



Penurunan Kebutuhan Penanganan Manual Blocking pada Air Slide 392-AS7 melalui Modifikasi Injeksi Aerasi

Andhika Ian Rusendra¹, Sonki Prasetya^{2*}, dan Paulus Andika³

¹Program Studi D3 Teknik Mesin (Konsentrasi Rekayasa Industri Semen), Jurusan Teknik Mesin, 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

³Plant Area Manager, PT Solusi Bangun Indonesia Tbk Cilacap Plant, Jl. Ir. H. Juanda, Kec. Cilacap Utara, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah 53234

*Corresponding author E-mail address: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Air slide 392-AS7 di PT Solusi Bangun Indonesia (PT SBI) Cilacap berfungsi mentransport cement kiln dust (CKD) dengan prinsip fluidisasi. Tingginya kelembapan material dan defisit suplai udara menyebabkan blocking berulang sehingga tim produksi harus berkali-kali melakukan pembersihan manual pada jalur air slide, yang menimbulkan downtime, area kerja kotor, dan risiko keselamatan. Penelitian ini bertujuan menurunkan kebutuhan penanganan manual tersebut melalui pendekatan rekayasa sistematis: identifikasi akar masalah, analisis kebutuhan udara, pemilihan desain, perhitungan, penerapan, dan evaluasi. Modifikasi berupa penambahan injeksi aerasi pada sisi tail upper casing menggunakan poke hole dan pipa ½ inci. Pengukuran lapangan menunjukkan aliran udara eksisting 631,08 m³/jam terhadap kebutuhan ideal 737,1 m³/jam, sehingga terdapat defisit 106,02 m³/jam. Injeksi aerasi menghasilkan debit 131,4 m³/jam pada tekanan 0,41 bar (di atas kebutuhan minimum 0,357 bar), sehingga mampu menutup defisit sekaligus memecah gumpalan material. Setelah modifikasi diterapkan, frekuensi blocking dan pembersihan manual turun dari 5 kali menjadi 0 kali per bulan, dengan penghematan biaya sekitar Rp100,18 juta per tahun. Hasil tersebut menegaskan bahwa modifikasi injeksi aerasi terbukti efektif mencapai tujuan penelitian, yaitu menghilangkan kebutuhan penanganan manual sekaligus menjaga material tetap terfluidisasi dan mengalir lancar di sepanjang jalur air slide.

Kata-kata kunci: Air slide, Cement Kiln Dust, Blocking, Injeksi Aerasi, Penanganan Manual

Abstract

Air slide 392-AS7 at PT Solusi Bangun Indonesia (PT SBI) Cilacap transports cement kiln dust (CKD) using the fluidization principle. High material moisture combined with an air-supply deficit causes recurring blocking, forcing the production team to repeatedly clean the air slide line manually, which leads to downtime, an unclean working area, and safety risks. This study aims to reduce that manual-handling need through a systematic engineering approach: root-cause identification, air-requirement analysis, design selection, calculation, application, and evaluation. The modification adds aeration injection on the tail side of the upper casing using a poke hole and a ½-inch pipe. Field measurements show an existing airflow of 631.08 m³/h against an ideal requirement of 737.1 m³/h, a deficit of 106.02 m³/h. The injection produces 131.4 m³/h at 0.41 bar (above the 0.357 bar minimum), closing the deficit while breaking up material lumps. After the modification, the blocking and manual-cleaning frequency dropped from 5 to 0 times per month, with an annual cost saving of about IDR 100.18 million. These results confirm that the aeration-injection modification is effective in achieving the research objective, namely eliminating the need for manual handling while keeping the material fluidized and flowing smoothly along the air slide.

Keywords: Air slide, Cement Kiln Dust, Blocking, Aeration Injection, Manual Handling

1. PENDAHULUAN

Di PT Solusi Bangun Indonesia (PT SBI) Cilacap terdapat area *product conveying* yang mentransport material *cement kiln dust* (CKD), yaitu debu hasil pembakaran *kiln* dan *raw mill* [1]. Material tersebut dipindahkan oleh sejumlah *equipment*, salah satunya *air slide*, yaitu peralatan yang mengangkut material berbentuk serbuk pada konstruksi mendatar atau dengan sudut inklinasi 4–15° dengan memanfaatkan prinsip fluidisasi [2]. Udara dari *blower* dialirkan ke *lower casing*, menembus kanvas *porous*, lalu memfluidisasi material pada *upper casing* sehingga material mengalir mengikuti kemiringan saluran menuju *outlet*.

Material CKD merupakan debu halus sisa pembakaran kiln yang secara kimiawi mirip dengan bahan baku semen, mengandung kalsium oksida, silika, alumina, dan oksida besi beserta senyawa alkali [1]. Karakteristik partikelnya yang sangat halus membuat CKD bersifat higroskopis sehingga mudah menyerap uap air. Ketika kelembapan material meningkat, gaya kohesi antarpartikel menguat dan kemampuan material untuk terfluidisasi menurun; material cenderung menggumpal dan menempel pada kanvas *porous*. Akibatnya, meskipun udara fluidisasi tetap dialirkan, lapisan material yang lembap tidak lagi dapat bergerak menyerupai fluida sehingga aliran tersendat dan memicu *blocking* pada saluran.

