

Perancangan *Coal Gas Booster* Untuk Kebutuhan Pabrik Smelter Grade Alumina Refinery (SGAR)

Fajar Ramadhan^{1)*}, Tota Pirdo Kasih²⁾

^{1),2)} Professional Engineer Program Department, Faculty of Engineering,
Bina Nusantara University, Jakarta, 11480, Indonesia
Email: fajar.ramadhan002@binus.ac.id, tota.kasih@binus.ac.id

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2024.v10.i01.p04>

Abstrak

Proyek Pabrik Pemurnian Alumina Smelter Grade (SGAR) yang dikembangkan oleh PT Borneo Alumina Indonesia (BAI) bertujuan untuk menghasilkan satu juta ton alumina dengan tingkat kemurnian lebih dari 98,6%. Pemurnian bauksit menjadi alumina dalam skala besar, terutama pada tahap kalsinasi yang memerlukan gas, merupakan tantangan utama dalam proyek ini. Solusi yang diadopsi adalah menggunakan gasifikasi batubara sebagai sumber gas, suatu pilihan yang tidak hanya lebih ekonomis dibandingkan dengan gas alam, tetapi juga menghasilkan emisi gas yang rendah [1]. Gasifikasi, sebagai proses yang kompleks, melibatkan parameter krusial seperti temperatur, tekanan, jenis bahan bakar, dan stoikiometri [2]. Hasil dari gasifikasi terdiri dari produk utama, yaitu gas sintesis, dan produk samping, yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Gas sintesis didominasi oleh komponen karbon dioksida (CO) dan hidrogen (H₂), yang dapat meningkatkan kualitas bahan bakar padat [3]. Meskipun demikian, tantangan utama muncul dalam transportasi gas batubara untuk proses kalsinasi yang membutuhkan tekanan sebesar 0.025 MPa, debit gas sebesar 66.347 Nm³/jam, dan nilai kalor sekitar 5441.8 kJ/Nm³. Penelitian difokuskan pada pemilihan *gas booster*, dengan mempertimbangkan *pressure drop* dan rugi debit dalam sistem transportasi gas batubara. *Booster* krusial yang dipilih adalah *C series Hubei Sangfeng Turbine Equipment* dengan kapasitas 840 m³/menit dan daya motor penggerak sebesar 800 kW. Uji performa menunjukkan efisiensi sebesar 93%, vibrasi kurang dari 4 mm/s, dan temperatur *bearing* rata-rata di bawah 45°C, menunjukkan kinerja yang optimal. Penerapan booster ini diharapkan dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi tantangan transportasi gas batubara dalam proyek SGAR, dengan potensi meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses produksi.

Kata kunci: Alumina, *Booster*, Gas Batubara, *Smelter Grade Alumina Refinery* (SGAR), Kalsinasi.

Abstract

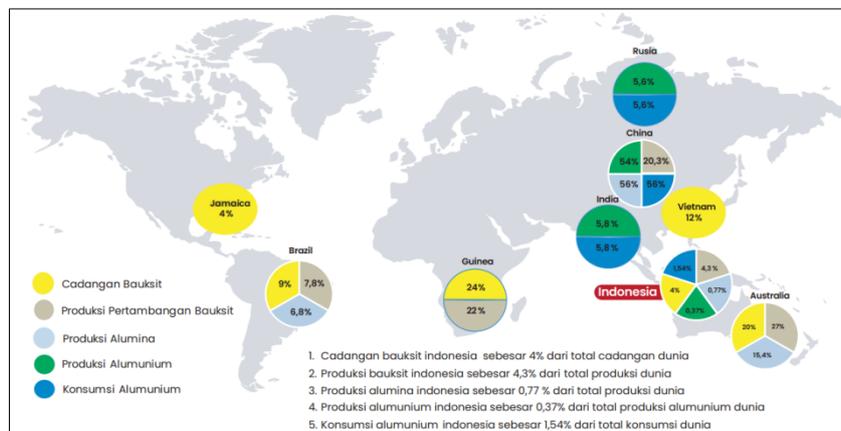
The Smelter Grade Alumina Refinery (SGAR) Project developed by PT Borneo Alumina Indonesia (BAI) aims to produce one million tons of alumina with a purity level exceeding 98.6%. The refining of bauxite into alumina on a large scale, especially during the calcination stage that requires gas, poses a major challenge in this project. The adopted solution is to use coal gasification as a gas source, an option that is not only more economical than natural gas but also generates low gas emissions [1]. Gasification, as a complex process, involves crucial parameters such as temperature, pressure, fuel type, and stoichiometry [2]. The results of gasification consist of the main product, synthesis gas, and by-products, namely fly ash and bottom ash. Synthesis gas is dominated by carbon dioxide (CO) and hydrogen (H₂) components, which can enhance the quality of solid fuel [3]. However, the main challenge arises in the transportation of coal gas for the calcination process, requiring a pressure of 0.025 MPa, a gas flow rate of 66,347 Nm³/hour, and a calorific value of approximately 5441.8 kJ/Nm³. The research

focuses on the selection of a gas booster, considering pressure drop and flow loss in the coal gas transportation system. The crucial booster selected is the C series Hubei Sangfeng Turbine Equipment with a capacity of 840 m³/minute and a drive motor power of 800 kW. Performance tests show an efficiency of 93%, vibration less than 4 mm/s, and an average bearing temperature below 45°C, indicating optimal performance. The implementation of this booster is expected to be an effective solution to overcome the challenges of coal gas transportation in the SGAR project, with the potential to improve the efficiency and sustainability of the production process.

Keywords: Alumina, Booster, Calcination, Coal Gas, Smelter Grade Alumina Refinery (SGAR).

1. PENDAHULUAN

Indonesia akan segera melarang ekspor bauksit mentah sesuai dengan UU Minerba No. 3 Tahun 2020 [4]. Peraturan lebih lanjut, yaitu Permen ESDM No. 17 Tahun 2020, mewajibkan pelaku usaha pertambangan segera membangun fasilitas pemurnian logam [5]. Pemurnian bauksit menjadi alumina, yang dikenal sebagai *Smelter Grade Alumina Refinery (SGAR)*, menjadi fokus utama. Proyek SGAR Mempawah, dengan kapasitas satu juta ton per tahun pada tahap pertama, adalah bukti nyata dari komitmen pemerintah untuk meningkatkan pengolahan produk pertambangan.



Gambar 1. Pertambangan Bauksit Global

Gambar 1 menampilkan cadangan bauksit secara global, dengan Indonesia menyumbang sekitar 4% dari total dunia, menjadikannya peringkat keenam terbesar. Fakta ini mencerminkan peran krusial Indonesia dalam pasokan global bauksit. Produksi bauksit Indonesia mencapai sekitar 4.3% dari total dunia, sementara produksi alumina dan aluminium cenderung lebih rendah. Meskipun demikian, konsumsi aluminium di Indonesia jauh melampaui produksi lokal. Dari analisis ini, terlihat potensi besar bagi Indonesia untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya tambangnya dengan mengembangkan pemurnian bauksit dan industri alumina [6].

