



Optimalisasi Line Aeration Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 PT. Solusi Bangun Andalas

Achmad Faizuna Raf Raf^{1*}, Fajar Mulyana², Muhammad Shadri L³
Muhammad Nafis⁴

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

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

³PT. Solusi Bangun Andalas, Lhoknga, Aceh Besar

*Corresponding author E-mail address: achmad.faizuna.raf.raf.tm23@stu.pnj.ac.id

Abstrak

PT Solusi Bangun Andalas merupakan perusahaan semen yang beroperasi di Lhoknga, Aceh Besar. Sistem aeration pada Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 berfungsi untuk memfasilitasi fluidisasi material kiln feed agar dapat mengalir secara kontinu menuju air slide dan weigh feeder sebelum masuk ke preheater. Namun, sistem aeration yang disuplai oleh Root Blower LHOX.431-BL11 belum bekerja secara optimal sehingga masih memerlukan tambahan compressed air pada Air Slide LHOX.391-AS26 dan LHOX.321-AS33, yang menyebabkan peningkatan konsumsi energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem aeration agar aliran material berlangsung stabil, kontinu, dan efisien tanpa ketergantungan pada compressed air tambahan. Metode penelitian meliputi observasi lapangan, studi literatur, pengumpulan data operasional, perhitungan teknis, serta analisis fishbone. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan tekanan operasi sistem berkisar antara 18–22 kPa, sedangkan tekanan aktual pada outlet Root Blower hanya sebesar 12,5 kPa dan menurun hingga 2,5 kPa sepanjang jalur perpipaan. Efisiensi blower diperoleh sebesar 14,81%. Hasil Root Cause Analysis menunjukkan bahwa penyebab utama berasal dari kebocoran dan pressure drop pada sistem perpipaan, kelembapan material, monitoring operator, serta penggunaan compressed air sebagai solusi sementara. Optimalisasi direkomendasikan melalui penambahan titik aeration dan pengoperasian dua unit Root Blower secara bersamaan untuk mengurangi plugging, coating, dan ketergantungan terhadap compressed air.

Kata kunci: aeration, kiln feed bin, root blower, fluidisasi, optimalisasi.

Abstract

PT Solusi Bangun Andalas is a cement manufacturing company located in Lhoknga, Aceh Besar. The aeration system in Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 facilitates the fluidization of kiln feed material to ensure continuous flow to the air slide and weigh feeder before entering the preheater. However, the aeration system supplied by Root Blower LHOX.431-BL11 has not operated optimally, requiring additional compressed air at Air Slide LHOX.391-AS26 and LHOX.321-AS33, which increases energy consumption. This study aims to optimize the aeration system to achieve stable, continuous, and efficient material flow without additional compressed air. The research methods included field observations, literature studies, operational data collection, technical calculations, and fishbone analysis. The results showed that the required operating pressure ranged from 18 to 22 kPa, while the actual pressure at the blower outlet was only 12.5 kPa and decreased to 2.5 kPa along the pipeline. The blower efficiency was calculated at 14.81%. Root Cause Analysis identified leakage and pressure drop in the piping system, material moisture, operator monitoring, and temporary use of compressed air as the main causes. The proposed optimization includes increasing aeration points and operating two Root Blowers simultaneously to reduce plugging, coating, and dependence on compressed air.

Keywords: aeration, kiln feed bin, root blower, fluidization, optimization.

1. PENDAHULUAN

PT. Solusi Bangun Andalas merupakan salah satu perusahaan industri semen di Indonesia yang berlokasi di Lhoknga, Aceh Besar. Salah satu tahapan paling kritis dalam proses produksi semen adalah sistem pembakaran di dalam kiln, dimana material baku mengalami proses kalsinasi dan pembentukan klinker pada temperatur tinggi [1]. Kestabilan proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh kontinuitas dan keseragaman suplai material kiln feed yang masuk ke preheater.