Kendala utama yang dihadapi *Air slide* 392-AS7 adalah aliran material yang tidak lancar; kondisi ini membuat material tertahan, menumpuk dan memicu *blocking*. Setiap kali *blocking* terjadi, tim produksi diharuskan membuka *casing* dan membersihkan (*cleaning*) material yang menyumbat di sepanjang jalur secara manual. Aktivitas penanganan manual ini membuat area kerja menjadi kotor dan tidak terkontrol, menimbulkan risiko keselamatan, serta mengakibatkan *downtime* operasional yang ditaksir mencapai Rp16,79 juta setiap bulannya. Mengacu pada catatan notifikasi tim *patrol* di laporan harian CCR, peristiwa *blocking* sepanjang Oktober 2025 terjadi sebanyak lima kali [3], yang mengindikasikan bahwa penanganan manual bukan kejadian insidental melainkan beban operasional rutin.

Penelitian terdahulu oleh Fadhilah dkk. menunjukkan bahwa penyediaan jalur udara tambahan dapat membantu memperlancar aliran material pada area yang mengalami penyumbatan [4]. Pendekatan rekayasa terapan serupa juga diterapkan oleh Akbar dkk. melalui alur kerja sistematis mulai dari identifikasi akar masalah, pemilihan desain sesuai kondisi lapangan, implementasi modifikasi, hingga evaluasi berbasis data operasional [5]. Kerangka kerja tersebut diadopsi pada penelitian ini dengan fokus pada penurunan kebutuhan penanganan manual pada *Air slide* 392-AS7.

Meskipun demikian, kajian *air slide* yang telah dipublikasikan umumnya masih berhenti pada tataran pemodelan dan simulasi, seperti optimasi parameter berbasis simulasi CFD-DEM oleh Zhang dkk. [6] dan model teoretis transport serbuk halus oleh Shen dkk. [7], sedangkan solusi lapangan Fadhilah dkk. [4] diterapkan pada jalur ekstraksi *blending silo*, bukan pada *air slide* pengangkut CKD lembap. Kesenjangan penelitian (*research gap*) yang teridentifikasi adalah belum adanya studi yang menuntaskan *blocking* akibat kombinasi defisit suplai udara dan tingginya kelembapan CKD melalui modifikasi langsung di lapangan. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini adalah injeksi aerasi terkonsentrasi ke *upper casing* sisi *tail* melalui *poke hole* yang dirancang dari kuantifikasi defisit udara, diverifikasi dengan perhitungan tekanan minimum, dan dievaluasi menggunakan data operasional aktual.

Penelitian ini bertujuan menurunkan kebutuhan penanganan manual akibat *blocking* pada *Air slide* 392-AS7 dengan menutup defisit suplai udara sekaligus memecah gumpalan material melalui penambahan injeksi aerasi. Solusi ini diterapkan pada sisi *tail air slide* dan efektivitasnya diverifikasi melalui analisis kebutuhan udara, perhitungan teknis, serta pengujian dan evaluasi di lapangan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

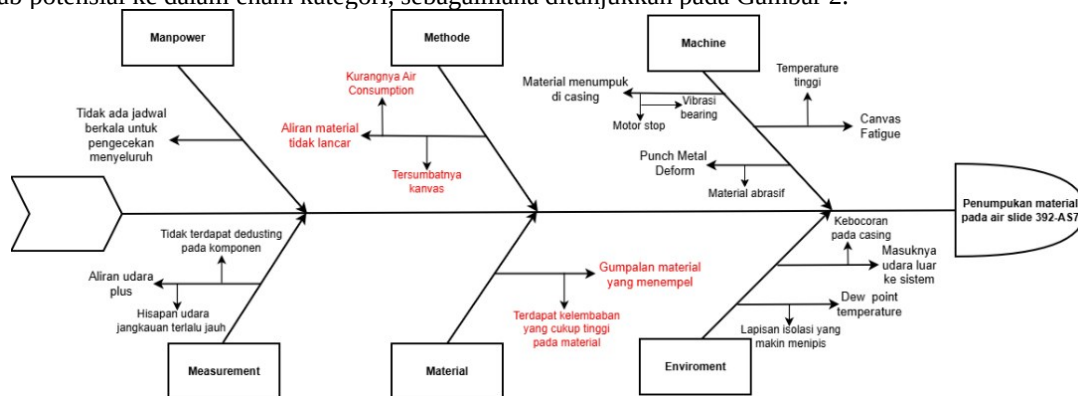
Penelitian dilaksanakan secara sistematis mengikuti tahapan pada Gambar 1. Proses diawali dengan identifikasi dan perumusan masalah, dilanjutkan studi pustaka sebagai dasar teori, kemudian analisis data kondisi aktual sistem. Hasil analisis digunakan untuk mendiskusikan ide pemecahan masalah; apabila ide disetujui, tahapan dilanjutkan ke perancangan desain, realisasi di lapangan, serta analisis dan evaluasi; apabila belum disetujui, proses kembali ke tahap analisis data. Urutan ini memastikan setiap keputusan teknis didasarkan pada data dan pengujian, bukan asumsi.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