Proyek SGAR yang dikelola oleh PT Borneo Alumina Indonesia (BAI), anak perusahaan PT Indonesia Asahan Aluminium (Persero) dan PT Aneka Tambang Tbk di Mempawah, menerapkan teknologi mutakhir dalam tahap I untuk memproduksi *Smelter Grade Alumina (SGA)* sejumlah satu juta ton per tahun. Produk ini memiliki tingkat kemurnian yang mencapai lebih dari 98,6%, menunjukkan komitmen mereka terhadap standar kualitas tinggi dalam industri alumina.

Pemurnian bauksit menjadi alumina merupakan proses yang membutuhkan sejumlah besar energi, termasuk listrik dan gas yang digunakan dalam proses kalsinasi [7]. Gas yang

diperlukan dihasilkan melalui gasifikasi batubara, pilihan yang lebih ekonomis dibandingkan dengan menggunakan gas alam, dengan tingkat emisi gas yang rendah.

Gasifikasi melibatkan berbagai parameter seperti temperatur, tekanan, jenis bahan bakar, dan stoikiometri. Proses ini menghasilkan gas sintesis, *fly ash*, dan *bottom ash* sebagai produk akhir. Gasifikasi dikenal sebagai metode efisien untuk mengubah bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas, meningkatkan kualitas dan pemanfaatan potensialnya.

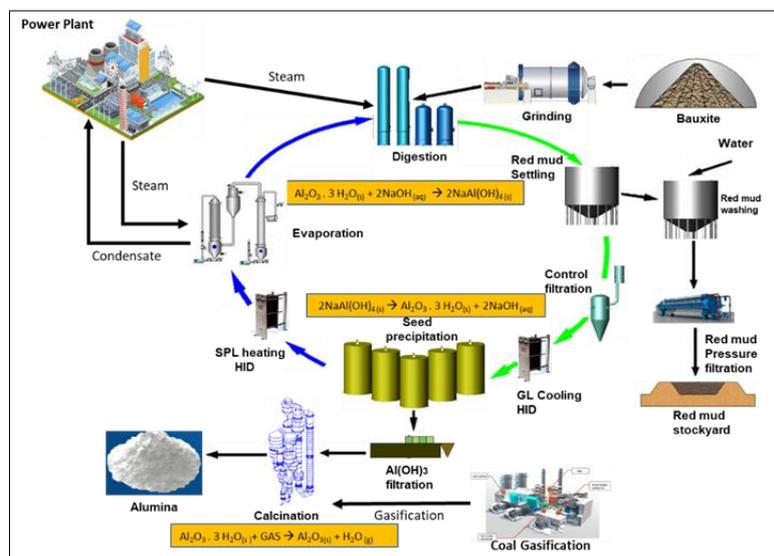
Proses transportasi gas batubara untuk kalsinasi memerlukan tekanan sebesar 0.025 MPa, debit gas sebesar 66.347 Nm³/jam, dan nilai kalor sekitar 5441.8 kJ/Nm³. Tantangan utama dalam implementasinya melibatkan perhitungan desain yang akurat, pemilihan motor listrik yang sesuai, serta penerapan *booster* yang memenuhi standar perusahaan.

Penting untuk mempertimbangkan *pressure drop* dalam transportasi gas batubara guna mengantisipasi penurunan tekanan yang dapat berdampak pada produksi alumina. Penelitian ini memiliki signifikansi dalam pemilihan motor listrik dan *booster* yang tepat, mengidentifikasi solusi efisien, dan mengoptimalkan proses kalsinasi di pabrik alumina.

2. METODE

2.1. Proses Smelter Grade Alumina Refinery

Smelter alumina adalah fasilitas industri untuk mengubah bijih bauksit menjadi alumina. Proses di smelter melibatkan tahap pemisahan dan pemurnian bijih bauksit untuk menghasilkan alumina berkualitas tinggi. PT Borneo Alumina Indonesia menggunakan metode Bayer, menghasilkan alumina dengan tingkat kemurnian tinggi dan konsumsi energi yang rendah.



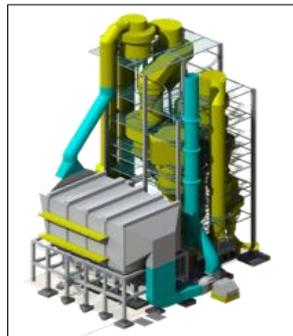
Gambar 2. Flowsheet Proses Produksi Alumina

Alumina diperoleh dari bauksit melalui proses Bayer (lihat Gambar 2), yang menghasilkan alumina dengan tingkat kemurnian tinggi dan konsumsi energi yang relatif rendah. Proses Bayer, yang melibatkan reaksi kimia berdasarkan kelarutan aluminium, mencakup tahapan pengolahan bauksit, pemurnian, dan menghasilkan oksida aluminium atau alumina, dan saat ini merupakan metode yang paling umum digunakan untuk memproduksi aluminium murni.

Pengolahan bijih bauksit menjadi alumina melalui proses Bayer dapat disederhanakan sebagai berikut (lihat Gambar 2):

- Reduksi ukuran bijih bauksit dilakukan dengan penggilingan untuk mempercepat pelarutan. Hasilnya digunakan sebagai umpan dalam proses Bayer, dengan bijih berukuran di bawah 35 mesh.

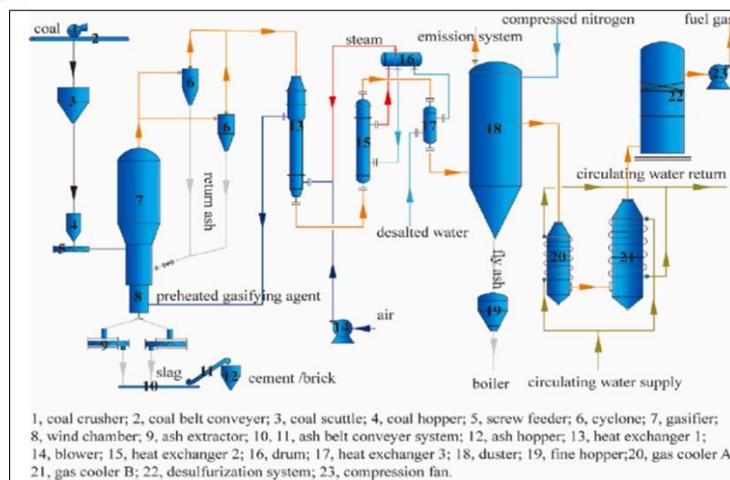
- b) Alumina dalam bijih bauksit larut menggunakan larutan soda api dengan konsentrasi dan temperatur tertentu. Proses ini menggunakan uap sebagai pemanas dalam tabung tahan tekanan. Temperatur dan konsentrasi disesuaikan dengan karakteristik bijih bauksit untuk memastikan alumina yang dihasilkan sesuai persyaratan.
- c) Pemisahan larutan natrium aluminat dari padatan dilakukan melalui pengendapan pada temperatur sekitar 100°C.
- d) Larutan bening diolah melalui presipitasi dengan menambahkan serbuk Al₂O₃ sebagai inti pengendapan. Hasil presipitasi yang besar dikembalikan ke proses sebagai inti pengendapan. Larutan sisa presipitasi dimanfaatkan kembali setelah diuapkan dan ditambahkan soda api.
- e) Alumina hidrat yang memenuhi persyaratan dijalani kalsinasi pada 1.200°C untuk mengurangi kadar air. Alumina yang dihasilkan siap dikirim ke pabrik peleburan untuk dilebur menjadi logam aluminium.



