Jurnal PROTEMAN
Professional Technology and Manufacturing
Vol. 3 No. 1 (2026) 36 – 41 | ISSN: 3063-2773 (Media Online)

Optimalisasi Pengiriman Batubara ke Pabrik dengan Perancangan *Safety Block* pada *Chute Belt Conveyor* 5F2J05

Khairil Huda Lubis[1], Asmed[2*], Nofriadi[3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia
*Corresponding author: mailman@pnp.ac.id

Abstract

Undetected material blockage in the transfer chute of a coal belt conveyor causes spillage around the conveyor intake, long cleaning times, and diversion of coal delivery to an unmixed bypass line. This study aimed to design and apply a low-cost mechanical safety block that detects chute blockage and stops the conveyor automatically. A hanging steel plate pushed by accumulated coal rotates a lever that actuates a roller-lever limit switch connected to the conveyor interlock and a control-room alarm. The shaft, bearings, and welded joint were checked with standard machine element procedures, the limit switch was tested under incremental loads, and the time lost per blockage event was compared before and after installation. The switch actuated at a test load of 0.5 kg, and the 25 mm shaft (minimum 22.4 mm), the 6205ZZ bearings (static safety factor about 110), and the fillet weld (capacity about 35.9 kN) were adequate. The time lost per blockage event fell from 60 to 15 minutes, equivalent to about 375 t of coal per event at 500 t/h. The device, which cost IDR 2,667,000, offers coal-handling plants a simple alternative to camera-based blockage monitoring.

Keywords: *belt conveyor, chute blockage, coal handling, limit switch, safety block*

Abstrak

Block material pada *chute* transfer *belt conveyor* batubara yang tidak terdeteksi menyebabkan batubara tumpah di sekitar *intake conveyor*, waktu pembersihan yang lama, dan pengalihan pengiriman batubara ke jalur *bypass* tanpa proses pencampuran. Penelitian ini bertujuan merancang dan menerapkan *safety block* mekanis berbiaya rendah yang mendeteksi *block* pada *chute* dan menghentikan *conveyor* secara otomatis. Plat baja yang tergantung pada poros terdorong oleh tumpukan batubara, lalu memutar tuas yang menekan *limit switch* tipe *roller lever* yang terhubung dengan *interlock conveyor* dan alarm di ruang kendali. Poros, bantalan, dan sambungan las diperiksa dengan prosedur elemen mesin standar, *limit switch* diuji dengan beban bertahap, dan waktu hilang per kejadian *block* dibandingkan sebelum dan sesudah pemasangan. *Limit switch* aktif pada beban uji 0,5 kg, sedangkan poros 25 mm (diameter minimum 22,4 mm), bantalan 6205ZZ (faktor keamanan statis sekitar 110), dan las sudut (kapasitas sekitar 35,9 kN) memenuhi syarat. Waktu hilang per kejadian *block* turun dari 60 menjadi 15 menit, setara dengan sekitar 375 t batubara per kejadian pada kapasitas 500 t/jam. Alat dengan biaya Rp 2.667.000 ini menjadi alternatif sederhana bagi pemantauan *block* berbasis kamera pada instalasi penanganan batubara.

Kata kunci: batubara, *belt conveyor*, *block chute*, *limit switch*, *safety block*

Diterima Redaksi : 28-08-2025 | Selesai Revisi : 08-11-2026 | Diterima : 08-11-2026

1. Pendahuluan

Pabrik Indarung IV, Indarung V, dan Indarung VI PT Semen Padang memakai batubara untuk pembakaran *raw mix* di dalam *rotary kiln*. Batubara dari *stockpile* terlebih dahulu dicampur di *storage* untuk menyeragamkan spesifikasinya sebelum dikirim ke pabrik. Jika peralatan pada jalur pengiriman dari *storage* bermasalah, batubara dikirim melalui jalur *bypass* langsung dari *stockpile* tanpa proses pencampuran, yang kurang efisien dari segi waktu maupun kualitas.

Salah satu penyebab utama pengalihan ke jalur *bypass* adalah *block* material pada *chute belt conveyor* 5F2J05. *Block* yang tidak terdeteksi secara langsung membuat batubara tumpah di sekitar *intake conveyor*, sehingga waktu pembersihan menjadi panjang dan kapasitas pengiriman batubara campuran ke pabrik menurun.