Sistem kiln feeding berfungsi mengatur aliran material dari homogenizing silo menuju preheater secara kontinu dan terukur. Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 berperan sebagai penampung sementara material sebelum dialirkan melalui air slide dan weigh feeder. Karena material berbentuk serbuk halus bersifat kohesif dan mudah mengalami bridging serta rat-holing, digunakan sistem aeration yang bekerja dengan prinsip fluidisasi menggunakan suplai udara dari Root Blower dan sentrifugal fan [2].

Berdasarkan kondisi aktual di lapangan, sistem aeration pada Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 belum bekerja secara optimal. Beberapa permasalahan yang ditemukan antara lain ketidaklancaran aliran material akibat udara yang dihasilkan blower tidak mencukupi, serta penggunaan compressed air tambahan sebagai solusi sementara pada Air Slide LHOX.391-AS26 dan LHOX.321-AS33. Penggunaan compressed air tersebut menyebabkan konsumsi energi meningkat dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan, sehingga mengindikasikan parameter operasi Root Blower belum sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan proses aerasi [3].

Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana cara mengoptimalkan sistem aeration Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 sehingga aliran material dapat berlangsung stabil, efisien, dan tidak bergantung pada penggunaan compressed air tambahan. **Tujuan penelitian ini adalah:** (1) mengevaluasi kinerja aktual sistem aeration Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 berdasarkan tekanan dan debit udara yang dihasilkan Root Blower dibandingkan dengan kebutuhan teoritis; (2) mengidentifikasi akar penyebab (root cause) sistem aeration yang belum bekerja secara optimal menggunakan diagram fishbone; dan (3) merumuskan rekomendasi optimalisasi guna menstabilkan aliran material, menurunkan frekuensi plugging, serta mengurangi ketergantungan terhadap compressed air tambahan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kiln Feeding dan Aeration

Kiln feed yang telah dihomogenisasi di dalam silo dialirkan menuju kiln feed bin sebagai penampung sementara untuk menjaga kontinuitas aliran material serta menghindari fluktuasi feed rate. Perubahan mendadak pada jumlah material yang masuk ke kiln dapat menyebabkan ketidakstabilan temperatur pembakaran, perubahan konsumsi bahan bakar, serta gangguan pada proses kalsinasi [1]. Sistem aeration dipasang pada bagian bawah bin untuk membantu fluidisasi sehingga material lebih mudah mengalir menuju outlet. Fluidisasi terjadi ketika udara dengan tekanan dan kecepatan tertentu dialirkan melalui suatu material sehingga daya dorong udara mampu mengurangi gesekan antar partikel dan membuat material lebih mudah mengalir [4].

2.2 Root Blower Dan Sentrifugal Fan

Root blower banyak diaplikasikan pada industri yang membutuhkan suplai udara bertekanan rendah hingga menengah dengan debit relatif besar dan stabil, dan pada industri semen umumnya digunakan sebagai sumber udara untuk sistem aerasi serta proses fluidisasi material serbuk [2]. Prinsip kerjanya berbasis perpindahan positif (positive displacement) sehingga kapasitas alirannya proporsional terhadap dimensi rotor dan kecepatan putar, sedangkan tekanan discharge ditentukan oleh tahanan sistem (system resistance) pada sisi downstream [5]. Sebagai pelengkap, sentrifugal fan memanfaatkan gaya sentrifugal dari putaran impeller untuk menghasilkan laju aliran udara besar pada tekanan rendah hingga menengah, dan banyak digunakan pada sistem aerasi serta dust collector di industri semen [6].

2.3 Air Slide

Air slide merupakan peralatan transportasi material serbuk yang bekerja berdasarkan prinsip fluidisasi menggunakan udara bertekanan rendah, banyak digunakan pada industri semen untuk memindahkan material halus secara kontinu dengan konsumsi energi relatif rendah [1]. Udara bertekanan rendah dialirkan melalui

media berpori (fabric) sehingga material di atasnya mengalami fluidisasi dan dapat mengalir secara gravitasi akibat kemiringan instalasi. Keberhasilan proses fluidisasi sangat dipengaruhi oleh kecepatan udara, karakteristik material, ketebalan lapisan material, dan distribusi udara pada media berpori [7].