2.2 Identifikasi Masalah dan Analisis Akar Penyebab

Identifikasi masalah difokuskan pada gangguan *blocking*. Berdasarkan data CCR, selama Oktober 2025 terjadi 5 kali *blocking* yang seluruhnya menuntut pembersihan manual. Untuk menentukan akar penyebab, dilakukan analisis *Root Cause Analysis* (RCA) [8] menggunakan *fishbone diagram* yang mengelompokkan sebab potensial ke dalam enam kategori, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Fishbone diagram analisis akar penyebab *blocking*

Dari enam kategori tersebut, dua faktor paling berpengaruh adalah metode, yaitu suplai udara (*air consumption*) yang kurang sehingga aliran material terhambat, serta material, yakni kadar kelembapan CKD yang tinggi sehingga gumpalan mudah menempel. Kondisi *blocking* yang menuntut pembersihan manual ditunjukkan pada Gambar 3, dengan material menggumpal dan menempel di sepanjang jalur.



Gambar 3. Kondisi *blocking* dan penumpukan material yang menuntut pembersihan manual

Dugaan faktor material diverifikasi melalui pengujian *surface moisture* CKD dengan metode *oven-drying* [9]. Dari massa sampel sebelum dan sesudah pemanasan diperoleh kadar air sebagai berikut:

$$M = \frac{(w_1 + w_s)}{w_s} \times 100\% = \frac{(27,877 + 1,0001)}{1,0001} \times 100\% = 2,61\% \quad (1)$$

Nilai *moisture* 2,61% berada di atas kandungan normal H₂O material, yang menegaskan bahwa material memiliki kadar air berlebih sehingga lebih mudah menggumpal dan menempel. Dengan demikian, akar penyebab *blocking* difokuskan pada defisit suplai udara dan tingginya kelembapan material.

2.3 Analisis Kebutuhan Udara

Untuk mengukur besar defisit, laju aliran udara aktual (*existing*) diukur pada pipa *inlet* yang menghubungkan *blower* dengan saluran *air slide* menggunakan alat *MiniAir Junior*. Diperoleh kecepatan aliran $v = 21,33$ m/s pada pipa berdiameter $D = 102,3$ mm (0,1023 m). Luas penampang dan debit aktual dihitung melalui persamaan (2) dan (3):

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times (0,1023)^2}{4} = 0,00822 \text{ m}^2 \quad (2)$$

$$Q_{\text{eks}} = v \times A = 21,33 \times 0,00822 = 0,1753 \text{ m}^3/\text{s} = 631,08 \text{ m}^3/\text{jam} \quad (3)$$

Kebutuhan udara ideal dihitung berdasarkan pedoman *air slide* dengan *guide value* untuk material halus sebesar 3,0 m³/m² per menit [10], karena material CKD pada kondisi lapangan berpotensi lembap. Dengan lebar kanvas $W = 0,35$ m dan panjang kanvas $L = 11,7$ m, kebutuhan ideal dihitung melalui persamaan (4):

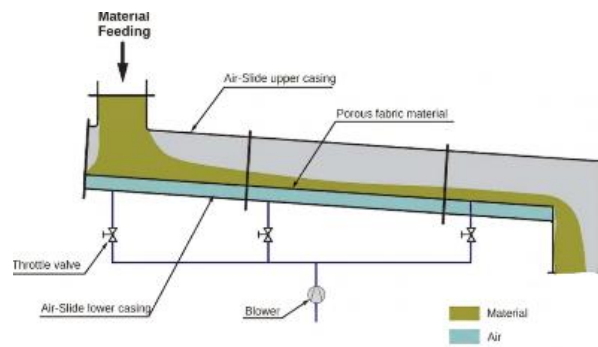
$$Q_{\text{ideal}} = L \times W \times q = 11,7 \times 0,35 \times 3 = 12,285 \text{ m}^3/\text{menit} = 737,1 \text{ m}^3/\text{jam} \quad (4)$$

Perbandingan antara kebutuhan ideal (737,1 m³/jam) dan aliran aktual (631,08 m³/jam) menunjukkan defisit suplai udara sebesar $737,1 - 631,08 = 106,02$ m³/jam yang harus ditutup oleh modifikasi.