Block pada *chute* merupakan salah satu kegagalan titik transfer yang paling berbahaya karena dapat merusak sabuk dan struktur baja jalur *conveyor*; penyebabnya antara lain material berukuran besar, benda asing, dan laju umpan yang melebihi kemampuan *conveyor* penerima [1]. Pada batubara basah dan lengket, gaya adhesi yang tinggi di dekat dinding *chute* menjadi penyebab utama penyumbatan, dan simulasi elemen diskret menunjukkan bahwa getaran pada *chute* dapat melemahkan ikatan tersebut [2]. Tumpahan batubara pada *conveyor* juga dapat dikurangi dengan merancang ulang zona pengendapan material, yang pada satu studi meningkatkan produksi rata-rata dari 76% menjadi 95% kapasitas rancangan [3].

Pemantauan kondisi *belt conveyor* berkembang ke arah metode uji tak rusak, visi mesin, dan termografi [4], serta pemanfaatan kecerdasan buatan dan *internet of things* untuk deteksi kerusakan dan perawatan prediktif

[5]. Kerusakan *idler* dideteksi dengan analisis sinyal getaran dan akustik berbasis pembelajaran mesin [6], dengan perangkat terpasang tetap maupun bergerak [7], termasuk robot inspeksi yang memadukan citra inframerah dan RGB [8]. Beban dan kerusakan sabuk juga dapat diklasifikasikan dari sinyal *strain gauge* pada *pulley* dengan algoritma pembelajaran mesin [9].

Khusus untuk deteksi *block*, Bortnowski dkk. memasang kamera RGB industri di titik transfer dan melatih *CNN autoencoder* dengan citra operasi normal sehingga kondisi tersumbat dikenali sebagai anomali [1]. Fu dkk. menggabungkan kamera CCD dan *lidar* dengan model RetinaNet yang dimodifikasi untuk mendeteksi penyumbatan dan kebocoran batubara di atas sabuk [10]. Wang dkk. mengembangkan pemantau kontak dengan mekanisme putar yang kembali ke posisi semula setelah terganggu, dikendalikan PLC dengan konfirmasi waktu, dan memperoleh tingkat alarm palsu 1,22% pada model skala laboratorium [11].

Penelitian-penelitian tersebut menitikberatkan pada sistem berbasis citra dan kecerdasan buatan atau masih diuji pada skala laboratorium. Sementara itu, laporan tentang detektor *block* mekanis sederhana yang dibuat dari komponen standar pabrik, lengkap dengan perhitungan rancangan dan dampaknya di lapangan pada jalur batubara industri semen, masih jarang dijumpai. Penelitian ini bertujuan merancang *safety block* mekanis dan memeriksa kekuatan komponen utamanya, menguji fungsi *limit switch* sebagai pemicu penghentian *conveyor*, serta mengevaluasi pengaruh pemasangan alat terhadap waktu hilang per kejadian *block* dan potensi pengiriman batubara.

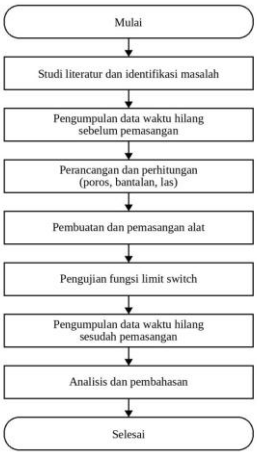
2. Metode Penelitian

2.1 Tahapan Penelitian

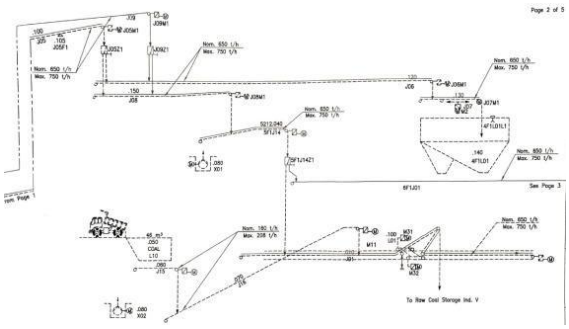
Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, dimulai dari studi literatur dan identifikasi masalah, pengumpulan data waktu hilang sebelum pemasangan, perancangan dan perhitungan, pembuatan dan pemasangan, pengujian fungsi, pengumpulan data sesudah pemasangan, hingga analisis.