2.4 Sistem Perpipaan dan Head Loss

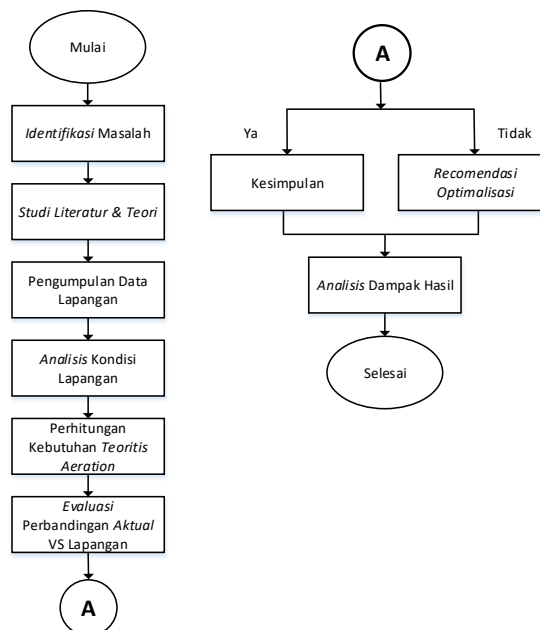
Sistem perpipaan berfungsi sebagai media distribusi udara dari blower menuju titik-titik aerasi, dan harus mampu mempertahankan tekanan, temperatur, serta laju aliran sesuai kebutuhan proses [8]. Dalam perhitungan kebutuhan tekanan, perlu diperhitungkan kehilangan tekanan (head loss) sepanjang jalur aliran, yang terdiri dari head loss mayor akibat gesekan sepanjang pipa yang dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weisbach, dan head loss minor akibat komponen fitting seperti elbow, tee, dan valve [9]. Bilangan Reynolds digunakan untuk menentukan jenis aliran (laminar, transisi, atau turbulen) yang selanjutnya menentukan faktor gesekan melalui diagram Moody atau persamaan eksplisit seperti yang dikembangkan oleh Swamee dan Jain [10], [11].

2.5 Daya Udara Dan Efisiensi Blower

Daya udara (air power) merupakan daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan udara sesuai kapasitas aliran dan tekanan kerja sistem, dipengaruhi oleh berat jenis udara, debit aliran, dan head total sistem [5]. Daya poros (shaft power) merupakan daya aktual yang harus disediakan motor penggerak setelah memperhitungkan rugi-rugi mekanis dan kelistrikan pada sistem transmisi blower. Perbandingan antara daya udara dan daya poros menghasilkan efisiensi blower, yang menjadi indikator seberapa efektif energi listrik dikonversi menjadi energi aliran udara bertekanan [12].

3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di area Kiln Feeding PT. Solusi Bangun Andalas, khususnya pada sistem aeration Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 yang disuplai oleh Root Blower LHOX.431-BL11.



Gambar 1. Metodologi

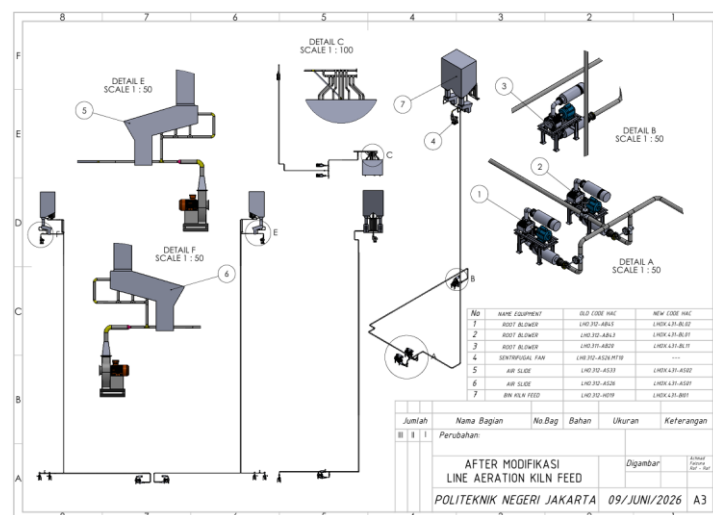
Metode yang digunakan meliputi: (1) observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi existing sistem aerasi; (2) studi literatur mengenai prinsip fluidisasi serbuk, karakteristik root blower, dan teori penurunan tekanan pada sistem perpipaan; (3) pengumpulan data lapangan berupa tekanan outlet blower, arus motor, dimensi dan panjang pipa, jumlah fitting, serta frekuensi plugging; (4) perhitungan kebutuhan teoritis aerasi mencakup kecepatan aliran, bilangan Reynolds, head loss, daya udara, daya poros, dan efisiensi blower; (5) evaluasi perbandingan antara kondisi aktual dan kondisi teoritis; serta (6) penyusunan rekomendasi optimalisasi berdasarkan hasil Root Cause Analysis menggunakan diagram fishbone.