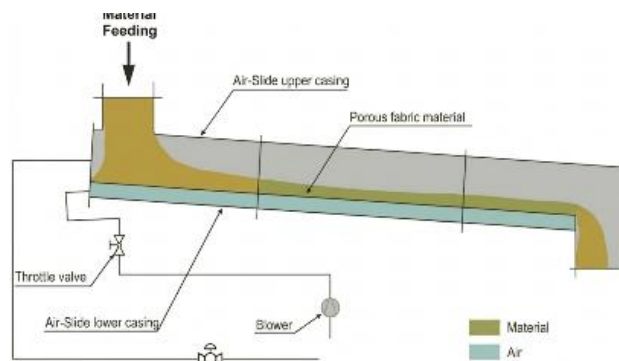
2.4 Perumusan Ide dan Pemilihan Desain

Berdasarkan akar penyebab dan besar defisit, dirumuskan ide penambahan suplai aerasi yang difokuskan ke titik penyumbatan [4]. Rancangan harus mampu meningkatkan laju aliran udara, mudah difabrikasi dan dipasang, aman dioperasikan, serta mampu memecah gumpalan material. Dua konsep alternatif kemudian dibandingkan. Konsep 1 menambahkan pipa distribusi bercabang dengan *throttle valve* pada *chamber* bawah; Konsep 2 menambahkan aerasi langsung ke *upper casing* melalui *poke hole* pada sisi *tail*. Perbandingan skematik kedua konsep ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Konsep 1 (Gambar 4a), udara disebar merata di sepanjang *chamber* bawah sebelum menembus kanvas sehingga tekanan aerasi lebih stabil dan merata, namun pemasangannya lebih rumit karena menuntut banyak titik injeksi di sepanjang jalur. Pada Konsep 2 (Gambar 4b), udara diinjeksikan terkonsentrasi tepat di sisi *tail* tempat material menggumpal sehingga rancangannya lebih sederhana, lebih mudah direalisasikan, dan langsung memecah gumpalan pada titik penyumbatan. Penilaian terhadap enam kriteria teknis dengan skala 1–5 disajikan pada Tabel 1.

(A) Konsep 1



(B) Konsep 2

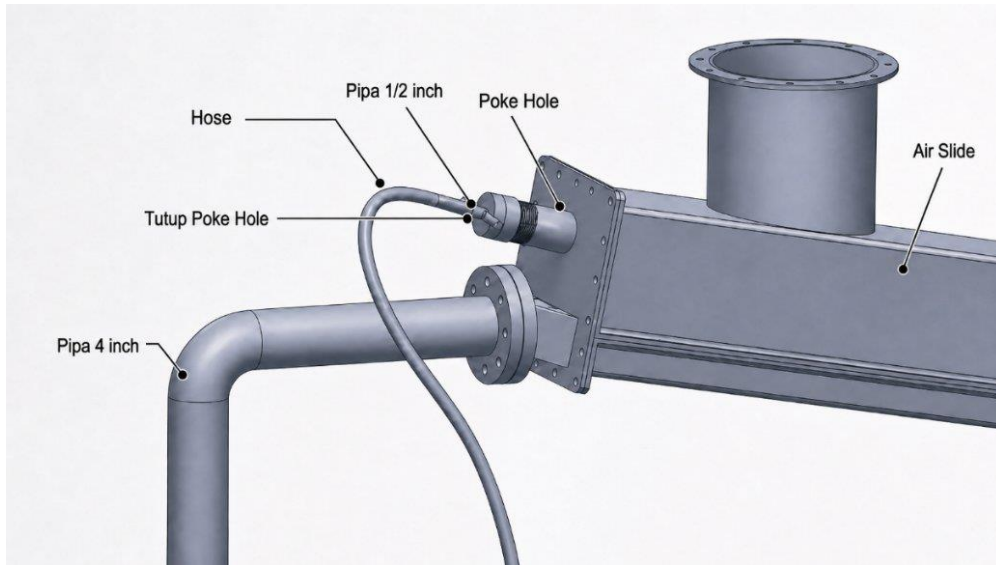


Gambar 4. Perbandingan konsep modifikasi injeksi aerasi: (a) Konsep 1 dan (b) Konsep 2

Tabel 1. Perbandingan penilaian antar konsep modifikasi

Kriteria	Konsep 1	Konsep 2
Perancangan, fabrikasi, dan instalasi mudah	2	5
Biaya modifikasi lebih murah	2	5
Minim <i>loss</i> jika konsep gagal	3	4
Tidak mengubah desain utama	4	4
Memungkinkan menambah dorongan material	4	4
Sesuai pedoman <i>manual book air slide</i>	5	2
Total bobot	20	24

Konsep 2 memperoleh total bobot 24 poin, unggul dibanding Konsep 1 (20 poin), sehingga dipilih sebagai desain yang dikembangkan. Rancangan mengintegrasikan *motor compressor*, *ball valve* sebagai pengatur debit, *hose*, dan pipa ½ inci yang masuk ke *upper casing* melalui *poke hole* pada sisi *tail air slide*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Penempatan ini mengarahkan aliran udara langsung ke lokasi yang memerlukan tanpa perlu membongkar struktur utamanya.