Gambar 3. Pabrik Kalsinasi

Proses kalsinasi yang tergambar dalam Gambar 3 dirancang khusus untuk menghasilkan alumina berkualitas tinggi, merupakan langkah kunci dalam produksi alumina untuk pembuatan aluminium. Proses ini melibatkan pemanasan hidrat alumina pada suhu tinggi (1000-1050°C) untuk menghilangkan air dan mengubah fase kristal Al₂O₃, menghasilkan alumina murni tanpa kontaminan yang digunakan dalam industri aluminium.

Sistem *calciner* ini memiliki keunggulan konsumsi gas batubara rendah, berperan kunci dalam pengendalian biaya produksi dan dampak lingkungan. Efisiensi gas batubara ditingkatkan melalui operasi pada temperatur minimum yang diatur, isolasi efektif, dan pencampuran homogen hidrat alumina dan gas batubara di dalam *calciner* yang diatur oleh *Induced Draft Fan* (IDF). Pendekatan ini meningkatkan efisiensi produksi sambil mengurangi dampak lingkungan.



Gambar 4. Flowsheet Proses Gasifikasi Batubara

Gasifikasi, sebuah proses mengubah bahan bakar menjadi gas, memainkan peran penting. Gasifikasi mengonversi bahan bakar padat karbon menjadi gas sintesis melalui reaksi kimia dalam fase gas dan padat. Faktor seperti temperatur, tekanan, jenis bahan bakar, dan agen gasifikasi mempengaruhi hasilnya. Gasifikasi efisien meningkatkan kualitas bahan bakar padat, mengubahnya menjadi bahan bakar gas dengan gas sintesis sebagai hasil utama [8-12].

2.2. Coal Gas Booster

Booster gas batubara adalah perangkat khusus yang vital dalam industri, terutama di smelter alumina seperti PT Borneo Alumina Indonesia. Fungsinya adalah menjaga tekanan gas batubara agar tetap dalam rentang yang aman, khususnya saat digunakan dalam proses kalsinasi alumina hidrat di pabrik SGAR.

Booster ini memainkan peran kunci dalam menjaga operasi yang aman dan efisien, memastikan tekanan gas batubara sesuai dengan kebutuhan peralatan dan proses. *Booster* tekanan gas batubara, terutama yang menggunakan desain jenis sentrifugal, menjadi pilihan utama karena pengoperasiannya yang sederhana, andal, desain yang ringan, dan kompak [13-14]. Hal ini membuatnya populer dalam aplikasi kompresi gas batubara, terutama pada rangkaian *booster* berkapasitas medium dan besar di industri smelter alumina.

Efisiensi pada *booster* mengacu pada seberapa baik perangkat tersebut dapat mengubah daya yang digunakan menjadi daya kompresi yang diperlukan untuk memampatkan gas. Ini adalah parameter penting dalam desain dan operasi *booster* karena dapat mempengaruhi biaya operasi dan kinerja sistem keseluruhan. Efisiensi *booster* diukur dengan Persamaan 1 sebagai berikut :

$$P = Q \left[P_2 - P_1 + \rho \frac{(v_2)^2}{2} - \rho \frac{(v_1)^2}{2} + \rho \cdot g \cdot (z_2 - z_1) \right] \quad (1)$$

Dimana P adalah daya yang disuplai (W), Q adalah debit aliran (m^3/s), P_1 adalah tekanan dalam pipa saluran masuk (P_a), P_2 adalah tekanan dalam pipa saluran keluar (P_a), v_1 adalah kecepatan udara dalam pipa saluran masuk (m/s), v_2 adalah kecepatan udara dalam pipa saluran keluar (m/s), ρ adalah kepadatan gas batubara sebesar $1,29 \text{ kg/m}^3$, g adalah gaya gravitasi sebesar 9.8 m/s^2 , dan z_2-z_1 adalah perbedaan ketinggian pipa saluran masuk dan keluar sebesar 0.35 m.

Listrik yang dibutuhkan oleh *booster* gas bervariasi bergantung pada faktor-faktor seperti kapasitas *booster*, tekanan gas masukan dan keluaran, dan efisiensi *booster*. Persamaan 1 di bawah ini dapat digunakan untuk mengekspresikan daya listrik yang diperlukan oleh *coal gas booster*:

$$P_e = V \times I \times \cos \pi \times \sqrt{3} \quad (2)$$

Dimana P_e adalah daya input listrik (W), V adalah tegangan listrik (V), I adalah arus listrik (A)

Untuk mendapatkan efisiensi booster maka menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P}{P_e} \quad (3)$$

2.3. Sistem Perpipaan dan Head Loss

Sistem perpipaan pada pabrik gasifikasi batubara untuk proses kalsinasi alumina merupakan bagian penting dari produksi yang rumit. Dalam proses gasifikasi batubara, batubara diubah menjadi gas sintetis (*syngas*) melalui pemanasan pada temperatur tinggi dan tekanan tertentu. Untuk mentransfer syngas dari pabrik gasifikasi ke pabrik kalsinasi, digunakan sistem perpipaan yang terdiri dari pipa, katup, dan alat pengendali aliran gas. Komponen lain seperti *fitting*, *flange*, *nozzle*, peralatan instrumentasi, peralatan proses

(*calciner dan booster*), penyangga pipa, dan komponen khusus seperti *strainer, drain, dan vent* juga memiliki peran penting dalam penyusunan sistem perpipaan ini.

Head Loss

Head loss adalah penurunan energi dalam aliran fluida melalui perpipaan atau saluran, disebabkan oleh gesekan, perubahan kecepatan, dan perubahan ketinggian. Penting dalam perencanaan sistem perpipaan, distribusi air, dan aplikasi industri. Untuk menghitungnya, insinyur menggunakan persamaan empiris sesuai dengan kondisi aliran dan geometri sistem, dengan tujuan merancang sistem efisien, meminimalkan kerugian energi, dan menentukan daya pompa yang dibutuhkan.

Aliran fluida di dalam pipa mengikuti persamaan *Bernoulli* [15], yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan 4 sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2 + h_{lT} \quad (4)$$

Dimana P_1 adalah tekanan upstream, P_2 adalah tekanan downstream, \bar{V}_1^2 adalah kecepatan rata-rata upstream, \bar{V}_2^2 adalah kecepatan rata-rata downstream. \bar{V} didapatkan dengan membagi debit dengan luas penampang pipa. z adalah elevasi pipa dalam m, dan h_l adalah *headloss*.

Kecepatan fluida dalam pipa didapatkan dengan Persamaan 5 berikut :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (5)$$

Dimana Q adalah debit fluida dalam $\frac{m^3}{s}$, A adalah *cross sectional* pipa dalam m^2 , D adalah diameter dalam pipa dalam meter.

Total *head loss* adalah penjumlahan *major loss* dan *minor loss*, dirumuskan dengan Persamaan 6 berikut :

$$h_{lT} = h_l + h_{lm} \quad (6)$$

Pressure drop pada segmen pipa dapat dirumuskan dengan Persamaan 7 dan 8 berikut :

$$\Delta P = \rho g h_{lT} = \rho g (h_l + h_{lm}) \quad (7)$$

$$\Delta P = \rho g \left[\frac{\bar{V}^2}{2g} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \right] \quad (8)$$

Dimana ΔP adalah *pressure drop*, h_l adalah *major head loss*, f adalah *friction factor*, L adalah panjang pipa, D adalah diameter dalam pipa, dan K adalah *loss coefficient* pada *fitting*.