2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah *chute* pada *belt conveyor* 5F2J05 di jalur *Central Coal Mixing* PT Semen Padang (Gambar 2). *Belt conveyor* 5F2J05 dirancang untuk kapasitas 650–750 t/jam, tetapi kapasitas operasionalnya 500 t/jam karena keterbatasan alat penarikan di *storage coal mixing*.



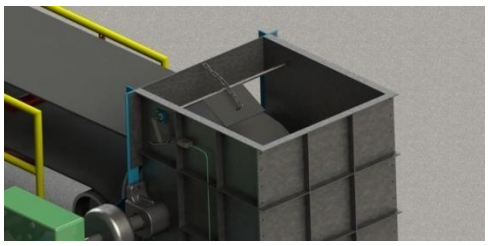
Gambar 1. Tahapan penelitian



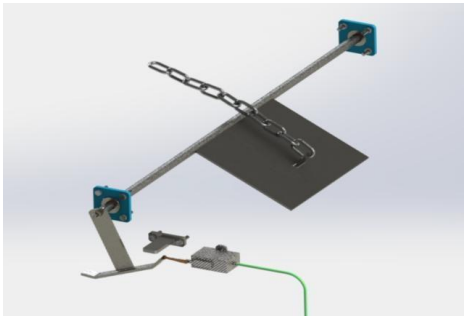
Gambar 2. *Flow sheet belt conveyor* 5F2J05; lingkaran merah menunjukkan lokasi *chute* (sumber: PT Semen Padang)

2.3 Rancangan Alat

Rancangan pemasangan *safety block* pada *chute* ditunjukkan pada Gambar 3, dan rancangan alat ditunjukkan pada Gambar 4. Plat *safety block* digantung pada poros yang ditumpu dua bantalan. Ketika batubara menumpuk di dalam *chute*, material mendorong plat sehingga poros berputar dan tuas menekan *limit switch*. Kontak *limit switch* memutus rangkaian kendali (*interlock*) sehingga *belt conveyor* 5F2J05 berhenti dan alarm muncul pada monitor di *Central Control Room* (CCR). Rantai penahan membatasi ayunan plat.

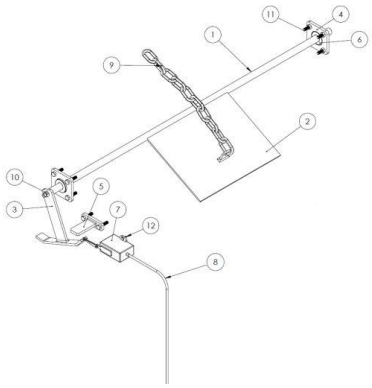


Gambar 3. Rancangan pemasangan *safety block* pada *chute*



Gambar 4. Rancangan *safety block*

Komponen alat ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 1.



Gambar 5. Komponen *safety block* (nomor sesuai Tabel 1)

Tabel 1. Komponen *safety block*

No.	Nama komponen	Jumlah
1	Poros (*shaft*)	1
2	Plat *safety block*	1
3	Tuas *safety block*	1
4	*Housing* bantalan	2
5	*Stopper*	1
6	Bantalan	2
7	*Limit switch*	1
8	Kabel sensor	1
9	Rantai penahan	1
10	Baut dan mur M10 × 1,5	10
11	Mur M12 × 1,75	1
12	Baut dan mur M6 × 1	2

2.4 Komponen Listrik

Limit switch dan kabel dipilih dari jenis yang sudah banyak digunakan di pabrik PT Semen Padang agar suku cadangnya mudah diperoleh. Spesifikasinya, yang diambil dari data material pabrik, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi *limit switch* dan kabel sensor

Parameter	Nilai
Limit switch	Schmersal Z4VH332-11Y-M20
Tegangan operasi	400/250 V, AC/DC
Arus operasi terukur (I_e)	2,5 A
Jenis aktuator	*Roller lever*
Jumlah kontak	1 NO + 1 NC
Proteksi	IP65
Standar	IEC 60947
Kabel sensor	NYY 3 × 1,5 mm²
Tegangan kabel	0,6/1 kV
Standar kabel	IEC 60502

2.5 Metode Perhitungan Rancangan

Perhitungan rancangan meliputi gaya aktivasi alat, kekuatan poros, bantalan, dan sambungan las. Perhitungan poros dan bantalan mengikuti prosedur Sularso dan Suga [12], seperti yang juga digunakan pada perancangan poros mesin lain [13], sedangkan sambungan las mengikuti Achmad [14]. Karena plat tidak digerakkan motor, gaya dan kecepatan pada perhitungan poros diperlakukan sebagai beban rencana konservatif, bukan kondisi operasi normal. Faktor koreksi dipilih pada sisi konservatif karena poros menerima tumbukan material dan beban lentur dari plat yang menggantung.

