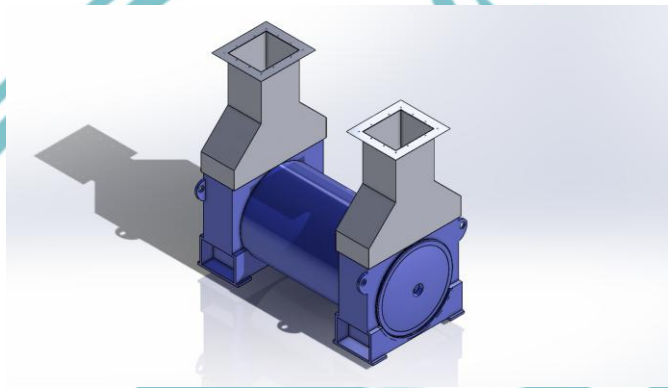
*Transition duct* merupakan komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara ukuran *duct* utama dengan ukuran *inlet* motor. Pada sistem yang dirancang, dimensi *duct* utama berbeda dengan dimensi bukaan masuk (*inlet*) motor, sehingga

**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

diperlukan *transition duct* untuk menyesuaikan perubahan luas penampang aliran udara secara bertahap.

Bentuk *transition duct* dirancang dengan perubahan penampang yang bertahap dari ukuran *duct* menuju ukuran *inlet* motor. Desain ini bertujuan untuk menghindari perubahan kecepatan aliran yang terlalu drastis sehingga turbulensi dan kehilangan tekanan dapat diminimalkan.



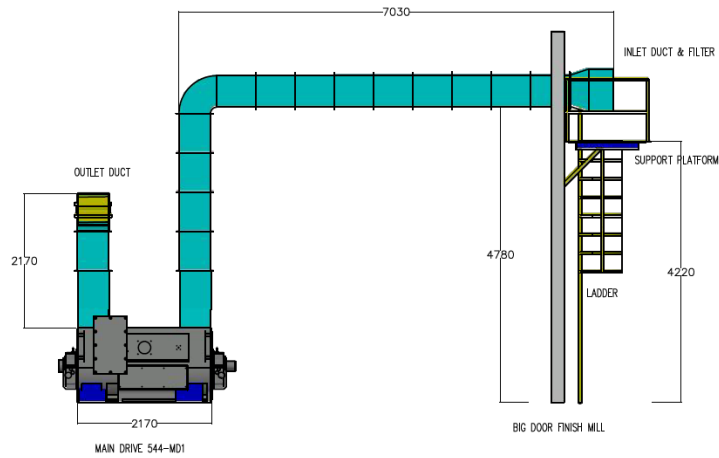
Gambar 4 15 Desain Transition Duct

#### 4.4.4 Layout Ducting

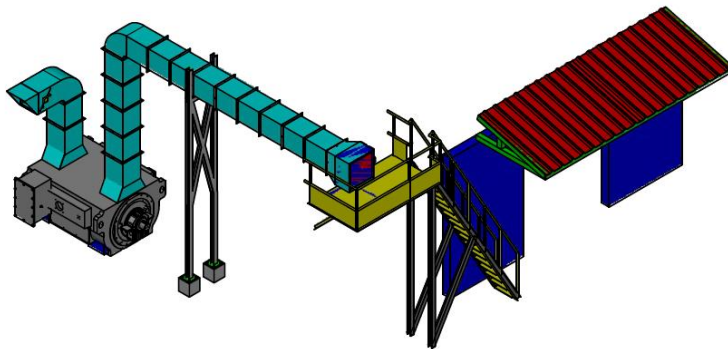
Perancangan *layout ducting* dilakukan berdasarkan kondisi eksisting area *Finish Mill* yang memiliki keterbatasan ruang instalasi serta adanya struktur bangunan yang harus diakomodasi. Untuk memastikan sistem dapat dipasang dan dioperasikan dengan baik, *layout ducting* disusun mengikuti jalur yang paling optimal. Selain itu, ditambahkan *platform* sebagai sarana akses kerja untuk mendukung kegiatan pemeliharaan, khususnya pada saat pelepasan dan penggantian filter *cooling system*. [13]