Major Losses (h_l)

Major losses terjadi akibat gesekan fluida dengan permukaan pipa. *Major losses* dapat dirumuskan dengan Persamaan 9 berikut :

$$h_l = f \frac{L \bar{V}^2}{D 2g} \quad (9)$$

Dimana ΔP adalah *pressure drop*, h_l adalah *major head loss*, f adalah *friction factor*, L adalah panjang pipa, dan D adalah diameter dalam pipa.

Besar nilai Re menentukan jenis aliran fluida. Jika $Re \leq 2000$ maka aliran laminar. Jika $2000 > Re < 4000$ maka aliran turbulenta.

Nilai Re dirumuskan dengan Persamaan 10 berikut :

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad (10)$$

Dimana Re adalah reynold number, V adalah kecepatan aliran fluida dalam m/s, D adalah diameter dalam pipa dalam m, ρ adalah massa jenis fluida dalam kg/m^3 , dan μ adalah

viskositas fluida dalam $N.s/m^2$.

Nilai f pada aliran laminar dan turbulen ditunjukkan oleh Persamaan 11 dan 12 berikut :

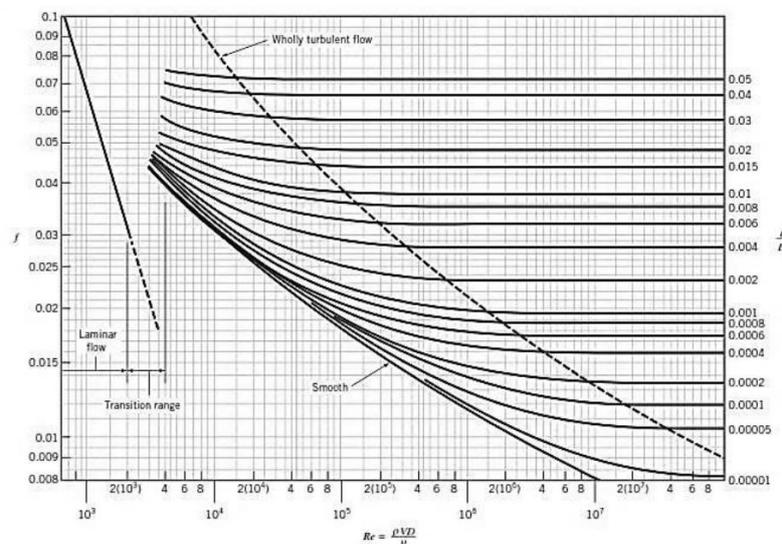
$$f = \frac{64}{Re} \tag{11}$$

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \tag{12}$$

Nilai f juga dapat ditemukan pada *Moody's Diagram* yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dimana nilai *roughness* (ϵ) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai *roughness* (ϵ) pada berbagai komersial *duct*

Bahan	Kondisi	ft	mm	Uncertainly (%)
Shell	Sheet metal	0.00016	0.05	± 60
	New stainless	0.000007	0.002	± 50
	New Commercial	0.00015	0.046	± 30
	New Riveted	0.01	3	± 70
	Rusted	0.007	2	± 50
	Cast	0.00085	0.26	± 50
Iron	New wrought	0.00015	0.046	± 20
	New galvanized	0.0005	0.15	± 40
	New asphaltd cast	0.0004	0.12	± 50
Brass	Drawn	0.000007	0.002	± 50
plastic	New drawn tubing	0.000005	0.0015	± 60
Glass	-	smoth	smooth	± 60
Concentrate	Smoothed	0.00013	0.04	± 50
	Rought	0.007	2	± 60
Rubber	Smoothed	0.000033	0.01	± 60
Wood	Stave	0.0016	0.5	± 40



Gambar 5. *Moody Diagram*

Minor Losses (h_{l_m})

Pada sistem pipa, fluida akan melalui *fitting*, *bend*, atau *valve* sehingga terjadi *minor*

losses. *Minor losses* dapat dirumuskan dengan Persamaan 13 dan 14 berikut :

$$h_{l_m} = K \frac{\bar{v}^2}{2g} \quad (13)$$

$$h_{l_m} = f \frac{Le \bar{v}^2}{D 2g} \quad (14)$$

Dimana K adalah *loss coefficient* dan Le adalah *equivalent length* pipa dalam m.

Loss coefficient (KL) pada *valve* dan *fitting* ditunjukkan pada Tabel 2. *Loss coefficient* pada *gradual contraction* ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

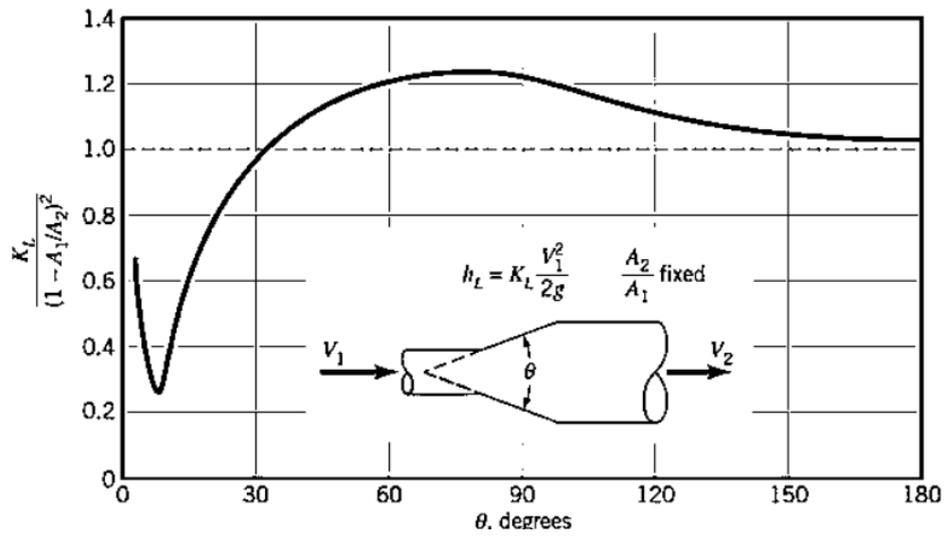
Tabel 2. *Loss Coefficient* pada *Valve* dan *Fitting*

Komponen		L/D	KL
	Regular 90°, threaded	30	1.5
Elbow	Long 90°, threaded	16	0.7
	Regular 45°, threaded	16	0.4
	180° return bends, threaded		1.5
Tees	Line flow, threaded	20	0.9
	Branch flow, threaded	60	2
	Union, threaded		0.08
	Globe, fully open	340	10
	Angle, fully open	55	2
	Gate, fully open	8	0.15
	Gate, 1/4 closed	8	0.26
	Gate, 1/2 closed	8	2.1
Valves	Gate, 3/4 closed	8	17
	Swing check. Forward flow	50	2
	Swing check. Backward flow	50	∞
	Ball valve, fully open	3	0.05
	Ball valve, 1/3 closed	3	5.5
	Ball valve, 2/3 closed	3	210