2.6 Pengujian Fungsi Limit Switch

Fungsi *limit switch* diuji dengan memberikan beban bertahap 0,1; 0,3; dan 0,5 kg pada mekanisme *safety block* dan mencatat apakah kontak *limit switch* bekerja.

2.7 Pengumpulan Data Kinerja

Waktu hilang didefinisikan sebagai durasi sejak *conveyor* berhenti akibat *block* hingga siap beroperasi kembali, meliputi persiapan peralatan dan pembersihan material. Data waktu hilang dikumpulkan pada kondisi sebelum dan sesudah pemasangan alat. Potensi tambahan pengiriman batubara per kejadian *block* dihitung dengan persamaan (1).

$$\Delta Q = Q \cdot \Delta t \tag{1}$$

dengan ΔQ potensi pengiriman (t), Q kapasitas operasi (t/menit), dan Δt selisih waktu hilang sebelum dan sesudah pemasangan (menit).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Limit Switch

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3. Kontak *limit switch* bekerja pada beban 0,5 kg dan tidak bekerja pada beban 0,1 dan 0,3 kg.

Tabel 3. Hasil pengujian *limit switch*

No.	Beban (kg)	Hasil
1	0,1	Belum bekerja
2	0,3	Belum bekerja
3	0,5	Bekerja

Gaya aktivasi pada titik uji adalah:

$$F_{uji} = m_{uji} \cdot g = 0{,}5 \times 9{,}81 = 4{,}9\ \text{N} \tag{2}$$

Dengan keseimbangan momen terhadap sumbu poros, gaya dorong material minimum pada plat yang diperlukan untuk mengaktifkan alat adalah:

$$F_{m,min} = F_{uji} \cdot r_{uji} / h_m \tag{3}$$

dengan r_{uji} jarak titik pembebanan uji ke sumbu poros dan h_m jarak titik tekan material pada plat ke sumbu poros. Makin jauh titik tekan material dari sumbu poros, makin kecil gaya dorong yang diperlukan.

Gaya aktivasi dalam orde beberapa newton jauh lebih kecil daripada dorongan tumpukan batubara di dalam *chute*, sehingga alat bereaksi pada tahap awal penumpukan. Sebaliknya, gaya yang kecil juga berarti percikan material atau getaran kuat berpotensi menggerakkan plat, sehingga kejadian penghentian palsu perlu dipantau selama operasi.

3.2 Pemeriksaan Kekuatan Poros

Beban rencana diambil dari jumlah beban aktivasi, massa plat (5,65 kg), dan massa tuas (1,1 kg):

$$F = (m_{uji} + m_p + m_t) \cdot g = 71{,}1 \text{ N} \quad (4)$$

Kecepatan ekivalen dan daya rencana dihitung dengan diameter lintasan d = 0,625 m dan putaran ekivalen n = 70 rpm:

$$v = \pi \cdot d \cdot n / 60 = 2{,}29 \text{ m/s} \quad (5)$$

$$P_s = F \cdot v = 162{,}9 \text{ W} \quad (6)$$

$$P_d = f_c \cdot P_s = 1{,}2 \times 0{,}163 \approx 0{,}2 \text{ kW} \quad (7)$$

Momen puntir rencana [12]:

$$T = 9{,}74 \times 10^5 \cdot P_d / n = 2.783 \text{ kg·mm} \quad (8)$$

Satuan T pada persamaan (8) adalah kg·mm (≈ 27,3 N·m), dengan P_d dalam kW dan n dalam rpm.