data primer diperoleh dari pengukuran tekanan menggunakan pressure gauge yang dipasang pada outlet Root Blower dan pada jalur aeration menuju kiln feeding bin, data arus dan tegangan motor blower, serta data dimensi pipa galvanis dan jumlah fitting pada jalur eksisting. Parameter perhitungan teknis mengacu pada persamaan kontinuitas, persamaan Reynolds, persamaan Darcy-Weisbach untuk head loss mayor, koefisien kerugian (K) untuk head loss minor, serta persamaan daya udara dan daya poros untuk menentukan efisiensi sistem blower.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Sistem Aeration Eksisting

Sistem aeration kiln feed bin eksisting menggunakan Root Blower LHOX.431-BL11 tipe JTS-125 sebagai sumber utama suplai udara, didukung dua unit blower JTS-100 sebagai redundant equipment. Udara hasil blower didistribusikan melalui jaringan perpipaan galvanis berdiameter 4 inci, 3 inci, 2 inci, dan 1¼ inci menuju beberapa titik aerasi pada kiln feed bin serta Air Slide LHOX.391-AS26 dan LHOX.321-AS33. Berdasarkan kondisi aktual di lapangan, sistem aerasi eksisting masih menggunakan pressure plant tambahan pada kedua air slide tersebut untuk membantu kelancaran material turun menuju chain feeder, yang mengindikasikan distribusi udara dari sistem eksisting belum mencukupi.



Gambar 2. Kondisi Sistem Aeration Eksisting

4.2 Data Operasional

Data operasional Root Blower hasil pengukuran lapangan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Operasional

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Tekanan outlet blower	kPa	12,5 – 39,2
2	Debit aliran udara	m ³ /s	0,227
3	Temperatur udara	°C	30 – 33
4	Arus motor blower	A	56 – 57,6
5	Tegangan motor	Volt	380
6	Putaran blower	rpm	1220
7	Daya motor blower	kW	30

4.3 Perhitungan Kecepatan dan Bilangan Reynolds

Kecepatan aliran udara pada tiap segmen pipa dihitung menggunakan persamaan kontinuitas:

$$V = Q / A$$

dengan Q merupakan debit aliran udara hasil pengukuran sebesar 0,227 m³/s dan A adalah luas penampang pipa pada masing-masing segmen. Hasil perhitungan kecepatan aliran dan bilangan Reynolds pada setiap diameter pipa ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kecepatan Aliran dan Bilangan Reynolds Tiap Segmen Pipa

No.	Diameter pipa	Luas penampang (m ²)	Kecepatan (m/s)	Bilangan Reynolds
1	4 inci	0,00821	27,52	1,76 × 10 ⁵ (turbulen)
2	3 inci	0,00429	52,68	2,62 × 10 ⁵ (turbulen)
3	2 inci	0,00216	104,63	3,45 × 10 ⁵ (turbulen)
4	1¼ inci	0,00096	234,90	5,15 × 10 ⁵ (turbulen)

Seluruh segmen pipa menunjukkan bilangan Reynolds di atas 4.000 sehingga aliran udara pada sistem aeration tergolong aliran turbulen. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik sistem distribusi udara bertekanan rendah dengan kecepatan aliran yang relatif tinggi pada pipa berdiameter kecil [10].