### Hak Cipta :

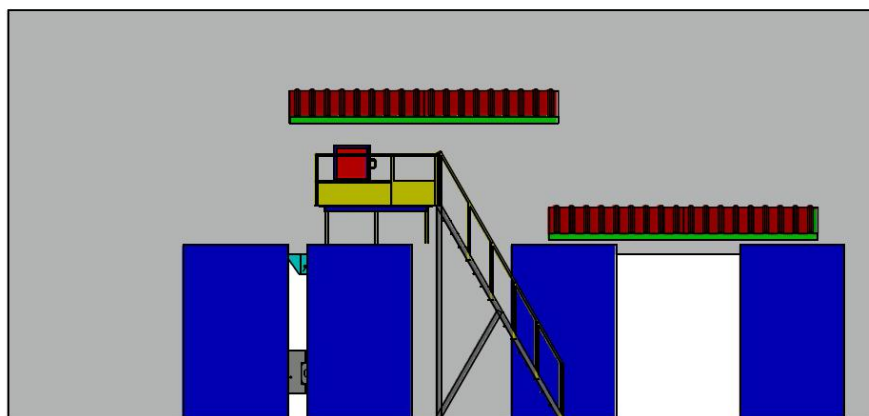
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Gambar 4 16 Layout Ducting 2D



Gambar 4 17 Layout Ducting 3D



Gambar 4 18 Layout Platform

## 4.5 Lokasi Pemasangan Cooling System



## © 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

Desain *cooling system* baru nantinya akan menggantikan *cooling box* lama. Di mana lokasi pemasangan sistem ini akan diganti, pada desain eksisting *cooling system diinstal* di atas *body motor main drive* yang akan digantikan menjulang dari *body motor* menuju sisi luar bangunan *Finish Mill*. Pada perubahan desain ini tentunya terdapat beberapa penyesuaian tambahan seperti *support ducting* dan *Platform* untuk dilakukan pergantian filter jika sudah dalam kondisi *Load* atau kotor



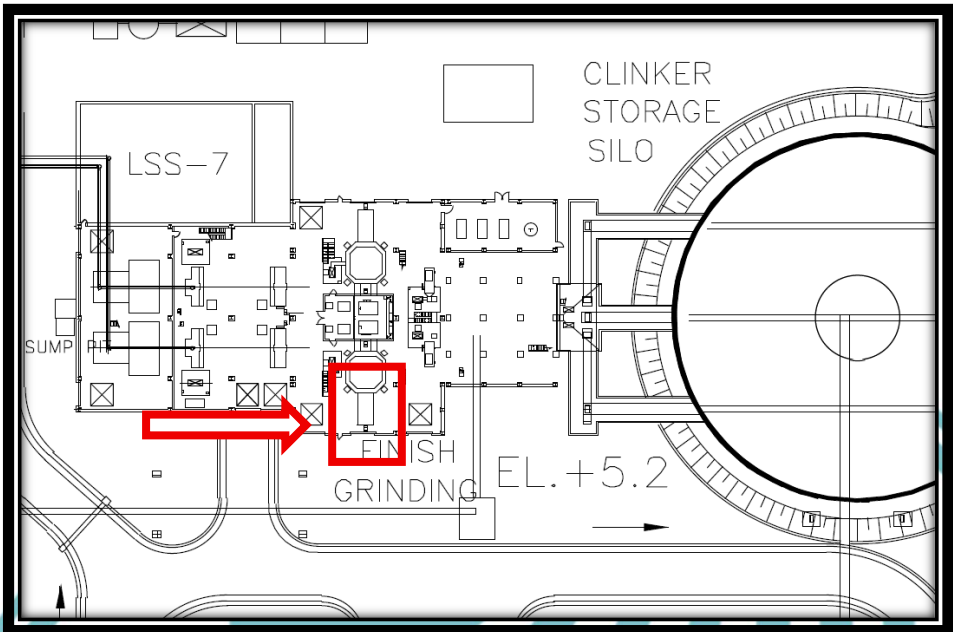
Gambar 4 19 Lokasi Pemasangan Cooling System



## © 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



Gambar 4 20 Lokasi Pemasangan Cooling System dalam Drawing Layout CC2



Gambar 4 21 Illustrasi Pemasangan Platform



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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## 4.6 Saving Cost

### 4.6.1 Biaya Rekondisi Motor *Existing*

Pada data dari *software SAP* PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Plant Cilacap menampilkan *record* rekondisi motor pada *main drive pre grinder 544-MD1 finish mill* Jalur 2, selama 10 tahun terakhir.