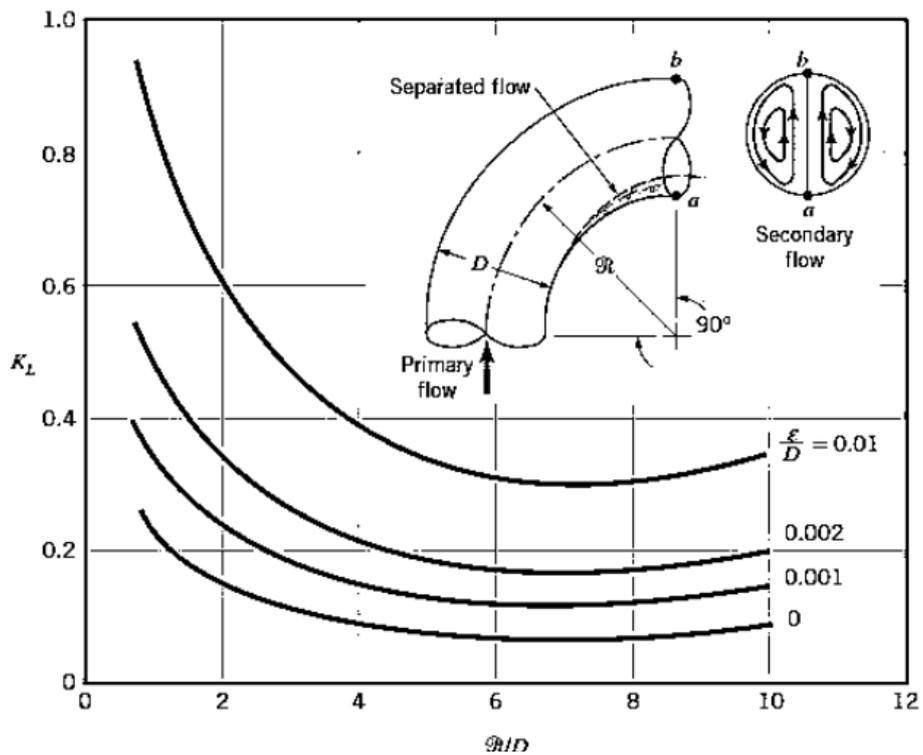
Tabel 3. *Loss Coefficient* pada *Gradual Contraction*

A ₂ /A ₁	Included Angle (θ)						
	10°	15-40°	50-60°	90°	120°	150°	180°
0.5	0.05	0.05	0.06	0.12	0.18	0.24	0.26
0.25	0.05	0.04	0.07	0.17	0.27	0.35	0.41
0.1	0.05	0.05	0.08	0.19	0.29	0.37	0.43

Loss coefficient pada *pipe bend* Gambar 2 dan 3 Sudut θ pada *gradual contraction* dan diffuser merupakan sudut yang dibentuk oleh *fitting*. Sudut didapatkan dengan perhitungan manual dari spesifikasi *reducing socket Wavin AW* yang ditunjukkan pada Tabel 3. Dimana θ adalah 2α dan α adalah sudut tangen yang dibentuk oleh *reducing socket*.

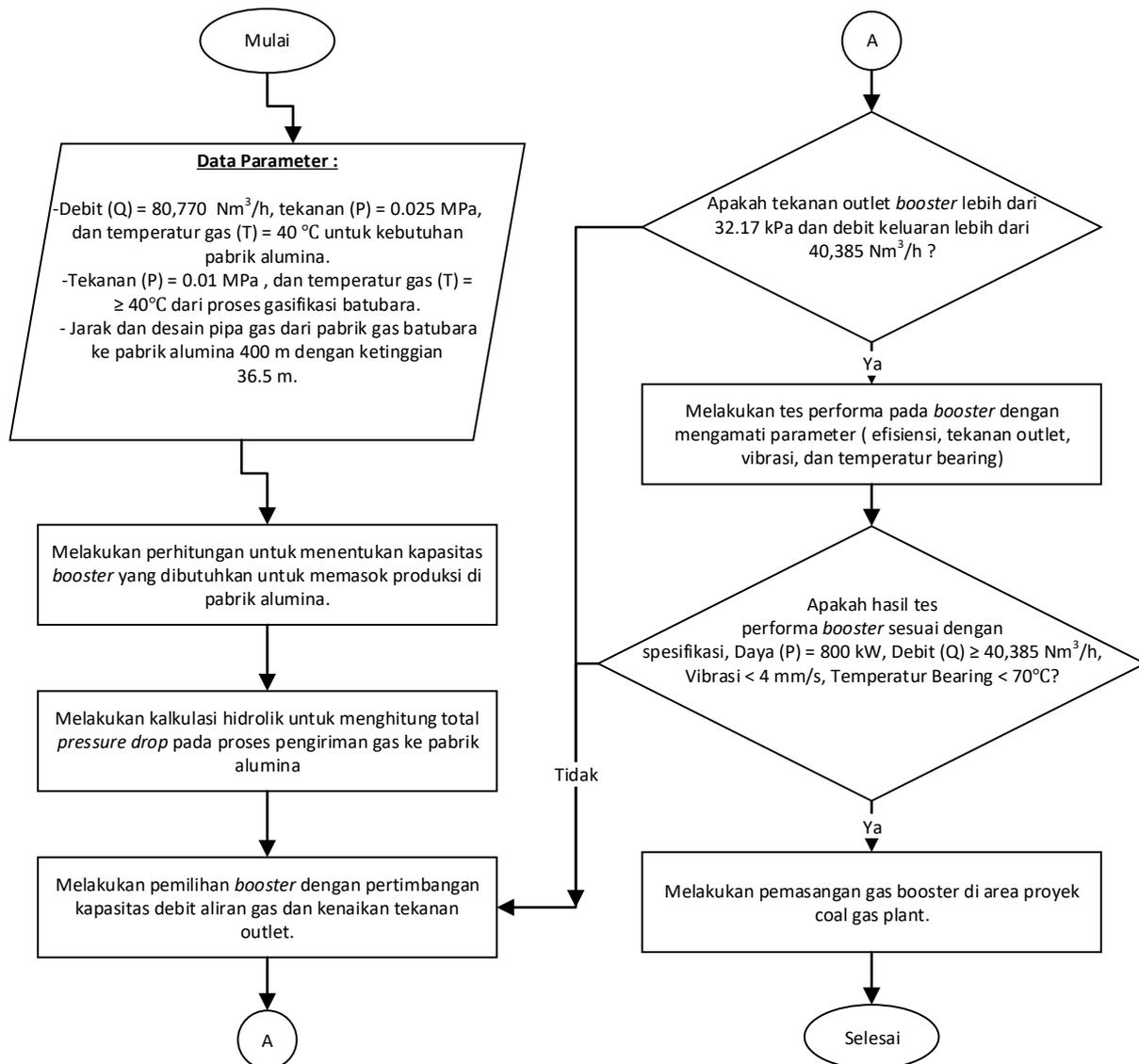


Gambar 6. Loss Coefficient pada Gradual Diffuser



Gambar 7. Loss Coefficient pada Pipe Bend 90°

2.4. Metode Perancangan



Gambar 8. Metode Perancangan

Penyusunan metode untuk merancang *booster* gas batubara melibatkan pengumpulan data parameter gas batubara. Tahap kedua melibatkan kalkulasi kebutuhan gas batubara untuk proses kalsinasi dengan mempertimbangkan faktor lingkungan seperti temperatur, kelembaban, dan konten gas batubara. Tahap ketiga fokus pada pemilihan *booster* yang sesuai dengan daya dorong, kapasitas gas, dan tekanan untuk mendukung transportasi gas batubara. Tahap ketiga melibatkan kalkulasi hidrolis untuk menghitung total *pressure drop* pada proses pengiriman gas batubara ke pabrik alumina, memastikan sistem pengiriman gas dirancang secara optimal untuk menjaga stabilitas operasional pabrik dan mengurangi kerugian energi selama transportasi gas. Tahap keempat fokus pada pemilihan *booster* yang sesuai dengan daya dorong, kapasitas gas, dan kenaikan tekanan untuk mendukung transportasi gas batubara.