4.4 Perhitungan Daya Udara, Daya Poros dan Efisiensi Blower

Daya udara dihitung berdasarkan berat jenis udara, debit aliran, dan head total sistem menggunakan persamaan:

$$N_{udara} = \gamma \times Q \times H$$

Dengan berat jenis udara $\gamma = 11.417 \text{ kg/m}^3$, debit aliran $Q = 0,227 \text{ m}^3/\text{s}$, dan head blower $H = 875 \text{ m}$, diperoleh daya udara $N_{udara} = 2.269,80 \text{ W}$. Daya poros dihitung berdasarkan tegangan dan arus motor blower:

$$N_{poros} = V \times I \times 0,7$$

dengan tegangan motor 380 V, arus motor 57,6 A, dan konstanta rugi-rugi motor listrik 0,7, diperoleh daya poros $N_{poros} = 15.321,6 \text{ W}$. Efisiensi blower selanjutnya dihitung dengan membandingkan daya udara terhadap daya poros:

$$\eta = (N_{udara} / N_{poros}) \times 100\%$$

sehingga diperoleh efisiensi blower sebesar 14,81 %. Nilai efisiensi yang rendah ini mengindikasikan bahwa sebagian besar energi yang disuplai oleh motor blower belum dikonversi secara efektif menjadi energi aliran udara bertekanan yang sampai ke titik aerasi, sejalan dengan rendahnya tekanan aktual yang terukur pada jalur menuju kiln feeding bin.

Nilai efisiensi blower sebesar 14,81% yang diperoleh pada penelitian ini berada jauh di bawah efisiensi tipikal Root Blower jenis positive displacement, yang menurut CAGI umumnya berkisar antara 40–60% pada kondisi operasi normal [5]. Kesenjangan ini memperkuat indikasi bahwa sebagian besar rugi-rugi terjadi bukan pada unit blower itu sendiri, melainkan pada sistem distribusi udara setelah blower, sejalan dengan pandangan Mills bahwa kehilangan tekanan yang signifikan pada jalur pneumatic conveying umumnya disebabkan oleh desain perpipaan yang tidak sesuai dengan kapasitas blower, bukan oleh kinerja unit penggerak udara itu sendiri [3]. Temuan ini juga konsisten dengan prinsip yang dikemukakan Kunii dan Levenspiel, yaitu bahwa keberhasilan fluidisasi bergantung pada tekanan dan debit udara yang benar-benar sampai ke titik aerasi, bukan semata-mata pada kapasitas sumber udara [8].

4.5 Root Cause Analysis

Analisis penyebab gangguan dilakukan menggunakan diagram fishbone untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan sistem aeration Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 tidak bekerja secara optimal, yang dikelompokkan ke dalam empat kategori sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Root Cause Sistem Aeration Kiln Feed Bin

Faktor	Penyebab
Machine	Sambungan flange kurang optimal, cacat pengelasan, potensi kebocoran pada jalur pipa, minimnya monitoring performa blower, serta plugging pada nozzle aerasi.
Material	Kelembapan material yang tinggi menyebabkan sifat lengket (sticky) sehingga material menempel pada dinding bin dan nozzle aerasi.
Man	Kurangnya pemahaman operator terhadap prinsip kerja sistem aerasi serta minimnya perawatan dan monitoring rutin oleh operator.
Method	Belum diterapkannya prosedur inspeksi berkala serta penggunaan compressed air sebagai solusi sementara yang tidak sesuai dengan desain sistem.

Berdasarkan hasil Root Cause Analysis, penyebab dominan tidak optimalnya sistem aeration adalah kombinasi antara pressure drop dan kebocoran pada sistem perpipaan (machine), kelembapan material yang menyebabkan plugging (material), kurangnya kompetensi monitoring operator (man), dan ketergantungan pada penggunaan compressed air sebagai solusi sementara (method).