Tabel 4.1 History Work Order Rekondisi Motor 544-MD1

| Main WorkCtr | Bas. start date | Order        | Functional Loc | Description                              | TotalPlnndCosts | Total act.costs |
|--------------|-----------------|--------------|----------------|------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| CC.EL-03     | 03/20/2019      | 150001279034 | CC.544-RM1     | Rekondisi motor 544-MD1 1550 kW / 6.3kV  | 69.945.038      | 66.626.000      |
| CC.EL-03     | 02/24/2023      | 150001442144 | CC.544-RM1     | *1D*544-RM1 Instalasi Motor              | 0               | 0               |
| CC.EL-03     | 10/23/2023      | 150001441595 | CC.544-RM1     | 544-MD1 Refurbish AC Motor 1550KW-6.3KV  | 450.101.810     | 379.560.450     |
| CC.EL-03     | 01/16/2024      | 150001479057 | CC.544-RM1     | 544-RM1 Assembly&rekondisi motor exVmill | 15.821.493      | 15.821.493      |
| CC.EL-03     | 10/07/2024      | 150001482192 | CC.544-RM1     | 544-MD1 modif Cooling system motor Fuji  | 693.612         | 0               |

Berdasarkan data *histori work order* yang diperoleh dari sistem SAP, terdapat beberapa pekerjaan perbaikan dan rekondisi pada motor *main drive pre-grinder finish mill* jalur 2 selama periode 10 tahun terakhir. Pekerjaan tersebut dilakukan untuk mengatasi berbagai permasalahan yang terjadi pada motor akibat menurunnya performa sistem pendinginan. Dari data tersebut, total biaya aktual yang telah dikeluarkan perusahaan untuk kegiatan perbaikan dan rekondisi motor selama 10 tahun terakhir mencapai **Rp 462.007.943,00**.

Rekondisi motor biasanya dilakukan 2 kali setiap 5 tahun dalam kondisi eksisting, sehingga dalam 10 tahun dilakukan 4 kali rekondisi motor.

Dengan penggantian *cooling system* menggunakan *ducting*, diharapkan dapat meminimalisir frekuensi rekondisi motor sebesar 50% dari kondisi eksisting atau yang awalnya 2 kali dalam 5 tahun, menjadi sekali setiap 5 tahun. Sehingga *Saving cost* dapat dihitung dengan :[7]



#### 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

#### Saving Cost rekondisi motor

$$= \frac{50}{100} \times \text{Rp } 462.007.943,00$$

$$\text{Saving Cost rekondisi motor} = \text{Rp } 231.003.971,00$$

#### 4.6.2 Biaya Pergantian Komponen Pendingin

Terdapat beberapa pekerjaan *cleaning* filter dan penggantian *carbon brush* pada motor *main drive pre-grinder* selama 10 tahun terakhir. Pekerjaan tersebut dilakukan untuk menjaga performa sistem pendinginan motor serta memastikan proses pendinginan tetap berjalan dengan baik.