Pada tahap kelima, evaluasi dilakukan untuk memastikan peningkatan tekanan sesuai dengan standar dan spesifikasi *booster* yang telah dipilih. Tahap keenam melibatkan pengujian performa pada *booster* dengan memonitor parameter seperti daya, efisiensi, tekanan keluaran, vibrasi, dan temperatur *bearing* untuk memvalidasi kesesuaian dengan spesifikasi dalam sistem pengiriman gas. Setelah lulus uji performa pada tahap ketujuh, jika *booster*

memenuhi persyaratan, proses dilanjutkan dengan pengiriman unit *booster* dan instalasi.

Namun, jika performa *booster* tidak memenuhi standar yang ditentukan, proses akan kembali ke tahap pemilihan *booster* untuk memastikan kinerja optimal dalam pengiriman gas batubara ke pabrik alumina. Tahap kedelapan melibatkan pemasangan booster pada area *coal gas booster house facility* (2G03) dengan persiapan tempat, pemilihan lokasi yang tepat, dan pengecekan keamanan. Unit *booster* dipasang sesuai panduan teknis dan desain yang telah disiapkan.

Setelah pemasangan selesai, dilakukan uji coba untuk memastikan *booster* berfungsi sesuai spesifikasi. Apabila hasil uji coba memenuhi standar kinerja yang diharapkan, *booster* dianggap siap digunakan, dan dokumentasi pemasangan disusun untuk referensi dan pemeliharaan masa depan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Diskusi dan Pembahasan Mengenai Pemilihan *Coal Gas Booster*

Pemilihan *booster* yang tepat untuk mendukung pengiriman gas batubara ke proses kalsinasi, dengan target produksi alumina 1 juta ton per tahun, adalah langkah krusial bagi perusahaan. *Booster* ideal harus mampu mengatasi kebutuhan produksi yang tinggi dengan kinerja yang stabil dan andal sepanjang proses kalsinasi yang berlangsung terus-menerus. Tekanan yang konsisten perlu dijaga untuk memastikan kualitas dan efisiensi produksi yang stabil.

Proses pengiriman gas batubara melibatkan dua unit *booster* untuk memenuhi kebutuhan produksi alumina sebesar 120.164 ton per jam. Dalam upaya menjaga kinerja dan mengantisipasi kegagalan, sistem transportasi gas batubara menggunakan tiga *booster*, dengan dua di antaranya beroperasi dan satu sebagai cadangan.

Tabel 4. Parameter Hasil Perancangan

Parameter Perancangan		
Tekanan gas	32.17	kPa
Debit gas	92,232	m ³ /jam

Tabel 4 mempertimbangkan debit output gas batubara yang dihasilkan, mengingat bahwa proses kalsinasi memerlukan tekanan sistem sebesar 0.025 MPa. Oleh karena itu, dalam proses perancangan, perlu diperhatikan tekanan rugi yang mungkin terjadi saat mengantarkan gas hingga mencapai sistem kalsinasi. Perhitungan rekayasa terkait rugi dalam pengantaran gas batubara ke proses kalsinasi mencapai sekitar 32.17 kPa. Ini merupakan aspek kritis yang harus dipertimbangkan agar sistem dapat beroperasi secara optimal dan efisien. Selanjutnya, debit gas yang dibutuhkan, dengan memperhitungkan rugi pipa dan faktor lain, menghasilkan total debit sebesar 92,232 Nm³/jam, sehingga produksi alumina dapat terpenuhi dan mencapai total produksi 1 juta ton alumina.

Pemilihan *booster* mempertimbangkan faktor waktu dan ekonomi, dan akhirnya, Hubei Sangfeng Turbine Equipment Co. Ltd dari Tiongkok dipilih sebagai mitra. Keputusan ini didasarkan pada kecepatan manufaktur yang tinggi dan harga yang ekonomis, tanpa mengorbankan kualitas. Sebagai spesialis di bidangnya, Hubei Sangfeng Turbine Equipment Co. Ltd menjadi pilihan andal untuk proyek gasifikasi batubara dan proses alumina, dipilih oleh *Engineering Procurement Construction* (EPC), *Project Management Consultant* (PMC), dan PT Borneo Alumina Indonesia (BAI).



Gambar 9. Gas Booster

Tabel 5. Parameter Desain *Booster*

Parameter <i>Booster</i>	
Media yang dipompa	Gas
Laju aliran	840 m ³ /min
Rentang laju aliran	60%-110%
Rentang frekuensi	30-50 Hz
Berat jenis medium	0.959 kg/m ³
Temperatur inlet	≤ 40 °C
Tekanan inlet	10,28 kPa
<i>Pressure rising</i>	39.22 kPa
Daya	800 kW
Isolasi	Kelas F
Kelas kebisingan	85 dB
Kecepatan rotasi	2980 rpm
Motor pemasangan	2-800 kW
Konstanta gas (R)	344.45 J/(kg . K)
Rasio adiabatik (K)	1.377
Efisiensi Politropik (η)	0.765

Tabel 5 menunjukkan karakteristik *booster* dalam pengiriman gas batubara. *Booster* ini dapat mengatur laju aliran gas hingga 840 m³/min, dengan rentang 60-110% dan frekuensi 30-50 Hz untuk pengendalian kecepatan atau pasokan gas. Tekanan masuknya adalah 10.28 kPa, setelah dikompresi menjadi 39.22 kPa. Daya yang dibutuhkan adalah 800 kW, dengan rasio *adiabatic* 1.377 K, dan efisiensi politropik 0.765.

Tabel 6. Parameter Stasiun Oli

Peralatan	Stasiun Oli
Kapasitas	63 L/min
Tekanan oli pelumas	0.4 MPa
Temperatur air pendingin	< 32 °C
Tekanan air pendingin	0.2 - 0.4 MPa
Volume tangki oli	~1 m ³

Stasiun oli pada *booster* memiliki peran vital dalam menjaga kinerja dan masa pakai. Oli berfungsi sebagai pelumas, mendinginkan komponen, dan mengurangi gesekan. Pompa oli mengalirkan oli dari tangki ke *booster*, di mana oli mengambil panas selama operasi. Penukar panas dan filter menjaga temperatur dan kebersihan oli. Tabel 6 menjelaskan parameter

stasiun oli dengan kapasitas 63 L/min, tekanan oli 0.4 MPa, temperatur air pendingin di bawah 32°C, tekanan air pendingin 0.2-0.4 MPa, dan volume tangki oli 1 m³. Parameter ini penting untuk menjaga operasi yang andal dari *booster*, termasuk kapasitas pelumasan, tekanan oli yang memadai, temperatur dan tekanan air pendingin yang terkendali, dan volume tangki oli yang mencukupi.

3.2. Uji Performa *Booster*

Pengujian performa *booster* merupakan langkah kritis untuk memastikan operasionalitas dan keamanan. Identifikasi tujuan pengujian, apakah memenuhi spesifikasi teknis atau mengukur kinerja praktis, menjadi langkah awal. Pengujian melibatkan aspek fungsional, keandalan, efisiensi, beban, keselamatan, dan dampak lingkungan. Hasil pengujian didokumentasikan untuk pengambilan keputusan dan pemeliharaan berkelanjutan. Proses pengujian berperan penting dalam menjamin kinerja *booster* yang handal dan aman di berbagai kondisi penggunaan.

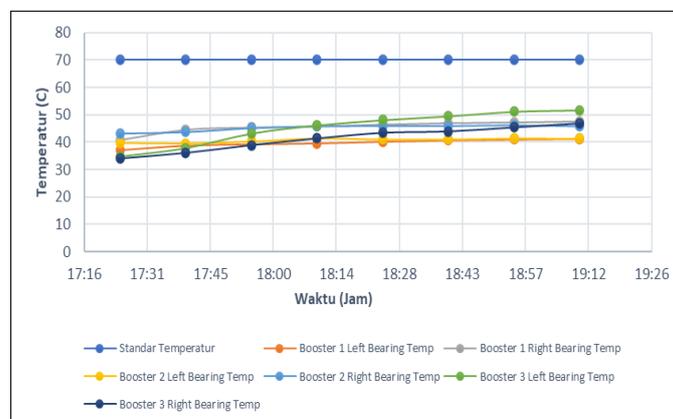
Pengujian kinerja unit *booster* dilakukan di lokasi manufaktur untuk mengevaluasi sesuai dengan standar kualitas dan spesifikasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Pabrikan menetapkan parameter pengujian, seperti yang tercantum pada Tabel 7 di bawah.

Tabel 7. Parameter Pengujian *Booster*

Parameter Uji	
Media	Udara
Tekanan inlet	101.325 kPa
Laju aliran masuk	860 m ³ /min
Temperatur inlet	20 °C
Kepadatan medium inlet	1.2 kg/m ³

Parameter pengujian *booster*, seperti daya, efisiensi, keandalan, kapasitas, dan lingkungan, digunakan untuk mengevaluasi kinerja *booster*. Daya mengukur kemampuan meningkatkan efek tertentu, efisiensi membandingkan input dan output, keandalan menentukan operasional tanpa gangguan, kapasitas mengukur kinerja beban, dan parameter lingkungan menguji performa di berbagai kondisi. Setiap parameter kritis dalam memastikan *booster* memenuhi persyaratan teknis, keamanan, dan kinerja dalam berbagai aplikasi.

Temperatur di *bearing booster* penting saat diuji di manufaktur. Meskipun belum beroperasi sepenuhnya, memantau temperatur selama pengujian tetap krusial. Ini membantu mengidentifikasi potensi masalah dan memastikan kinerja optimal saat *booster* aktif di lapangan.

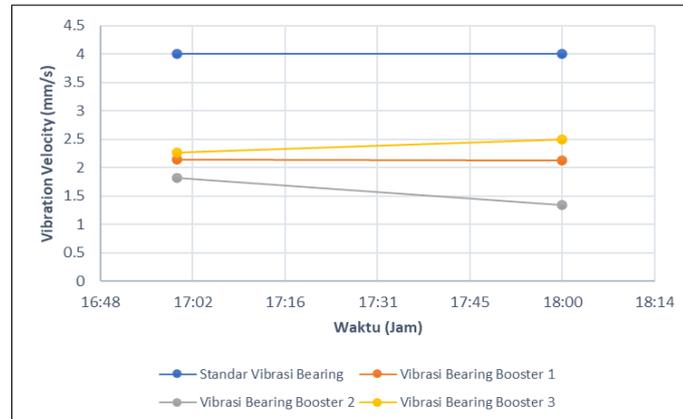


Gambar 10. Pemantauan Temperatur *Bearing* pada *Booster*

Data temperatur pada Gambar 10 dari *bearing booster* 1, 2, dan 3 selama observasi tidak menunjukkan pola yang signifikan. Nilainya tetap stabil, dengan perbedaan yang minimal

antara sisi kiri dan kanan. Standar temperatur *bearing booster* menurut standar manufaktur adalah di bawah 70°C.

Vibration velocity pada *booster* mengukur seberapa cepat getaran dihasilkan saat beroperasi. Getaran ini dapat merusak komponen mesin, menyebabkan keausan, dan mempengaruhi kinerja keseluruhan. Pemantauan dan pengendalian tingkat *vibration velocity* sangat penting untuk menjaga kinerja dan keamanan *booster*. Umumnya, sensor getaran dan sistem pemantauan digunakan untuk mendeteksi dan menangani potensi masalah dengan cepat.

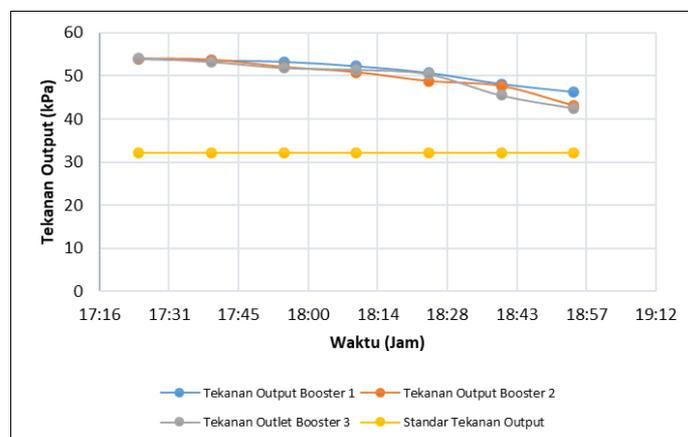


Gambar 11. Pemantauan *Vibration Velocity* pada *Booster*

Data vibrasi pada Gambar 11 mencakup pengukuran pada pukul 17:00 dan 18:00 untuk tiga *booster* berbeda, yaitu *Booster 1*, *Booster 2*, dan *Booster 3*, serta standar getaran dalam tiga arah: *Horizontal*, *Vertical*, dan *Center*, di sisi kiri (*Left Side*) dan sisi kanan (*Right Side*).

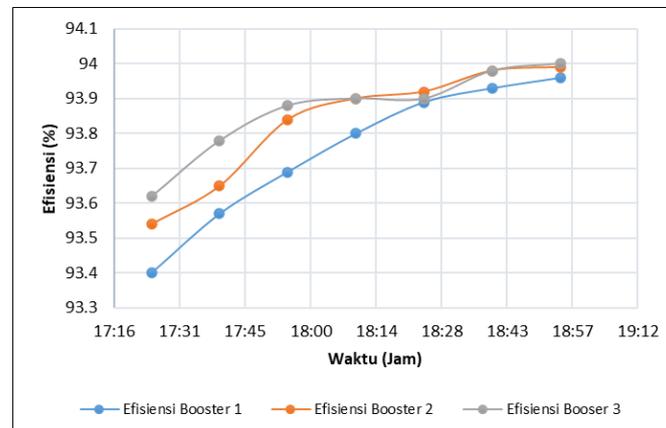
Gambar 11 menunjukkan bahwa pada jam 18:00, terjadi peningkatan vibrasi pada *Booster 3*. Peningkatan ini disebabkan oleh tingkat vibrasi tinggi dari motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan *booster* tersebut. Penting untuk dicatat bahwa pengujian dilakukan secara terpisah antara *booster* dan motor listrik. Motor listrik yang digunakan dalam pengujian ini memiliki umur pakai yang panjang, sehingga hasil yang diperoleh menunjukkan adanya vibrasi, meskipun masih berada di bawah standar normal.

Pengukuran ini memiliki kepentingan kritis dalam memantau perbedaan getaran pada waktu dan posisi tertentu. Data getaran seperti ini memiliki nilai signifikan dalam pemeliharaan peralatan mekanik karena dapat membantu mendeteksi potensi masalah, mencegah kerusakan, dan menjamin kinerja yang aman dan efisien.



Gambar 12. Pemantauan Tekanan Outlet *Booster*

Pada Gambar 12, terlihat grafik uji tekanan outlet untuk *booster* 1, 2, dan 3. Grafik ini menunjukkan prestasi yang sangat baik dengan tekanan outlet melebihi 32.17 kPa. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiga *booster* mampu meningkatkan performa sistem, berpotensi meningkatkan efisiensi dan daya dorong. Meskipun grafik menjanjikan, penting untuk memperhatikan konsistensi kenaikan tekanan dalam berbagai kondisi uji guna memastikan keandalan. Secara keseluruhan, grafik tersebut mencerminkan bahwa ketiga *booster* dapat memenuhi atau bahkan melampaui standar yang ditetapkan selama uji di pabrik.



Gambar 13. Pemantauan Performa *Booster*

Gambar 13 menunjukkan bahwa *booster* 1, 2, dan 3 memiliki efisiensi yang sangat baik, lebih dari 93%. Tingkat efisiensi yang tinggi ini menandakan kemampuan ketiga *booster* dalam mengonversi daya listrik dengan efisien, mengurangi kerugian energi selama proses. Hal ini mencerminkan kualitas dan kinerja positif ketiga *booster* dalam mengoptimalkan penggunaan daya listrik. Efisiensi di atas 93% juga menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang digunakan oleh *booster* tersebut berhasil diubah menjadi daya yang dihasilkan tanpa pemborosan dalam bentuk energi yang tidak berguna.

Keunggulan efisiensi di atas standar menunjukkan bahwa desain dan implementasi *booster* 1, 2, dan 3 telah memenuhi atau bahkan melebihi harapan dalam hal efisiensi energi. Hasil ini dapat dijadikan dasar yang solid untuk menilai ketiga *booster* sebagai komponen yang handal dan ekonomis dalam penggunaan daya listrik, serta memberikan kontribusi positif terhadap efisiensi keseluruhan sistem.

4. SIMPULAN

Pemilihan *booster* untuk mendukung proses pengiriman gas batubara dari pabrik gas batubara ke pabrik alumina, khususnya untuk proses kalsinasi, didasarkan pada penggunaan jenis *C series of multi-stage centrifugal booster* dari *Hubei Sangfeng Turbine Equipment*. *Booster* ini memiliki kapasitas debit sebesar 840 m³/menit, daya 800 kW, dan dapat meningkatkan tekanan kerja di atas 32.17 kPa, sesuai dengan kebutuhan pengiriman gas ke proses kalsinasi di pabrik alumina. Hasil uji performa menunjukkan bahwa *booster* mencapai efisiensi sebesar 93%, dengan nilai vibrasi di bawah 4 mm/s dan temperatur rata-rata *bearing* di bawah 45°C, menandakan kinerja yang sangat baik dari *booster* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afin, A. P., & Kiono, B. F. T. (2021). Potensi Energi Batubara serta Pemanfaatan dan Teknologinya di Indonesia Tahun 2020 – 2050 : Gasifikasi Batubara. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(2), 144–122. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11429>
- [2] Boms, A., Aka, N., Godwin, C., Jacob, E., & Emmanuel, O. (2017). Estimating Pressure

- Drop in Natural Gas Pipeline: (A Case Study of Rumuji-Bonny NLNG Pipeline). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 8(1). <http://www.ijser.org>
- [3] Shao, R., Zhu, J., Wei, X., Shao, Y., & Peng, M. (2023). Gasification of a bituminous coal in 15MWth KEDA® circulating fluidized-bed gasifier with high-temperature preheating. *Applied Thermal Engineering*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120693>
- [4] Presiden Republik Indonesia. (2020). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- [5] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). Peraturan Menteri ESDM Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2020 Tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 25 Tahun 2018 Tentang Pengusaha Pertambangan Mineral dan Batubara. <https://jdih.esdm.go.id/storage/document/Permen%20ESDM%20Nomor%202017%20Tahun%202020.pdf>
- [6] Kementerian ESDM RI. (2020). Peluang Investasi Bauksit Indonesia. <https://www.esdm.go.id/assets/booklet/tambang-2020/08%20BOOKLET%20ESDM%20BAUKSIT%202020%20OK.pdf>
- [7] Rahardjo, I., Pengkajian, B., & Teknologi, P. (2014). Kebutuhan dan Penyediaan Energi di Industri Smelter Aluminium. <https://www.researchgate.net/publication/304630519>
- [8] Hu, Z., Peng, Y., Sun, F., Chen, S., & Zhou, Y. (2021). Thermodynamic equilibrium simulation on the synthesis gas composition in the context of underground coal gasification. *Fuel*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120462>
- [9] Shao, R., Shao, Y., Zhu, J., & Peng, M. (2023). Gasification of a typical low-rank coal in 65MWth KEDA® circulating fluidized-bed gasifier. *Journal of the Energy Institute*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2023.101176>
- [10] Burton, E., Friedmann, J., & Upadhye, R. (2006). Best Practices in Best Practices in Underground Coal Gasification.
- [11] Midilli, A., Kucuk, H., Topal, M. E., Akbulut, U., & Dincer, I. (2021). A comprehensive review on hydrogen production from coal gasification: Challenges and Opportunities. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 46, Issue 50, pp. 25385–25412). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.05.088>
- [12] Pabir, B. (2006). *Combustion and Gasification in Fluidized Beds*. Taylor & Francis Group, LLC.
- [13] Zhang, Y., Xu, S., & Wan, Y. (2020). Performance improvement of centrifugal compressors for fuel cell vehicles using the aerodynamic optimization and data mining methods. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(19), 11276–11286. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.026>
- [14] Almasi, A. (2019). Latest technologies and novel approaches in coal seam gas centrifugal compressor trains in Australia. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 17(3), 162–174. <https://doi.org/10.1080/14484846.2017.1311534>
- [15] Miyarthaluna, G.,K. (2017). Analisis Pressure Drop pada Pipa Jaringan Pelanggan Biogas di TPA Supiturang Kota Malang. Tugas Akhir Fakultas Teknik, ITS. https://repository.its.ac.id/46972/1/2411100036-Undergraduate_Theses.pdf