Gambar 5. Skema rancangan modifikasi injeksi aerasi pada sisi *tail air slide*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Parameter Lapangan

Setelah modifikasi dipasang, dilakukan pengujian parameter untuk dasar perhitungan. Tekanan total diukur menggunakan *digital manometer* HM28 dan diperoleh 410 mbar (41.000 Pa); tekanan statis diukur menggunakan ManoAir100 dan diperoleh 19 kPa (19.000 Pa); suhu udara diukur menggunakan termometer Fluke 52 II bersensor *thermocouple* tipe K dan diperoleh 26,5 °C [11]. Selain itu, massa *feed material* yang tertahan di atas kanvas per siklus *flap valve* ditentukan dari laju umpan 15 ton/jam dengan pembukaan tiap 6 detik melalui persamaan (5):

$$m = \frac{15.000 \text{ kg/jam}}{3600 \text{ detik/jam}} \times 6 \text{ detik} = 25 \text{ kg} \quad (5)$$

Dengan demikian, setiap siklus *flap valve* menahan 25 kg material CKD di atas kanvas, yang menjadi dasar analisis gaya pada Subbab 3.3.

3.2 Perhitungan Debit Aliran Udara Injeksi

Debit injeksi dihitung untuk memastikan modifikasi mampu menutup defisit 106,02 m³/jam. Massa jenis udara injeksi dihitung dengan persamaan gas ideal menggunakan tekanan absolut (19.000 + 101.325 = 120.325 Pa) dan suhu 299,65 K melalui persamaan (6):

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} = \frac{120.325}{287 \times 299,65} = 1,399 \text{ kg/m}^3 \quad (6)$$

Tekanan dinamis diperoleh dari selisih tekanan total dan tekanan statis pada persamaan (7), kemudian kecepatan aliran diturunkan dari persamaan Bernoulli [12] dengan asumsi titik stagnasi ($v_i = 0$) dan ketinggian sama pada persamaan (8):

$$\Delta P = P_t - P_s = 41.000 - 19.000 = 22.000 \text{ Pa} \quad (7)$$

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 22.000}{1,399}} = 177,34 \text{ m/s} \quad (8)$$

Debit aliran udara injeksi kemudian dihitung dari kecepatan dan luas penampang pipa injeksi ($A_p = \pi r^2$) melalui persamaan kontinuitas (9):

$$Q_{inj} = v \times A_p = 177,34 \times \pi(0,0081)^2 = 0,0365 \text{ m}^3/\text{s} = 131,4 \text{ m}^3/\text{jam} \quad (9)$$

Debit injeksi sebesar 131,4 m³/jam melampaui defisit 106,02 m³/jam, sehingga kebutuhan suplai udara sistem terpenuhi. Karena kapasitas melebihi kebutuhan, bukaan *ball valve* diatur secukupnya agar suplai sesuai kebutuhan tanpa berlebih.

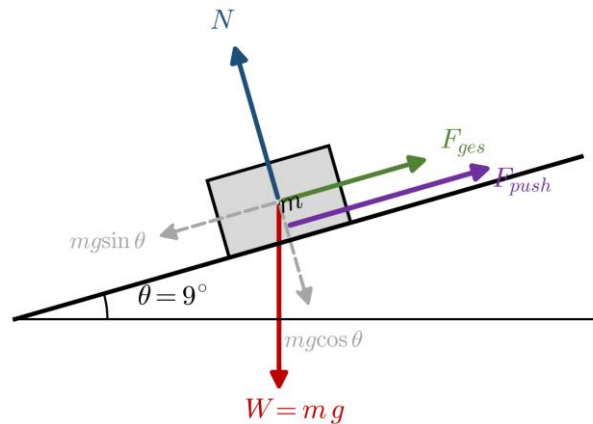
3.3 Verifikasi Tekanan Injeksi

Verifikasi dilakukan untuk memastikan tekanan injeksi mampu mendorong material yang tertahan, mengikuti pendekatan analisis gaya dan aliran udara pada pemodelan transport material serbuk halus di *air slide* [7]. Material diperlakukan sebagai *bulk solid* dengan *bulk density* lembap $\rho_m = 1.200 \text{ kg/m}^3$. Volume dan ketebalan lapisan material dihitung melalui persamaan (10) dan (11):

$$V = \frac{m}{\rho_m} = \frac{25}{1.200} = 0,02083 \text{ m}^3 \quad (10)$$

$$h = \frac{V}{L \times W} = \frac{0,02083}{11,7 \times 0,35} = 5,09 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (11)$$

Selanjutnya dianalisis gaya yang bekerja pada material di atas kanvas dengan kemiringan $\theta = 9^\circ$ dan koefisien gesek efektif $\mu_s = 0,25$. Diagram benda bebas gaya-gaya tersebut ditunjukkan pada Gambar 6, mencakup gaya normal, komponen berat searah kemiringan, gaya gesek, dan gaya dorong injeksi. Gaya normal, komponen berat, dan gaya gesek dihitung pada persamaan (12)–(14):



Gambar 6. Diagram benda bebas gaya pada material di atas kanvas *air slide*

$$N = m \cdot g \cdot \cos \theta = 25 \times 9,81 \times \cos 9^\circ = 242,20 \text{ N} \quad (12)$$

$$F_{mg} = m \cdot g \cdot \sin \theta = 25 \times 9,81 \times \sin 9^\circ = 38,36 \text{ N} \quad (13)$$

$$F_{ges} = \mu_s \cdot N = 0,25 \times 242,20 = 60,55 \text{ N} \quad (14)$$

Karena $\tan 9^\circ = 0,158$ lebih kecil dari $\mu_s = 0,25$, material tidak dapat meluncur hanya dengan gravitasi sehingga diperlukan gaya dorong tambahan dari aerasi *tail* pada persamaan (15). Gaya ini bekerja pada penampang efektif lapisan material (persamaan (16)) sehingga menentukan tekanan *chamber* atas yang dibutuhkan (persamaan (17)):

$$F_{push} = F_{ges} - F_{mg} = 60,55 - 38,36 = 22,19 \text{ N} \quad (15)$$

$$A_{eff} = W \times h = 0,35 \times 0,00509 = 1,781 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad (16)$$

$$P_{ch} = \frac{F_{push}}{A_{eff}} = \frac{22,19}{0,001781} = 12.459 \text{ Pa} \approx 12,46 \text{ kPa} \quad (17)$$

Selain mendorong material, udara injeksi juga harus mengatasi rugi gesek sepanjang pipa. Kecepatan aliran dalam pipa, bilangan Reynolds, dan kekasaran relatif dihitung pada persamaan (18)–(20):

$$v_p = \frac{Q}{A_p} = \frac{0,0365}{2,061 \times 10^{-4}} = 177,09 \text{ m/s} \quad (18)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu_a} = \frac{1,399 \times 177,09 \times 0,0162}{1,8 \times 10^{-5}} = 2,23 \times 10^5 \quad (19)$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00015}{0,0162} = 0,00926 \quad (20)$$

Karena $Re = 2,23 \times 10^5$ (turbulen) dan $\varepsilon/D = 0,00926$, dari *Moody Chart* diperoleh faktor gesek $f \approx 0,037$. Rugi gesek pipa kemudian dihitung dengan persamaan Darcy–Weisbach (21), dan tekanan injeksi minimum merupakan penjumlahan tekanan *chamber* dan rugi gesek pada persamaan (22):

$$\Delta P_{major} = f \cdot \frac{L_p}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2} = 0,037 \times \frac{0,5}{0,0162} \times \frac{1,399 \times (177,09)^2}{2} = 23,27 \text{ kPa} \quad (21)$$

$$P_{inj,min} = P_{ch} + \Delta P_{major} = 12,46 + 23,27 = 35,73 \text{ kPa} \approx 0,357 \text{ bar} \quad (22)$$

Tekanan injeksi minimum 0,357 bar (g) lebih kecil daripada tekanan yang disediakan sumber injeksi di lapangan sebesar 0,41 bar (g), sehingga terdapat *pressure margin* sebagai cadangan. Dengan demikian, secara perhitungan modifikasi terbukti mampu menutup defisit aliran udara sekaligus memberikan tekanan yang cukup untuk memecah gumpalan dan mendorong material kembali mengalir menuju *outlet*.

3.4 Realisasi dan Penerapan Modifikasi

Modifikasi tidak langsung dibuat permanen, melainkan diawali tahap *trial* sejak akhir November 2025 agar kerugian dapat ditekan apabila konsep gagal. Bukaan *ball valve* diatur bertahap secara *trial and error* hingga mampu menutup defisit 106,02 m³/jam sekaligus memecah gumpalan CKD yang lembap, sambil mengamati aliran material hingga terfluidisasi dan mengalir lancar. Setelah terbukti efektif, pada April 2026 modifikasi diubah menjadi permanen. Perbandingan kondisi di lapangan sebelum dan sesudah modifikasi ditunjukkan pada Gambar 7.



(a) Sebelum modifikasi

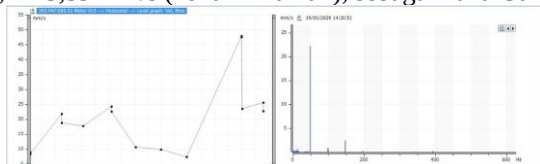


(b) Sesudah modifikasi

Gambar 7. Perbandingan kondisi di lapangan: (a) sebelum dan (b) sesudah modifikasi injeksi aerasi

3.5 Penanganan Gangguan Sekunder pada Blower

Pada 29 Januari 2026 sempat kembali terjadi satu kali *blocking* dengan penyebab berbeda, yaitu berhentinya motor *blower* 392-FA7 akibat getaran *bearing* yang tinggi. Hasil pengukuran tim *Preventive Maintenance* (PM) menunjukkan kecepatan getaran (*velocity RMS*) mencapai ± 30 mm/s yang menurut standar ISO 10816-3 tergolong zona D (*damaging*), sebagaimana Gambar 8(a). Untuk mengembalikan keandalan suplai udara, dilakukan dua tindakan, yaitu reposisi motor agar sisi hisap menjauh dari area jatuhnya debu *air slide* dan pembersihan (*cleaning*) *impeller* yang terkontaminasi debu. Setelah perbaikan, getaran turun drastis menjadi 3,14–3,39 mm/s (zona B – aman), sebagaimana Gambar 8(b).



(a) Sebelum perbaikan

Measuring Results: 392-FA7-000.04 Bearing FS

Condition parameters

Date/Time	RPM1	Disp. Rms (μm)	Vel. Rms (mm/s)	Acc. Rms (m/s ²)	Vel. Peak (mm/s)	Vel. Peak to peak (mm/s)
20/02/2026 09:47:57	3000,0	21,28	3,39	1,24	9,17	16,79
30/01/2026 09:26:28	3000,0	11,42	3,14	1,42	12,76	24,85
30/01/2026 09:26:23	3000,0	11,34	3,17	1,43	8,39	14,28

(b) Sesudah perbaikan

Gambar 8. Hasil pengukuran getaran *bearing* motor *blower* 392-FA7: (a) sebelum dan (b) sesudah perbaikan

3.6 Evaluasi Penurunan Penanganan Manual

Dampak modifikasi terhadap kebutuhan penanganan manual ditunjukkan pada Tabel 2. Sebelum modifikasi, *blocking* terjadi 5 kali per bulan dan setiap kejadian menuntut tim produksi melakukan pembersihan

manual. Sejak injeksi aerasi bekerja dan gangguan getaran *blower* tertangani, tidak pernah lagi terjadi *blocking* pada *Air slide* 392-AS7 sampai penyusunan makalah ini pada Juni 2026, sehingga frekuensi pembersihan manual turun menjadi 0 kali per bulan. Massa material yang tertahan saat *blocking* pun turun dari $\pm 1,23$ ton menjadi hanya ± 25 kg per siklus, atau berkurang sekitar 98%.

Tabel 2. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah modifikasi

Parameter	Sebelum	Sesudah
Frekuensi <i>blocking</i> (per bulan)	5 kali	0 kali
Frekuensi pembersihan manual (per bulan)	5 kali	0 kali
Massa material tertahan	$\pm 1,23$ ton	± 25 kg
Aliran udara terhadap kebutuhan	Defisit 106,02 m ³ /jam	Terpenuhi (+131,4 m ³ /jam)
Kondisi area kerja	Kotor, berisiko	Bersih, terkendali

Kondisi akhir jalur *air slide* setelah modifikasi ditunjukkan pada Gambar 9, dengan material terfluidisasi dan mengalir lancar tanpa *coating* pada dinding *casing*. Hal ini menegaskan bahwa kebutuhan penanganan manual oleh tim produksi berhasil dihilangkan.



Gambar 9. Kondisi material mengalir lancar setelah modifikasi diterapkan

Hasil tersebut sejalan dengan teori fluidisasi yang mendasari kerja *air slide*: material halus hanya dapat mengalir apabila suplai udara cukup untuk mempertahankan kondisi terfluidisasi. Temuan ini konsisten dengan pemodelan Shen dkk. yang menempatkan kecukupan udara sebagai penentu kelancaran transport serbuk halus [7], hasil simulasi CFD-DEM Zhang dkk. tentang pengaruh parameter suplai udara terhadap kinerja aliran [6], serta laporan Fadhilah dkk. bahwa penambahan jalur udara efektif memulihkan aliran yang tersumbat [4]. Perbedaannya, kedua kajian pertama berhenti pada model dan simulasi, sedangkan penelitian ini memverifikasinya melalui penerapan langsung pada unit yang beroperasi; di sinilah letak kontribusinya, yaitu bukti lapangan bahwa injeksi aerasi tepat sasaran mampu menghilangkan *blocking* pada material higroskopis seperti CKD.

Dari sisi kinerja sistem, hilangnya *blocking* meningkatkan ketersediaan jalur *product conveying* karena *downtime* pembersihan manual tidak lagi terjadi dan potensi kerugian operasional $\pm$ Rp16,79 juta per bulan dapat dihindari. Pendekatan ini berpotensi diterapkan pada *air slide* lain yang menangani material halus higroskopis dengan gejala serupa, dengan syarat defisit udara tiap unit dikuantifikasi terlebih dahulu dan tekanan injeksi minimum diverifikasi sesuai karakteristik material serta geometri saluran agar *pressure margin* tetap terjaga.

4. KESIMPULAN

Modifikasi injeksi aerasi pada sisi *tail upper casing* *Air slide* 392-AS7 melalui *poke hole* dan pipa $\frac{1}{2}$ inci terbukti efektif mencapai tujuan penelitian, yaitu menghilangkan kebutuhan penanganan *blocking* secara manual. Akar masalah teridentifikasi berupa kombinasi defisit suplai udara sebesar 106,02 m³/jam dan kadar kelembapan CKD 2,61% yang melebihi kondisi normal. Injeksi aerasi berdebit 131,4 m³/jam pada tekanan 0,41

bar mampu menutup defisit tersebut sekaligus melampaui tekanan minimum hasil verifikasi sebesar 0,357 bar, sehingga frekuensi *blocking* dan pembersihan manual turun dari 5 kali menjadi 0 kali per bulan. Dengan demikian, area kerja menjadi lebih bersih dan aman, dan pendekatan yang sama dapat dijadikan acuan penyelesaian kasus serupa pada peralatan transport material serbuk lainnya.

5. SARAN

Agar modifikasi memberikan manfaat yang berkelanjutan, kinerja *Air slide* 392-AS7 perlu dijaga melalui *monitoring* dan pemeliharaan preventif yang terjadwal. Beberapa aspek yang sebaiknya diperiksa secara rutin meliputi kondisi *canvas* (kebersihan serta permeabilitasnya), kerapatan *casing*, *chamber*, dan *sealing* pada setiap sambungan, kebersihan filter, kestabilan keluaran udara *blower*, kinerja sistem *dedusting*, hingga tingkat kelembapan material maupun udara injeksi. Pemeriksaan berkala semacam ini membuat gejala penyumbatan, kebocoran, atau penurunan debit udara dapat terdeteksi lebih awal sebelum kembali memicu *blocking*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Solusi Bangun Indonesia Tbk. Cilacap Plant atas kesempatan, fasilitas, dan pendampingan selama pelaksanaan penelitian di lapangan, serta yang pastinya kepada Departemen Produksi Pabrik Cilacap atas dukungan dan kerja sama yang diberikan sehingga proyek tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta dan Program EVE (*Enterprise-based Vocational Education*) atas dukungan akademik yang diberikan.

REFERENSI

- [1] D. Khairunnisa, A. Salamah, I. Adriani, and C. Choerudin, "Green Practice in Cement Industry : Energy and Economic Analysis on The Substitution of Limestone by Cement Kiln Dust," pp. 252–257, 2025.
- [2] R. Puspita *et al.*, "Evaluasi Kinerja Alat Mill Fan Di Cement Mill Pada Pt Semen Baturaja Persero Tbk," 2022.
- [3] Y C Kusuma, "Trouble AS 7 Blocking," 2025, *Plant Cilacap*.
- [4] M. A. Fadhilah, Y. Mafendro, and D. Eka, "Modifikasi Jalur Ekstraksi pada West Blending of Silo menggunakan open air valve," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta (Semnas Mesin PNJ)*, pp. 1051–1060, 2025, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [5] A. F. Akbar, S. Prasetya, and R. Karimak, "Otomatisasi Sistem Pengisian Tangki Air di Area Gas Conditioning Tower," pp. 586–595, 2023.
- [6] C. Zhang, Y. Zhang, Y. Liu, and X. Guo, "Numerical Simulation and Parameter Optimization of Air Slide Based on CFD-DEM," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 9, p. 5205, 2025, doi: 10.3390/app15095205.
- [7] J. Shen, H. Liu, H. Ding, K. Williams, Z. Zhao, and G. Wan, "Theoretical Modelling of Airslides for Fine Powder Transporting," *J. Appl. Fluid Mech.*, vol. 19, no. 5, pp. 1005–1018, 2026, doi: 10.47176/jafm.19.5.3942.
- [8] K. Wibowo, "Analisa dan Evaluasi: Akar Penyebab dan Biaya Sisa Material Konstruksi Proyek Pembangunan Kantor Kelurahan di Kota Solo, Sekolah, dan Pasar Menggunakan Root Cause Analysis (RCA) dan Fault Tree Analysis (FTA)," *e-Jurnal MATRIKS Tek. SIPIL*, pp. 303–310, 2018.
- [9] Y. A. Kusuma and R. Akbar, "Studi Eksperimental dan Analisis Statistik Multifaktorial terhadap Pengaruh Komposisi Limbah Plastik , Limbah Serabut Kelapa , Fly Ash , dan Gypsum sebagai Bahan Substitusi dalam Pembuatan Papan Semen Ramah Lingkungan Depertemen Teknik Sipil , Universitas," vol. 14, no. 5, pp. 444–458, 2025.
- [10] W. Flückiger and R. Künzi, "Air-slides," 2006.
- [11] M. Aini, A. M. Fitrianingrum, and K. Kurniahtunnisa, "Alat Ukur," 2024. [Online]. Available: <https://share.google/aimode/QzMudlh7onP4BdylN>
- [12] M. Abdullah, *Fisika Dasar I*, Edisi Revi. Bandung: Penerbit ITB, 2016. [Online]. Available: <https://www.itbpress.id/product/fi-1101-fisika-dasar-i/>