Tabel 4 2 History Work Order Pergantian Filter dan Carbon Brush

| Main WorkCtn | Bas. start date | Order        | Functional Loc. | Description                                | TotalPlnndCosts | Total act.costs |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| CC.EL-03     | 12/27/2018      | 150001255385 | CC.544-RM1      | 544-RM1, Carbon brush Motor pendek         | 12.600.000      | 9.999.990       |
| CC.EL-03     | 11/16/2020      | 150001347636 | CC.544-RM1      | Penggantian carbon brush 544-MD1           | 9.720.000       | 9.720.000       |
| CC.EL-03     | 11/18/2021      | 150001392171 | CC.544-RM1      | *PMS* 544-MD1 check dan cleaning CB        | 693.640         | 693.640         |
| CC.EL-03     | 06/23/2022      | 150001402278 | CC.544-RM1      | *PMS*544-MD1 Replace Carbon brush          | 27.128.440      | 27.128.440      |
| CC.EL-03     | 09/06/2022      | 150001421797 | CC.544-RM1      | *PMS* 544-MD1 Check & cleaning CB          | 501.720         | 501.720         |
| CC.EL-03     | 04/06/2023      | 150001444918 | CC.544-RM1      | *PMS*544-MD1 Pengecekan brush              | 0               | 405.804         |
| CC.EL-03     | 04/24/2023      | 150001448196 | CC.544-RM1      | *OH*544-MD1 check & cleaning CB motor      | 0               | 405.804         |
| CC.EL-03     | 07/17/2023      | 150001456928 | CC.544-RM1      | *1D*544-MD1 Replace carbon brush           | 5.500.000       | 5.500.000       |
| CC.EL-03     | 08/10/2023      | 150001457208 | CC.544-RM1      | 544-MD1. TMG Cek, Cleaning CB              | 0               | 202.902         |
| CC.EL-03     | 11/02/2023      | 150001468802 | CC.544-RM1      | *PMS*544-MD1, Cek/ganti CB                 | 0               | 405.804         |
| CC.EL-03     | 12/14/2023      | 150001475533 | CC.544-RM1      | *PMS*544-MD1 Cek&clean carbon brush        | 0               | 710.157         |
| CC.EL-03     | 01/15/2024      | 150001467792 | CC.544-RM1      | PMS*544-MD1 Replace carbon brush           | 16.706.911      | 16.706.911      |
| CC.EL-03     | 05/14/2024      | 150001492768 | CC.544-RM1      | 544-MD1 Clean up motor filter              | 606.911         | 606.911         |
| CC.EL-03     | 06/20/2024      | 150001498028 | CC.544-RM1      | *1D*544-MD1 Cleaning filter&cek CB         | 0               | 0               |
| CC.EL-03     | 09/03/2024      | 150001485352 | CC.544-RM1      | PMS*544-MD1 Modif pintu CB-engsel          | 693.612         | 693.612         |
| CC.EL-03     | 01/30/2025      | 150001525510 | CC.544-RM1      | *PMS*544-MD1 Cleaning carbon brush         | 417.386         | 417.386         |
| CC.EL-03     | 08/05/2025      | 150001548379 | CC.544-RM1      | 544-MD1 perbaikan carbon brush             | 834.772         | 834.772         |
| CC.EL-03     | 08/12/2025      | 150001541724 | CC.544-RM1      | *PMS*544-MD1 c brush, r starter, pasang IR | 1.565.198       | 1.565.198       |
| CC.EL-03     | 01/07/2026      | 150001561010 | CC.544-RM1      | *OHFM2*544-MD1 perbaikan,ganti c-brush     | 121.715         | 121.715         |

Berdasarkan data histori *work order* yang diperoleh dari sistem *SAP*, total biaya aktual yang dikeluarkan untuk kegiatan *cleaning* filter dan penggantian *carbon brush* mencapai **Rp 76.620.766,00**.

Dengan penggantian *cooling system* menggunakan *ducting*, diharapkan dapat meminimalisir frekuensi pergantian filter dan *carbon brush* sebesar 50% dari kondisi eksisting. Sehingga *Saving cost* dapat dihitung dengan :

$$\text{Saving Cost part} = \frac{50}{100} \times \text{Rp } 76.620.766,00$$



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

$$\text{Saving Cost part} = \text{Rp } 38.310.383,00$$

#### 4.6.3 Total Saving Cost

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh total *saving cost* dari biaya rekondisi motor serta biaya *cleaning* filter dan penggantian *carbon brush*. Nilai penghematan tersebut kita gabungkan sehingga memperoleh nilai *Total Saving Cost* dengan perhitungan :

$$\text{Total Saving Cost} = \text{Saving cost rekondisi} + \text{Saving cost part}$$

$$\text{Total Saving Cost}$$

$$= \text{Rp } 231.003.971,00$$

$$+ \text{Rp } 38.310.383,00$$

$$\text{Total Saving Cost} = \text{Rp } 269.314.354,00$$

Hasil ini menunjukkan bahwa rancangan *cooling system* yang baru akan memberikan manfaat teknis berupa peningkatan keandalan dan umur pakai motor, dan juga memberikan manfaat ekonomis yang signifikan melalui pengurangan biaya pemeliharaan pada periode operasional berikutnya.

#### 4.7 Perencanaan Biaya

Berdasarkan data perhitungan, serta *drawing* yang telah dibuat, maka dapat diperoleh data material yang dibutuhkan pada proyek perancangan desain *cooling system maindrive pregrinder Finish Mill* . Total *budget* yang dibutuhkan sebanyak **Rp 269.314.354,00** Detail daftar material terdapat pada tabel berikut.