Bahan poros S35C dengan kekuatan tarik σ_B = 52 kg/mm² [12], faktor keamanan S_{f1} = 6,0 untuk baja karbon, dan S_{f2} = 1,5 untuk pengaruh konsentrasi tegangan dan kekasaran permukaan, sehingga tegangan geser izin:

$$\tau_a = \sigma_B / (S_{f1} \cdot S_{f2}) = 5{,}78 \text{ kg/mm}^2 \quad (9)$$

Diameter poros minimum dihitung dengan faktor koreksi puntiran K_t = 2,0 (beban dengan tumbukan) dan faktor koreksi lenturan C_b = 2,3 (nilai maksimum, karena plat menggantung pada poros) [12]:

$$d_s = [(5{,}1/\tau_a) \cdot K_t \cdot C_b \cdot T]^{1/3} = 22{,}4 \text{ mm} \quad (10)$$

Poros yang digunakan berdiameter 25 mm. Tegangan geser yang terjadi pada poros 25 mm adalah:

$$\tau = 5{,}1 \cdot T / d^3 = 0{,}91 \text{ kg/mm}^2 \quad (11)$$

Setelah dikalikan faktor koreksi, $K_t \cdot C_b \cdot \tau$ = 4,18 kg/mm², lebih kecil daripada τ_a = 5,78 kg/mm², sehingga poros 25 mm memenuhi syarat dengan cadangan sekitar 1,4 kali. Diameter 25 mm juga dipilih agar sesuai dengan bantalan standar yang tersedia di pabrik.

3.3 Pemeriksaan Bantalan

Poros ditumpu dua bantalan bola 6205ZZ dengan diameter dalam 25 mm, diameter luar 52 mm, lebar 15 mm, kapasitas dinamis C = 14,8 kN, dan kapasitas statis C_0 = 7,8 kN [15]. Karena poros hanya berayun dengan sudut kecil, kriteria yang menentukan adalah beban statis. Secara konservatif, seluruh beban radial F_r = 7,25 kg dianggap ditumpu satu bantalan, sehingga P_0 = 71,1 N dan faktor keamanan statis:

$$s_0 = C_0 / P_0 = 7.800 / 71{,}1 \approx 110 \quad (12)$$

Nilai ini jauh di atas nilai yang lazim disyaratkan untuk bantalan bola, yaitu sekitar 1–2 [15]. Sebagai pembanding, perhitungan umur dengan faktor kecepatan $f_n = (33{,}3/n)^{1/3} = 0{,}78$, beban ekivalen P = X · V · F_r = 7,25 kg (X = 1 dan V = 1 untuk beban radial murni dan cincin dalam berputar), dan C = 1.508,7 kg memberikan faktor umur $f_h = f_n \cdot C/P = 162$ dan umur nominal $L_h = 500 \cdot f_h^3 \approx 2{,}1 \times 10^9$ jam [12]. Angka ini menunjukkan bahwa keausan bantalan akibat putaran bukan kriteria yang menentukan pada alat ini.

3.4 Pemeriksaan Sambungan Las

Plat disambung ke poros dengan las sudut tinggi kaki a = 3 mm dan panjang l = 400 mm menggunakan elektroda E6013 berdiameter 2,6 mm dengan kekuatan tarik maksimum 62 ksi (427,5 N/mm²). Dengan faktor keamanan 5, tegangan tarik izin 85,5 N/mm² dan tegangan geser izin adalah:

$$\tau_g = 0{,}5 \cdot \sigma_t = 42{,}7 \text{ N/mm}^2 \quad (13)$$

Tegangan pada sambungan akibat berat plat F_p = 5,65 × 9,81 = 55,4 N dihitung dengan persamaan (14) [14].

$$\tau = (F_p / A_w) \cdot k \quad (14)$$

dengan $A_w = 0{,}7 \cdot a \cdot l = 840$ mm² luas leher las, $k = \sqrt{(1 + (6H/l)^2)} = 1{,}001$, dan H lengan beban terhadap sambungan (3 mm). Hasilnya τ = 0,066 N/mm², jauh di bawah τ_g.

Kapasitas sambungan dapat dinyatakan sebagai gaya maksimum yang diizinkan:

$$F_{maks} = \tau_g \cdot A_w / k \approx 35{,}9 \text{ kN} \quad (15)$$

Kapasitas ini jauh di atas berat plat dan gaya aktivasi, sehingga sambungan tetap aman ketika plat terdorong tumpukan batubara.

3.5 Pembuatan, Pemasangan, dan Biaya

Proses pembuatan, pemasangan alat, dan instalasi *limit switch* ditunjukkan pada Gambar 6–8. Pembuatan dan pemasangan membutuhkan tiga hari kerja dengan biaya total Rp 2.667.000.

3.6 Kinerja Setelah Pemasangan

Waktu hilang sebelum dan sesudah pemasangan ditunjukkan pada Tabel 4. Kondisi *block* sebelum pemasangan dan kondisi area *intake* setelah pemasangan ditunjukkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 6. Pembuatan *safety block*



Gambar 7. Pemasangan *safety block*

Tabel 4. Waktu hilang per kejadian *block*

Aktivitas	Sebelum pemasangan	Sesudah pemasangan
Waktu hilang untuk persiapan peralatan dan pembersihan material per kejadian *block*	60 menit	15 menit

Waktu hilang per kejadian turun 45 menit atau 75%. Sebelum pemasangan, *block* baru diketahui setelah material tumpah di sekitar *intake*, sehingga waktu hilang didominasi pembersihan tumpahan. Setelah pemasangan, *conveyor* berhenti pada tahap awal penumpukan dan operator hanya perlu membersihkan *chute*. Dengan kapasitas operasi 500 t/jam (8,33 t/menit), persamaan (1) memberikan potensi pengiriman:

$$\Delta Q = 8{,}33 \times 45 \approx 375 \text{ t per kejadian} \quad (16)$$

Angka ini merupakan potensi per kejadian *block*. Potensi tambahan pengiriman per bulan diperoleh dengan mengalikan nilai ini dengan jumlah kejadian *block* dalam sebulan.



Gambar 8. Instalasi *limit switch*



Gambar 9. Kondisi *block* material sebelum pemasangan alat



Gambar 10. Kondisi area *intake belt conveyor* 5F2J05 setelah pemasangan alat

3.7 Perbandingan dengan Penelitian Lain

Perbandingan *safety block* dengan pendekatan lain ditunjukkan pada Tabel 5. Berbeda dengan sistem berbasis citra [1], [10], *safety block* tidak memerlukan kamera, perangkat komputasi, maupun data latih, dan seluruh komponennya merupakan suku cadang standar pabrik. Prinsipnya paling dekat dengan pemantau kontak Wang dkk. [11]; perbedaannya, *safety block* langsung memutus *interlock* tanpa logika konfirmasi waktu dan sudah diterapkan pada skala penuh di lapangan. Pendekatan pencegahan, yaitu *chute* bergetar [2] dan perancangan ulang zona pengendapan [3], menyasar penyebab *block* dan tumpahan, sehingga dapat melengkapi detektor ini untuk mengurangi frekuensi *block*.

Tabel 5. Perbandingan pendekatan penanganan *block* dan tumpahan

Pendekatan	Prinsip	Kebutuhan dan catatan
Safety block (penelitian ini)	Plat terdorong material, tuas menekan *limit switch*	Komponen mekanis dan *interlock*; skala penuh di lapangan
Pemantau kontak [11]	Mekanisme putar kontak dengan konfirmasi waktu PLC	Alarm palsu 1,22%; skala laboratorium
Kamera RGB + *CNN autoencoder* [1]	Citra titik transfer dibandingkan dengan pola normal	Kamera, komputasi, data citra
Kamera CCD + *lidar* + RetinaNet [10]	Citra 3D muatan di atas sabuk	Mendeteksi *block* dan kebocoran; sistem lebih kompleks
Chute bergetar [2]	Getaran melemahkan adhesi material basah	Pencegahan, bukan deteksi
Rancang ulang zona pengendapan [3]	Pengaturan aliran batubara dengan *blade gate*	Pencegahan tumpahan; produksi naik 76% → 95%

Keterbatasan penelitian ini adalah data kinerja yang berasal dari satu *chute*, serta belum dicatatnya kejadian penghentian palsu seperti yang dilaporkan pada [11]. Penumpukan material lengket pada plat juga dapat menghambat gerakan plat, sehingga plat perlu diperiksa dan dibersihkan secara berkala. Secara praktis, hasil ini menunjukkan bahwa detektor mekanis sederhana dapat diterapkan pada titik transfer lain dengan biaya dan waktu pengerjaan yang kecil.