Temuan Root Cause Analysis pada penelitian ini sejalan dengan penelitian dan referensi sejenis pada sistem penanganan material serbuk di industri semen, dimana Peray dan Alsop juga mengidentifikasi kebocoran sambungan pipa serta kelembapan material sebagai penyebab dominan gangguan aliran pada sistem kiln feeding [9], [1]. Faktor method berupa penggunaan compressed air sebagai solusi sementara pada penelitian ini turut memperkuat pandangan ASME B31.3 bahwa modifikasi sistem perpipaan di luar desain awal cenderung menimbulkan inefisiensi baru apabila tidak disertai evaluasi ulang terhadap kebutuhan tekanan dan kapasitas sistem secara keseluruhan [12].

4.6 Rekomendasi Optimalisasi

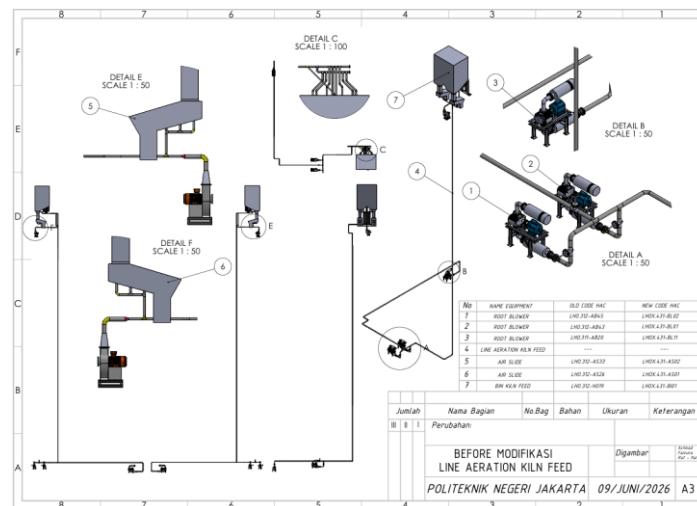
Berdasarkan hasil analisis kondisi aktual dan perhitungan teknis, dilakukan rekomendasi optimalisasi berupa penambahan titik aeration pada air slide dari 3 titik menjadi 4 titik agar distribusi udara menjadi lebih merata, serta mengaktifkan kembali sentrifugal fan yang telah terpasang di area kiln feed di bawah chain feeder sebagai suplai udara tambahan. Selain itu, direkomendasikan pengoperasian dua unit Root Blower secara bersamaan pada sistem aeration Kiln Feed Bin LHOX.411-BI01 untuk meningkatkan kapasitas debit dan tekanan udara yang disuplai ke sistem, sehingga kebutuhan tekanan aerasi pada kisaran 18–22 kPa dapat terpenuhi tanpa bergantung pada compressed air tambahan.

Rekomendasi pengoperasian dua unit Root Blower secara bersamaan didasarkan pada perhitungan perbandingan kinerja antara skenario 1 unit dan 2 unit blower, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.

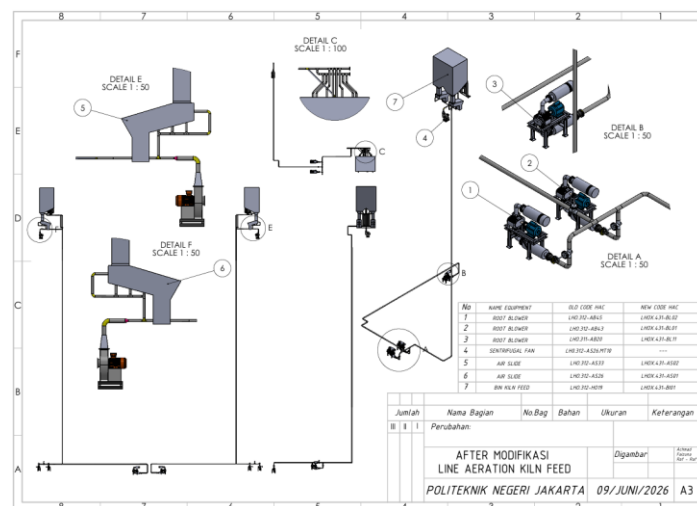
Tabel 4. Perbandingan Kinerja 1 Unit dan 2 Unit Root Blower