## © 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

Tabel 4 3 Perencanaan Biaya Fabrikasi Rancangan Cooling System

| No  | Description                                              | MMID         | Requirement |       | PRICE per Unit   | Total PRICE     | Remarks |
|-----|----------------------------------------------------------|--------------|-------------|-------|------------------|-----------------|---------|
|     |                                                          |              | Qty         | Unit  |                  |                 |         |
| I   | PREPARATION                                              |              |             |       |                  |                 |         |
|     | A. FABRICATION PLATFORM                                  |              |             |       |                  |                 |         |
| 1   | EXPANDED METAL; 1200MMWX2400MML; G3045                   | 455000008925 | 4           | Sheet | Rp 406.238,00    | Rp 1.624.952,00 |         |
| 2   | PIPE ST; DN20; S40; 6M; TE; GLV; WLD; GR. A              | 450000007517 | 4           | Sheet | Rp 266.023,00    | Rp 1.064.092,00 |         |
| 3   | WELD ROD; 3 2MM DIA; KOBE; LB-52U                        | 450000013626 | 5           | Box   | Rp 215.195,00    | Rp 1.075.975,00 |         |
| 4   | OXYGEN O2                                                | 450000007370 | 2           | Bot   | Rp 40.000,00     | Rp 80.000,00    |         |
| 5   | ACETYLENE (C2 H2) @ 5KGS/CYL C2H2                        | 450000007383 | 2           | Bot   | Rp 230.000,00    | Rp 460.000,00   |         |
| 6   | CHANNEL; 150X65X7X 6000 L; STEEL                         | 450000007619 | 4           | Ea    | Rp 1.653.872,00  | Rp 6.615.488,00 |         |
| 7   | MAN POWER                                                |              | 168         | Hour  | Rp 30.872,00     | Rp20.745.984,00 | 4 Orang |
|     | B. FABRICATION OF DUCTING AND FITTING                    |              |             |       |                  |                 |         |
| 1   | PLATE; STEEL; 1200MM W; 2250MM LG; 4MM T                 | 450000014289 | 2           | Sheet | Rp 1.764.000,00  | Rp 3.528.000,00 |         |
| 2   | PLATE; STEEL; 1200MM W; 2400MM LG; 6MM T                 | 450000007533 | 10          | Sheet | Rp 2.128.921,00  | Rp21.289.210,00 |         |
| 3   | PLATE; STEEL; 1500MM W; 3000MM LG; 8MM T                 | 450000012638 | 4           | Sheet | Rp 2.944.715,00  | Rp11.778.860,00 |         |
| 4   | WELD ROD; 3 2MM DIA; KOBE; LB-52U                        | 450000013626 | 4           | Box   | Rp 215.195,00    | Rp 860.780,00   |         |
| 5   | OXYGEN O2                                                | 450000007370 | 2           | Bot   | Rp 40.000,00     | Rp 80.000,00    |         |
| 6   | ACETYLENE (C2 H2) @ 5KGS/CYL C2H2                        | 450000007383 | 2           | Bot   | Rp 230.000,00    | Rp 460.000,00   |         |
| 7   | BOLT & NUT; M10; 20MM LG; DIN931; GRADE 8.8              | 450000009981 | 16          | Ea    | Rp 1.166,00      | Rp 18.656,00    |         |
| 8   | BOLT & NUT; M12; 20MM LG; DIN931; GRADE 8.8              | 450000009988 | 128         | Ea    | Rp 1.801,00      | Rp 230.528,00   |         |
| 9   | MAN POWER                                                |              | 168         | Hour  | Rp 30.872,00     | Rp31.118.976,00 | 6 Orang |
| II  | INSTALLATION                                             |              |             |       |                  |                 |         |
| 1   | Transport and Tools                                      |              | 1           | Lot   |                  |                 |         |
| 2   | Safety Coordination & Communication                      |              | 1           | Lot   |                  |                 |         |
| 3   | Time Schedule                                            |              | 1           | Lot   |                  |                 |         |
| 4   | Erections                                                |              | 1           | Lot   | Rp 45.000.000,00 | Rp45.000.000,00 |         |
| III | FINISHING AND LAND CLEARING AREA                         |              |             |       |                  |                 |         |
| 1   | Cleaning and transport ex Material Project to Scrap yard |              |             |       |                  |                 |         |
| 2   | Painting                                                 |              | 1           | Lot   | Rp 4.000.000,00  | Rp 4.000.000,00 |         |
|     | GRAND TOTAL                                              | Rp           |             |       |                  | 150.031.501,00  |         |

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA