



Available online at <http://prosiding.pnj.ac.id>
Prosiding A/B Seminar Nasional Teknik Mesin
Politeknik Negeri Jakarta (2026), p1-p10

Perancangan Desain *Cooling System* *Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544 – MD1*

Rio Oktora Difandra¹, Budi Yuwono², Rosidi³, Mungalim^{4*}

¹Program Studi D3 Teknik Mesin Konsentrasi Rekayasa Industri Semen, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

^{2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

⁴Electrical Engineer, PT Solusi Bangun Indonesia Tbk., Padaramai, Kec. Cilacap Utara, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah 53234

*Corresponding author E-mail address: rio.oktora.difandra.tn23@stu.pnj.ac.id

budi.yuwono@mesin.pnj, rosidi@mesin.pnj

rosidi@mesin.pnj

Abstrak

Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544–MD1 merupakan peralatan kritis pada proses produksi semen di PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap yang berfungsi sebagai penggerak utama grinding table pada tahap pre-grinding sebelum material memasuki Ball Mill. Sistem pendinginan eksisting masih memanfaatkan udara dari area Finish Mill yang memiliki konsentrasi debu tinggi sehingga menyebabkan akumulasi partikel pada coil, carbon brush, slip ring, dan jalur aliran udara pendingin. Kondisi tersebut menurunkan efektivitas perpindahan panas, meningkatkan temperatur operasi motor, serta memperbesar frekuensi dan biaya pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pendinginan berbasis fresh air intake menggunakan ducting yang mengalirkan udara dari luar bangunan Finish Mill menuju inlet motor. Metode penelitian meliputi identifikasi kondisi eksisting, evaluasi beberapa alternatif desain, pengumpulan data spesifikasi motor dan impeller, serta perhitungan teknik yang mencakup kapasitas aliran udara (airflow), kehilangan tekanan (pressure drop), dan external static pressure (ESP) sebagai dasar validasi rancangan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa impeller sentrifugal eksisting berdiameter 900 mm dengan putaran 985 rpm mampu menghasilkan debit udara sebesar 8,85 m³/s, lebih besar dibandingkan kebutuhan pendinginan motor sebesar 4,51 m³/s, sehingga sistem ducting yang dirancang dapat dioperasikan tanpa penambahan kipas eksternal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan open-loop cooling system berbasis fresh air intake mampu meningkatkan kualitas udara pendingin, mengurangi potensi kontaminasi debu pada komponen internal motor, serta menjadi solusi yang layak secara teknis dan ekonomis untuk meningkatkan keandalan operasi Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544–MD1.

Kata-kata kunci: *Cooling system, fresh air intake, ducting, medium voltage motor, Pre-Grinder Finish Mill.*

Abstract

The Main Drive of Pre-Grinder Finish Mill 544–MD1 is a critical component in the cement production process at PT Solusi Bangun Indonesia Tbk., Cilacap Plant, serving as the primary drive for the grinding table during the pre-grinding stage before the material enters the Ball Mill. The existing cooling system draws cooling air directly from the Finish Mill environment, which contains a high concentration of cement dust. Consequently, dust particles accumulate on internal motor components, including the stator coil, carbon brushes, slip rings, and cooling passages, thereby reducing heat transfer effectiveness, increasing operating temperature, and raising maintenance frequency and costs. This study aims to design a fresh-air-intake-based cooling system using a ducting system that supplies clean air from outside the Finish Mill building to the motor inlet. The research

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



methodology consisted of identifying the existing operating conditions, evaluating alternative cooling concepts, collecting motor and impeller specifications, and validating the proposed design through engineering calculations, including airflow capacity, pressure drop, and external static pressure (ESP). The calculation results indicate that the existing centrifugal impeller, with a diameter of 900 mm operating at 985 rpm, is capable of delivering an airflow rate of $8.85 \text{ m}^3/\text{s}$, exceeding the motor cooling requirement of $4.51 \text{ m}^3/\text{s}$. Therefore, the proposed ducting system can operate without requiring an additional external fan. The proposed open-loop cooling system utilizing fresh air intake is expected to improve cooling air quality, reduce dust contamination inside the motor, and provide a technically feasible and cost-effective solution for enhancing the reliability of the Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1.

Keywords: Cooling system, ducting, Main Drive, Pre-Grinder

PENDAHULUAN

PT Semen Bangun Indonesia Tbk. merupakan salah satu industri semen yang mengoperasikan berbagai peralatan mekanis dan listrik berkapasitas besar secara kontinu untuk mendukung proses produksi. Salah satu peralatan kritis pada area Finish Mill adalah Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1 yang berfungsi sebagai penggerak utama grinding table dalam proses pengecilan ukuran material sebelum memasuki Ball Mill. Keandalan motor ini sangat berpengaruh terhadap kontinuitas produksi karena mampu mendukung feed rate Ball Mill hingga 200 ton/jam. Gangguan pada motor dapat menyebabkan penghentian proses produksi dan menurunkan availability peralatan.

Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1 merupakan motor medium voltage berkapasitas 1.550 kW yang beroperasi secara kontinu dalam lingkungan industri dengan tingkat debu tinggi. Selama beroperasi, motor menghasilkan panas akibat rugi-rugi listrik dan mekanis yang harus dilepaskan melalui sistem pendinginan. Apabila proses pelepasan panas tidak berlangsung secara efektif, temperatur operasi motor akan meningkat sehingga mempercepat degradasi isolasi belitan, menurunkan umur pakai komponen, dan meningkatkan risiko kegagalan operasi. Menurut IEC 60034, kenaikan temperatur yang melebihi batas desain dapat mempercepat penuaan sistem isolasi dan mengurangi keandalan motor listrik.

Pada kondisi eksisting, sistem pendinginan motor masih menggunakan prinsip open air cooling system dengan mengambil udara langsung dari area Finish Mill. Lingkungan operasi tersebut memiliki konsentrasi debu yang tinggi akibat aktivitas penggilingan dan transportasi material semen. Partikel debu yang terbawa bersama udara pendingin berpotensi mengendap pada coil stator, carbon brush, slip ring, impeller fan, dan jalur aliran udara sehingga menghambat perpindahan panas dan menurunkan efektivitas pendinginan. Berdasarkan data pemeliharaan, motor pernah mengalami breakdown yang mengakibatkan penghentian operasi Pre-Grinder. Hasil inspeksi menunjukkan adanya kegagalan isolasi stator (short to ground), terbukanya rotor insulation, serta kerusakan sistem isolasi yang mengharuskan motor direkondisi di workshop.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas peningkatan performa pendinginan motor listrik melalui berbagai pendekatan, seperti penggunaan closed-loop cooling system, penerapan heat exchanger, optimasi ventilasi internal motor, serta pemanfaatan sistem HVAC untuk mengontrol temperatur ruang peralatan. Sistem pendinginan tertutup mampu mengurangi kontaminasi lingkungan terhadap komponen internal motor, namun membutuhkan investasi yang lebih besar serta modifikasi konstruksi yang lebih kompleks. Pada aplikasi industri berat, penggunaan enclosure room dengan sistem pendingin udara juga telah diterapkan untuk meningkatkan kualitas udara pendingin, meskipun membutuhkan ruang instalasi yang luas dan biaya operasional yang relatif tinggi.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas sistem pendinginan motor listrik, kajian mengenai optimalisasi pendinginan motor medium voltage pada industri semen melalui pendekatan fresh air intake menggunakan ducting masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian berfokus pada modifikasi sistem pendinginan internal atau penggunaan peralatan tambahan seperti heat exchanger dan external fan. Selain itu, masih sedikit penelitian yang mengevaluasi kemampuan impeller eksisting sebagai

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

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



sumber penggerak aliran udara pada sistem pendinginan yang dimodifikasi tanpa penambahan fan eksternal.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan pendekatan perancangan cooling system berbasis fresh air intake dengan memanfaatkan udara dari luar bangunan Finish Mill melalui sistem ducting. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, rancangan yang diusulkan mempertahankan impeller sebagai penggerak utama aliran udara sehingga tidak memerlukan penambahan external fan maupun modifikasi internal motor. Validasi desain dilakukan melalui analisis kebutuhan pendinginan motor, perhitungan airflow, pressure drop, dan external static pressure (ESP) untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang mampu beroperasi secara efektif dan layak diterapkan pada kondisi aktual industri semen.

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pendinginan berbasis fresh air intake untuk Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1 yang mampu menyediakan udara pendingin dengan kualitas lebih baik, mengurangi potensi kontaminasi debu pada komponen internal motor, serta meningkatkan keamanan operasi peralatan tanpa memerlukan perubahan konstruksi utama pada motor.

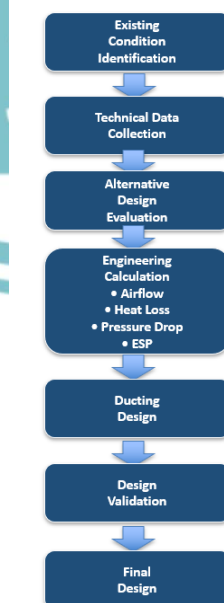
METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada tugas akhir ini disusun secara sistematis agar proses perancangan *cooling system Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1* berjalan terarah, mulai dari identifikasi permasalahan hingga diperolehnya desain akhir yang siap diimplementasikan.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di area *Main Drive Motor Pre-Grinder Finish Mill* jalur 2, PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Lokasi ini dipilih karena merupakan area terjadinya permasalahan kontaminasi debu pada sistem pendinginan motor yang menjadi objek penelitian.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

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



METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa (*engineering design*) yang bertujuan merancang sistem pendinginan Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544–MD1 berbasis *fresh air intake*. Penelitian dilaksanakan di area Finish Mill Jalur 2 PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap dengan objek penelitian berupa sistem pendinginan motor medium voltage berkapasitas 1.550 kW.

Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan, studi dokumentasi, studi literatur, dan diskusi dengan personel terkait. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting sistem pendinginan, tata letak instalasi, dimensi ruang pemasangan, serta kondisi aktual komponen internal motor. Dokumentasi teknis yang digunakan meliputi spesifikasi nameplate motor, dimensi impeller, gambar layout, dan data riwayat pemeliharaan (work order) dari sistem SAP. Studi literatur dilakukan menggunakan standar IEC 60034, ASHRAE Handbook, SMACNA HVAC Duct Design, buku HVAC, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem pendinginan motor listrik dan perancangan ducting.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi kondisi eksisting sistem pendinginan Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544–MD1 beserta permasalahan yang terjadi akibat tingginya kontaminasi debu pada udara pendingin.
2. Mengevaluasi beberapa alternatif desain sistem pendinginan berdasarkan aspek teknis, kebutuhan ruang instalasi, biaya investasi, kemudahan implementasi, serta kemudahan pemeliharaan untuk menentukan desain yang paling layak diterapkan.
3. Mengumpulkan data teknis yang meliputi spesifikasi motor, dimensi impeller, putaran motor, dimensi ducting, kondisi area pemasangan, dan data historis pemeliharaan sebagai dasar proses perancangan.
4. Melakukan perhitungan teknik yang meliputi impeller tip speed, estimasi kecepatan udara, debit udara pendingin (*airflow*), kebutuhan pendinginan berdasarkan heat loss motor, dimensi ducting, pressure drop pada duct lurus (*major loss*), pressure drop pada elbow dan fitting (*minor loss*), serta external static pressure (ESP).
5. Menyusun rancangan sistem ducting berdasarkan hasil perhitungan teknik kemudian memvalidasi kelayakan desain dengan membandingkan kapasitas udara yang dihasilkan impeller terhadap kebutuhan pendinginan motor serta total pressure drop sistem.

Validasi Desain

Validasi rancangan dilakukan menggunakan pendekatan analitis melalui perbandingan antara kapasitas aliran udara yang dihasilkan impeller eksisting dengan kebutuhan pendinginan motor berdasarkan perhitungan heat loss. Selain itu dilakukan evaluasi terhadap total pressure drop dan external static pressure (ESP) untuk memastikan bahwa impeller eksisting masih mampu mengalirkan udara pendingin melalui sistem ducting tanpa memerlukan penambahan kipas eksternal. Kriteria keberhasilan rancangan ditentukan apabila kapasitas *airflow* yang tersedia lebih besar daripada kebutuhan pendinginan motor serta pressure drop sistem masih berada dalam kemampuan operasi impeller.

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

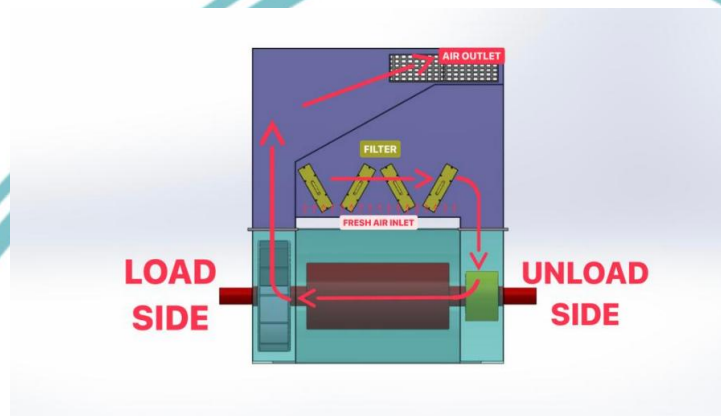
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Kondisi Eksisting

Sistem pendinginan *Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MDI* eksisting menggunakan prinsip *open air cooling system* dengan memanfaatkan *cooling box* sebagai media distribusi udara. Udara pendingin diambil dari lingkungan sekitar area *Finish Mill*, yang memiliki kandungan debu tinggi akibat aktivitas penggilingan. Dalam jangka waktu tertentu, partikel debu terakumulasi pada filter di *cooling box*, menghambat aliran udara, *impeller cooling fan*, *coil motor*, *carbon brush*, dan komponen pendingin lainnya, sehingga menghambat aliran udara dan menurunkan efektivitas perpindahan panas.



Gambar 2. Skema Metode Cooling System Eksisting

Kondisi eksisting menunjukkan bahwa motor pernah mengalami *breakdown* yang mengakibatkan penghentian produksi. Berdasarkan hasil inspeksi, ditemukan kegagalan isolasi stator (*short to ground*), *coil bar rotor insulation* yang terbuka, dan *insulation failure*. Berdasarkan data *work order* dari sistem SAP selama 10 tahun terakhir, total biaya rekondisi motor mencapai Rp 462.007.943,00 dengan frekuensi rekondisi dua kali setiap lima tahun.



Gambar 3. Kondisi Coil Motor Eksisting Akibat Akumulasi Debu

Kajian Alternatif Desain

Empat alternatif desain dikaji untuk mengatasi permasalahan eksisting:

Desain 1 – Closed Loop Cooling System: Mengubah sistem menjadi sirkulasi tertutup. Namun, evaluasi konstruksi motor menunjukkan tidak adanya sekat pemisah yang memadai antara *slip ring*, *coil*, dan *impeller*, sehingga berpotensi mengakumulasi panas pada area tertentu dan memerlukan modifikasi internal yang berisiko.

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

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Desain 2 – *Intake Fresh Air* dari luar bangunan dengan *ducting*: Memanfaatkan udara segar dari luar bangunan yang memiliki kandungan debu lebih rendah. Tidak memerlukan modifikasi internal motor, biaya investasi rendah, dan implementasi praktis.

Desain 3 – Ruang isolasi motor dengan *chiller*: Membangun *enclosure room* dengan pendingin udara. Secara teoritis memberikan perlindungan optimal, namun terkendala keterbatasan area dan biaya operasional tinggi secara berkelanjutan.

Desain 4 – Pengadaan motor baru dengan *closed cooling system*: Solusi paling komprehensif namun memiliki kendala biaya pengadaan sangat besar (estimasi Rp 4.000.000.000,00) dan *lead time* pengadaan sekitar enam bulan.

Berdasarkan evaluasi teknis, biaya, dan kemudahan implementasi, Desain 2 dipilih sebagai solusi yang paling sesuai. Desain ini memberikan keseimbangan optimal antara efektivitas pendinginan, biaya investasi, dan kelayakan implementasi tanpa mengganggu integritas konstruksi motor.

Data Aktual Motor

Motor *Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1* memiliki spesifikasi sebagai berikut: daya keluaran 1.550 kW, tegangan kerja *medium voltage*, kecepatan putar 985 RPM. Motor dilengkapi dengan *impeller* tipe sentrifugal berdiameter 900 mm yang berfungsi sebagai penggerak sirkulasi udara pendingin di dalam *body* motor. *Impeller* berputar mengikuti putaran poros motor sehingga udara bersirkulasi melewati bagian-bagian motor yang menghasilkan panas, seperti *stator*, *rotor*, dan *coil*.

FUJI ELECTRIC			
3-PHASE INDUCTION MOTOR			
TYPE	MI3556GR	FRAME	POLES 6
OUTPUT	1550KW	RATING	CONT.
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
	N-END NU236	GRS	160 g
SER NO.	71038233H01	MFD.	1991
SK500552		Fuji Electric Co., Ltd. Japan	

Gambar 4. Nameplate Aktual Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1

Perhitungan Teknis

Perhitungan dilakukan untuk memverifikasi kemampuan *impeller* eksisting dalam memenuhi kebutuhan aliran udara pendingin pada desain baru.

a) *Impeller Tip Speed*

Impeller tip speed dihitung untuk mengetahui kecepatan linear pada sisi terluar *impeller fan* [6]:

$$V_{tip} = \pi \times D \times N / 60 = 3,14 \times 0,9 \text{ m} \times 985 / 60 = 46,21 \text{ m/s}$$

b) *Estimasi Kecepatan dan Debit Udara*

Kecepatan udara diperkirakan sebesar 30% dari *impeller tip speed* [7], dan debit udara diperoleh dari perkalian luas sapuan *impeller* dengan kecepatan udara:

$$V = 0,3 \times 46,21 = 13,9 \text{ m/s}$$

$$A = \pi \times D^2 / 4 = 3,14 \times (0,9)^2 / 4 = 0,636 \text{ m}^2$$

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

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta

$$Q = A \times V = 0,636 \times 13,9 = 8,85 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (31.860 m}^3/\text{jam)}$$

c) Heat Loss Motor dan Kebutuhan Airflow Pendinginan

efisiensi motor sebesar 95%, daya masukan dihitung sebagai $P_{in} = P_{out}/\eta = 1550/0,95 = 1631,58 \text{ kW}$, sehingga *heat loss* motor adalah:

$$P_{loss} = P_{in} - P_{out} = 1631,58 - 1550 = 81,58 \text{ kW}$$

Kebutuhan debit udara pendingin dihitung menggunakan persamaan perpindahan panas [8] dengan $\Delta T = 15^\circ\text{C}$, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$, dan $C_p = 1005 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$:

$$Q = P_{loss} / (\rho \times C_p \times \Delta T) = 81.580 / (1,2 \times 1005 \times 15) = 4,51 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (16.236 m}^3/\text{jam)}$$

Debit udara tersebut menunjukkan bahwa impeller eksisting memiliki kapasitas aliran udara yang cukup besar untuk memenuhi kebutuhan pendinginan motor. Dalam sistem distribusi udara, debit udara merupakan parameter utama yang menentukan kemampuan sistem membawa panas keluar dari komponen motor. Selama kehilangan tekanan pada ducting masih berada dalam batas kemampuan impeller, kapasitas tersebut masih dapat dimanfaatkan tanpa penambahan kipas eksternal.

d) Dimensi Ducting dan Pressure Drop

Dimensi ducting ditentukan berdasarkan debit udara hasil perhitungan sehingga diperoleh luas penampang yang mampu mempertahankan kecepatan aliran sesuai kriteria desain. Selanjutnya dilakukan perhitungan *pressure drop* pada duct lurus (*major loss*) serta fitting (*minor loss*) menggunakan persamaan Darcy–Weisbach dan koefisien kehilangan tekanan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total *pressure drop* sistem masih relatif rendah dibandingkan kemampuan impeller dalam menghasilkan tekanan statis. Berdasarkan pedoman ASHRAE Handbook—Fundamentals dan SMACNA HVAC Systems Duct Design Manual, *pressure drop* yang rendah akan menghasilkan distribusi udara yang lebih stabil serta mengurangi kehilangan energi pada sistem distribusi udara. Dengan demikian, rancangan ducting yang diusulkan masih memenuhi prinsip dasar desain sistem ventilasi industri.

Luas penampang *duct* dihitung berdasarkan debit udara dan kecepatan aliran:

$$A = Q/V = 4,51/13,9 = 0,32 \text{ m}^2 \rightarrow \text{Dimensi duct: } 560 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter hidrolis: } D_h = 2ab/(a+b) = 2(560)(560)/(560+560) = 560 \text{ mm.}$$

$$\text{Dynamic pressure: } P_d = \rho V^2/2 = 1,2 \times (13,9)^2/2 = 116 \text{ Pa.}$$

$$\begin{aligned} \text{Pressure drop duct lurus (major loss, } L = 9,1 \text{ m): } \Delta P &= f \times (L/D_h) \times \rho V^2/2 \\ &= 0,09 \times (9,1/0,56) \times 116 = 170 \text{ Pa [16].} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pressure drop elbow } 90^\circ \text{ (2 buah, } K = 0,5): \Delta P &= 2 \times 0,5 \times 116 \\ &= 116 \text{ Pa. Pressure drop filter (kondisi bersih): } 150 \text{ Pa} \times 2 = 300 \text{ Pa.} \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga minor loss total} = 116 + 300 = 416 \text{ Pa.}$$

e) External Static Pressure dan Verifikasi Impeller

Total *External Static Pressure* (ESP) yang harus diatasi *impeller*:

$$ESP = \Delta P_{major} + \Delta P_{minor} = 170 + 416 = 586 \text{ Pa}$$

Tekanan yang dihasilkan *impeller* (efisiensi fan 70%) berdasarkan persamaan Euler Turbomachinery [10]:

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



$$P_{impeller} = 0,7 \times \rho \times V_{tip}^2 = 0,7 \times 1,2 \times (46,21)^2 = 1.810 \text{ Pa}$$

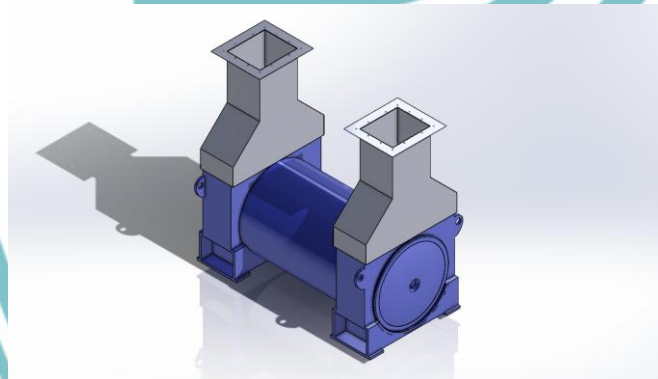
Karena $P_{impeller}$ (1.810 Pa) > ESP (586 Pa kondisi bersih; 886 Pa kondisi filter kotor), *impeller* eksisting dinyatakan mampu mengatasi seluruh hambatan sistem *ducting* yang dirancang tanpa memerlukan penambahan fan eksternal.

Desain Komponen Ducting

Desain sistem *ducting* terdiri dari tiga komponen utama. Pertama, *duct* lurus berbahan ASTM A36 Steel tebal 10 mm dengan penampang persegi 560 mm × 560 mm. Pemilihan material didasarkan pada kemampuan menahan beban mekanis, kemudahan fabrikasi, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan berdebu. Pada kedua sisi *duct* dipasang *flange* untuk memudahkan pemasangan, pembongkaran, dan perawatan.

Kedua, *duct elbow* 90° dirancang dengan radius lengkung sebesar 200% dimensi lebar *duct* untuk mengurangi turbulensi dan separasi aliran. Ketiga, *transition duct* yang berfungsi sebagai penghubung antar *duct* utama dan dimensi *inlet* motor, dengan perubahan penampang yang bertahap untuk meminimalkan kehilangan tekanan.

Layout *ducting* disusun mengikuti jalur optimal yang mempertimbangkan kondisi aktual area *Finish Mill* dan keterbatasan ruang instalasi. Ditambahkan pula *platform* sebagai sarana akses kerja untuk mendukung kegiatan pemeliharaan, khususnya penggantian filter. Sistem baru ini menggantikan *cooling box* lama, dengan instalasi *ducting* yang menjulang dari *body* motor menuju sisi luar bangunan *Finish Mill* berserta *support structure* pendukung.



Gambar 5. Desain 3D Ducting Terpasang pada Main Drive Motor

Analisis Saving Cost

Berdasarkan data histori work order dari sistem SAP PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. selama 10 tahun terakhir, dilakukan analisis penghematan biaya yang diharapkan dari implementasi desain baru.

Tabel 1. Rekapitulasi Saving Cost Implementasi Cooling System Baru

Komponen Biaya	Biaya Eksisting 10 Tahun (Rp)	Saving Cost (Rp)
Rekondisi Motor	462.007.943,00	231.003.971,00
Pergantian Filter & Carbon Brush	76.620.766,00	38.310.383,00
Total	538.628.709,00	269.314.354,00

Dengan penerapan sistem *ducting*, frekuensi rekondisi motor diperkirakan berkurang 50% dari kondisi eksisting, dari dua kali menjadi satu kali setiap lima tahun. Demikian pula frekuensi pergantian filter dan *carbon brush* diperkirakan berkurang 50%. Total *saving cost* yang dapat diperoleh adalah Rp 269.314.354,00 selama 10 tahun ke depan. Angka ini menunjukkan bahwa biaya fabrikasi sistem



ducting yang sebesar Rp 269.314.354,00 (sesuai rencana anggaran) dapat tertutup oleh penghematan biaya perawatan dalam periode yang sama.

KESIMPULAN

Setelah melakukan identifikasi kondisi eksisting, kajian alternatif desain, perhitungan teknis, serta perancangan sistem *ducting*, maka dapat diambil kesimpulan penelitian ini sebagai berikut:

- Kondisi eksisting sistem pendinginan *Main Drive Pre-Grinder Finish Mill 544-MD1* memiliki permasalahan tingginya kontaminasi debu pada udara pendingin yang menyebabkan akumulasi debu pada komponen internal motor, penurunan efektivitas pendinginan, dan tingginya biaya perawatan, dengan total biaya rekondisi mencapai Rp 462.007.943,00 selama 10 tahun terakhir.
- Dari empat alternatif desain yang dikaji, sistem *fresh air intake* berbasis *ducting* dari luar bangunan *Finish Mill* dipilih sebagai solusi terbaik karena memberikan peningkatan kualitas udara pendingin secara signifikan tanpa modifikasi internal motor, dengan biaya investasi yang terjangkau dan implementasi yang praktis.
- Hasil perhitungan teknis membuktikan bahwa *impeller* eksisting berdiameter 900 mm mampu menghasilkan tekanan 1.810 Pa, lebih besar dari total *External Static Pressure* sistem *ducting* yang dirancang (586 Pa kondisi bersih; 886 Pa kondisi filter kotor), sehingga tidak diperlukan penambahan fan eksternal.
- Implementasi rancangan *open loop cooling system* berbasis *fresh air intake* ini berpotensi memberikan *saving cost* sebesar Rp 269.314.354,00 selama 10 tahun ke depan melalui pengurangan frekuensi rekondisi motor dan pergantian filter/*carbon brush* sebesar 50%, sehingga layak diterapkan untuk meningkatkan keandalan operasi motor dan menurunkan biaya pemeliharaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap atas dukungan data, akses lapangan, dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada Program EVE Kerjasama Politeknik Negeri Jakarta dan PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. atas dukungan dalam kegiatan ilmiah ini.

REFERENSI

- [1] Fauzan, M. R. (2023). Perancangan Desain Cooling System Main Drive Kiln 462-MD 1. Laporan Tugas Akhir, Politeknik Negeri Jakarta.
- [2] Houcke, V. Electric Motor Cooling Systems Low Voltage Motors-Totally Enclosed (IP44 and higher). www.vanhoucke.co.uk.
- [3] ABB High Voltage Induction Motors Technical Catalogue. ABB Ltd.
- [4] Hu, B., et al. (2021). A Partial Discharge Study of Medium-Voltage Motor Winding Insulation under Two-Level Voltage Pulses with High dV/dt . IEEE Open Journal of Power Electronics, 2, 225–235.
- [5] Diana, L., Setiyawan, A., Ulum, A. B., Safitra, A. G., & Ariansyah, M. N. (2021). Studi Numerik Centrifugal Fan Tipe Impeller Backward dengan Variasi Putaran Fan. Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy, 5(2), 168–178.
- [6] Dixon, S. L., & Hall, C. A. (2014). Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery, 7th Edition. Butterworth-Heinemann.
- [7] Recayasa, J., Energi, D., et al. (2021). Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan pada Saluran Segiempat dengan Rusuk V 90 Derajat. Jurnal RMME, 4(1), 37–46.
- [8] Wernik, J. (2017). Investigation of heat loss from the finned housing of the electric motor of a vacuum pump. Applied Sciences, 7(12).

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

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



- [9] ASHRAE. (2024). 2024 ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment. ASHRAE.
- [10] Behls, H. (2021). Duct Systems Design Guide. ASHRAE.
- [11] SHACNA. (2023). HVAC Systems – Duct Design. Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association.
- [12] Holmgren, J. (2002). Dynamic measurement of pressure: a literature survey. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.
- [13] AAF. (2024). HEPA & ULPA Filter User Guide. American Air Filter.
- [14] Brown, G. O. The History of the Darcy-Weisbach Equation for Pipe Flow Resistance. Environmental and Water Resources History.

Hak Cipta

Politeknik Negeri Jakarta



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