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan merancang dan menerapkan *safety block* untuk mendeteksi *block* material pada *chute belt conveyor* batubara. *Safety block* yang terdiri

atas plat gantung, tuas, dan *limit switch* Schmersal Z4VH332-11Y-M20 berhasil dibuat dan dipasang dalam tiga hari kerja dengan biaya Rp 2.667.000, serta terhubung dengan *interlock* dan alarm di CCR. *Limit switch* bekerja pada beban uji 0,5 kg, dan poros 25 mm, bantalan 6205ZZ, serta sambungan las memenuhi syarat kekuatan. Waktu hilang per kejadian *block* turun dari 60 menjadi 15 menit atau 75%, setara dengan potensi pengiriman sekitar 375 t batubara per kejadian pada kapasitas operasi 500 t/jam. Penelitian lanjutan disarankan untuk memperpanjang periode pengamatan, mencatat kejadian penghentian palsu, dan mengombinasikan detektor dengan upaya pencegahan *block*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang dan PT Semen Padang atas dukungan selama pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Rujukan

[1] P. Bortnowski, H. Gondek, R. Król, D. Marasova, and M. Ozdoba, "Detection of blockages of the belt conveyor transfer point using an RGB camera and CNN autoencoder," *Energies*, vol. 16, no. 4, Art. no. 1666, 2023, doi: 10.3390/en16041666.

[2] J. Li, Y. Tan, S. Zhou, S. Yan, and J. Zhang, "Discrete element simulation of vibration-assisted chute to prevent blockage of viscous materials," *Processes*, vol. 13, no. 9, Art. no. 2819, 2025, doi: 10.3390/pr13092819.

[3] S. Bahrun, M. S. Yusoff, M. S. Said, and A. Hassan, "Coal flowability control on preventing spillage on conveyor belt through modeling and simulation for improving its performance," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 90, no. 1, pp. 130–145, 2022, doi: 10.37934/arfmts.90.1.130145.

[4] A. Rzeszowska, R. Błażej, and L. Jurdziak, "Non-destructive testing for conveyor belt monitoring and diagnostics: A review," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 24, Art. no. 13272, 2025, doi: 10.3390/app152413272.

[5] M. S. Mahmood and I. R. Shareef, "Applications of artificial intelligence for smart conveyor belt monitoring systems: A comprehensive review," *J. Eur. Syst. Autom.*, vol. 57, no. 4, pp. 1195–1206, 2024, doi: 10.18280/jesa.570426.

[6] F. Alharbi, S. Luo, H. Zhang, K. Shaukat, G. Yang, C. A. Wheeler, and Z. Chen, "A brief review of acoustic and vibration signal-based fault detection for belt conveyor idlers using machine learning models," *Sensors*, vol. 23, no. 4, Art. no. 1902, 2023, doi: 10.3390/s23041902.

[7] F. Alharbi and S. Luo, "A review of fault detecting devices for belt conveyor idlers," *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 39–53, 2024, doi: 10.17977/um016v8i12024p039.

[8] P. Dabek, J. Szrek, R. Zimroz, and J. Wodecki, "An automatic procedure for overheated idler detection in belt conveyors using fusion of infrared and RGB images acquired during UGV robot inspection," *Energies*, vol. 15, no. 2, Art. no. 601, 2022, doi: 10.3390/en15020601.

[9] D. Bzinkowski, M. Rucki, L. Chalko, A. Kilikevicius, J. Matijosius, L. Cepova, and T. Ryba, "Application of machine learning algorithms in real-time monitoring of conveyor belt damage," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 22, Art. no. 10464, 2024, doi: 10.3390/app142210464.

[10] Q. Fu *et al.*, "Mixed image detection method of belt coal blockage and leakage based on improved RetinaNet mode," *Discov. Appl. Sci.*, vol. 7, Art. no. 520, 2025, doi: 10.1007/s42452-025-07068-0.

[11] Z. Wang, D. Lu, E. Gao, Z. Huang, Y. Yang, and P. Li, "A coal loading height monitoring and blockage warning method for scraper conveyors based on multi-point state and time confirmation," *EAI Endorsed Trans. Scalable Inf. Syst.*, vol. 13, no. 5, 2026, doi: 10.4108/eetsis.13972.

[12] Sularso and K. Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, 6th ed. Jakarta, Indonesia: Pradnya Paramita, 1987.

[13] F. S. Lelono and I. N. Gusniar, "Perancangan poros, pulley dan V-belt pada sepeda motor Honda Scoppy 110cc 2011," *Patria Artha Technol. J.*, vol. 7, no. 1, pp. 8–14, 2023, doi: 10.33857/patj.v7i1.558.

[14] Z. Achmad, *Elemen Mesin I*. Bandung, Indonesia: Refika Aditama, 1999.

[15] SKF Group, *Rolling Bearings Catalogue*. Gothenburg, Sweden: SKF, 2018.