Skenario	Debit Total	Head Blower (H)	Efisiensi
1 Blower (JTS 125)	0,227 m ³ /s	10 kPa	14,81%
2 Blower (JTS 125 + JTS 100)	0,339 m ³ /s	14 kPa	24,91%

Pengoperasian 2 unit blower secara paralel meningkatkan debit total dari 0,227 m³/s menjadi 0,339 m³/s serta menaikkan tekanan yang dihasilkan dari 10 kPa menjadi 14 kPa, dengan efisiensi meningkat dari 14,81% menjadi 24,91%. Peningkatan tekanan sebesar +4 kPa dan efisiensi sebesar +10,1 poin persentase ini menunjukkan bahwa opsi 2 blower paralel lebih unggul secara teknis dibandingkan penambahan kapasitas pada 1 unit blower saja, sehingga dipilih sebagai dasar rekomendasi optimalisasi.



Gambar 3. Before Modifikasi



Gambar 4. After Modifikasi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan, analisis data, perhitungan teknis, dan implementasi modifikasi yang telah dilakukan pada sistem aeration Kiln Feed Bin LHOX. 411-BI01, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Evaluasi kinerja aktual sistem aeration menunjukkan bahwa tekanan pada titik kritis berdasarkan pengukuran lapangan hanya mencapai 8–16 kPa, masih di bawah kebutuhan operasi ideal sebesar 18–22 kPa. Perhitungan teoritis memperkuat temuan ini dengan Root Blower JTS 125 (1 unit) yang hanya menghasilkan head blower sebesar 875 m (~10 kPa) dengan efisiensi 14,81%, yang belum cukup untuk mengatasi total head loss sistem sebesar 82.264,6 m akibat panjang jalur pipa dan banyaknya fitting, sehingga kinerja aktual sistem masih di bawah kebutuhan teoritis.
2. Berdasarkan analisis menggunakan diagram fishbone, teridentifikasi empat faktor penyebab utama ketidakoptimalan sistem aeration, yaitu faktor mesin (machine) yang ditunjukkan oleh panjang jalur pipa dan banyaknya fitting yang menyebabkan pressure drop signifikan serta posisi blower yang berada ±54 meter di bawah bin sehingga menambah head loss; faktor material karena kadar kelembapan yang menurunkan flowability dan menyebabkan material lengket serta menggumpal; faktor manusia (man) karena inspeksi rutin terhadap kondisi canvas aeration belum dilakukan secara menyeluruh; serta faktor

metode (method) karena ketergantungan pada pressure plant sebagai suplai udara tambahan yang menunjukkan kapasitas blower eksisting belum mencukupi.

3. Berdasarkan perhitungan teknis, pengoperasian 2 unit Root Blower secara paralel (JTS 125 + JTS 100) terbukti memberikan hasil yang lebih baik dengan head blower sebesar 1.224,8 m (~14 kPa) dan efisiensi 24,91%, meningkat 10,1% dibandingkan skenario 1 unit. Tambahan tekanan sebesar 4 kPa (dari 10 kPa menjadi 14 kPa) membuat sistem lebih mendekati kebutuhan operasi dan berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap pressure plant secara signifikan.
4. Implementasi modifikasi *line aeration* telah berhasil dilaksanakan dengan penambahan titik aerasi dari 3 menjadi 4 titik pada *air slide* serta pengaktifan sentrifugal *fan* tambahan. Progres implementasi baru mencapai 70%, dengan 30% sisanya berupa penyesuaian sistem *start-up* dan tahap *trial* operasional yang masih menunggu jadwal perbaikan kiln. Modifikasi ini diharapkan dapat meningkatkan distribusi udara dan secara bertahap menghilangkan ketergantungan pada *pressure plant* setelah seluruh tahapan implementasi selesai dilaksanakan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, diperlukan beberapa upaya perbaikan untuk meningkatkan kinerja sistem aeration agar proses distribusi material dapat berjalan lebih stabil, efisien, dan mengurangi potensi terjadinya gangguan operasional.

Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Menyelesaikan perubahan logika sistem start-up agar dua unit Root Blower dapat dioperasikan secara paralel sesuai rancangan modifikasi, kemudian melakukan trial menyeluruh saat kiln beroperasi untuk memastikan sistem aerasi mampu meluncurkan aliran material dari Air Slide menuju Chain Feeder.
2. Menghentikan penggunaan pressure plant sebagai suplai udara tambahan secara bertahap dan menggantinya dengan sentrifugal fan yang telah terpasang sebagai sumber udara utama pada sistem aerasi Kiln Feed Bin, sehingga sistem aerasi menjadi mandiri dan lebih efisien.
3. Memindahkan ketiga unit Root Blower (LHOX.391-BL11, LHOX.431-BL01, dan LHOX.431-BL02) ke area yang lebih dekat atau berada di bawah Kiln Feed Bin untuk mengurangi perbedaan elevasi yang saat ini mencapai ± 54 meter. Dengan pemindahan ini, head loss akibat perbedaan ketinggian dapat ditekan secara signifikan sehingga tekanan efektif yang sampai ke titik aerasi meningkat dan kinerja blower menjadi lebih optimal.
4. Menyusun jadwal inspeksi rutin terhadap kondisi canvas aeration pada Kiln Feed Bin dan air slide untuk mendeteksi sejak dini adanya penyumbatan, sobek, atau penurunan permeabilitas yang dapat mengganggu distribusi udara.
5. Melakukan monitoring tekanan udara, arus motor, dan debit aliran secara berkala pasca-modifikasi untuk memastikan kinerja sistem tetap optimal serta mengevaluasi efektivitas pengurangan penggunaan pressure plant secara kuantitatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Solusi Bangun Andalas atas finansialnya pada penelitian ini dan tim Utility atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah & Project ini. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Fajar Mulyana, S.T., M.T., Bapak Muhammad Shadri L & Muhammad Nafis selaku pembimbing lapangan atas dikusinya yang bermanfaat.

REFERENSI

- [1] P. A. Alsop, The Cement Plant Operations Handbook, 7th ed. Tradeship Publications Ltd., 2005.
- [2] P. A. Alsop, The Cement Plant Operations Handbook, 8th ed. Tradeship Publications Ltd., 2024.
- [3] D. Mills, Pneumatic Conveying Design Guide, 3rd ed. Elsevier, 2016.

- [4] ROOTS, Universal RAI® Blower Engineering and Application Manual. Dresser LLC, 2019.
- [5] CAGI, Compressed Air and Gas Handbook, 7th ed. Compressed Air and Gas Institute, 2022.
- [6] F. P. Bleier, Fan Handbook: Selection, Application, and Design. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1998.
- [7] A. H. Church, Centrifugal Pumps and Blowers. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1950.
- [8] D. Kunii and O. Levenspiel, Fluidization Engineering, 2nd ed. Boston, MA, USA: Butterworth-Heinemann, 1991.
- [9] K. E. Peray, The Rotary Cement Kiln. New York, NY, USA: Chemical Publishing Company, 1986.
- [10] M. L. Nayyar, Piping Handbook, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2000.
- [11] Crane Co., Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe, Technical Paper No. 410. Crane Co., 1988.
- [12] ASME, ASME B31.3 Process Piping. New York, NY, USA: American Society of Mechanical Engineers, 2022.
- [13] R. W. Fox, A. T. McDonald, and P. J. Pritchard, Introduction to Fluid Mechanics, 8th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2011.
- [14] B. R. Munson, D. F. Young, and T. H. Okiishi, Fundamentals of Fluid Mechanics, 7th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2013.
- [15] F. M. White, Fluid Mechanics, 8th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2016.
- [16] P. K. Swamee and A. K. Jain, "Explicit equations for pipe-flow problems," Journal of the Hydraulics Division, vol. 102, no. 5, pp. 657–664, 1976.
- [17] L. F. Moody, "Friction factors for pipe flow," Transactions of the ASME, vol. 66, no. 8, pp. 671–684, 1944.