



Perancangan Sistem *Drain* Material pada *Rocker Arm* *Roller Coal Mill* Berbasis Aliran Gravitasi

Zahrul Ikhsandy¹, Budi Yuwono^{2*}, Rosidi³ dan Siamudin⁴

¹Program Studi Diploma III 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

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

⁴ Engineer Kiln Department, PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, Pabrik Cilacap, Jl. Ir. H. Juanda, Cilacap, Jawa Tengah, 53234

*Corresponding author E-mail address: budi.yuwono@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Roller Coal Mill berperan penting pada penggilingan batubara di industri semen, namun material reject yang terlempar ke area Rocker Arm sering menumpuk karena sistem drain eksisting belum bekerja optimal. Kondisi ini memaksa pengeluaran material secara manual, memicu potensi kenaikan suhu lokal pada big door, serta membuka peluang masuknya false air. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pipa drain yang efektif untuk membuang material dengan memanfaatkan aliran gravitasi. Perancangan disusun berdasarkan pengukuran laju aliran material di lapangan dan serangkaian perhitungan teknis. Laju aliran maksimum sebesar 5,6 kg/jam dengan faktor keamanan 20% menghasilkan kapasitas desain 6,72 kg/jam, sehingga ditetapkan saluran berpenampang persegi panjang berukuran 110 x 60 mm. Kemiringan saluran dipilih melebihi angle of repose batubara agar material meluncur secara mandiri, dan dilengkapi dua flap valve berjarak 1.081 mm pada panjang total 1.281 mm untuk menekan false air. Material konstruksi yang digunakan adalah baja SS400. Hasil evaluasi memperlihatkan tingkat pemanfaatan kapasitas rata-rata mencapai 86%.

Kata-kata kunci: roller coal mill, material reject, sistem drain, aliran gravitasi, flap valve

Abstract

The Roller Coal Mill is a key component of the coal grinding system in the cement industry, yet reject material thrown toward the Rocker Arm area frequently accumulates because the existing drain system does not operate optimally. This situation forces operators to remove the material manually, raises the risk of a localized temperature increase at the big door, and allows false air to enter. This study aims to design an effective drain pipe system that discharges material by means of gravity flow. The design is based on field measurements of the material discharge rate and a series of engineering calculations. A maximum flow rate of 5.6 kg/h together with a 20% safety factor yields a design capacity of 6.72 kg/h, leading to the selection of a rectangular channel measuring 110 x 60 mm. The channel inclination is set greater than the angle of repose of coal so that the material flows by itself, and two flap valves spaced 1,081 mm apart along a total length of 1,281 mm are added to suppress false air. SS400 steel is used as the construction material. The evaluation shows an average capacity utilization of 86%.

Keywords: roller coal mill, reject material, drain system, gravity flow, flap valve

1. PENDAHULUAN

Industri semen menuntut keandalan peralatan yang tinggi agar kontinuitas produksi tetap terjaga. Salah satu peralatan utama pada lini produksi adalah *coal mill*, yaitu mesin penggiling batubara menjadi serbuk halus yang dipakai sebagai bahan bakar pembakaran di *kiln* [1]. Pada *roller coal mill*, batubara ditekan dan digiling di atas *grinding table* oleh *roller* yang ditopang oleh *Rocker Arm* [2]. Selama proses berlangsung, sebagian batubara dan material *reject* terlempar ke sisi belakang *roller* lalu mengendap pada area *Rocker Arm* dan perlu dikeluarkan secara berkala melalui sistem *drain* [3].

Pengamatan di lapangan memperlihatkan bahwa sistem *drain* yang digunakan saat ini belum mampu mengalirkan material secara optimal. Material kerap tertahan pada area *Rocker Arm* sehingga pengeluarannya harus dilakukan secara manual oleh operator, dengan alat bantu pembersih. Cara tersebut tidak efisien dan menambah risiko keselamatan karena operator bekerja pada posisi yang kurang ergonomis dan ketika terjadi *red spot* akan menyebabkan *unsafe* terhadap operator karena operator hanya berjarak kurang lebih 1 meter dengan *red spot* tersebut.

Akumulasi material pada area tersebut menimbulkan dua persoalan utama. Pertama, tumpukan material berpotensi memicu titik panas (*hot spot*) maupun *red spot* pada permukaan *big door coal mill*. Kedua, celah yang terbentuk pada saluran membuka peluang masuknya udara luar (*false air*) ke dalam sistem yang dapat mengganggu proses pengeringan dan menaikkan konsumsi energi [4]. Kondisi ini menegaskan perlunya perbaikan desain saluran agar material dapat mengalir sendiri secara gravitasi. Penelitian-penelitian terdahulu di bidang penanganan material curah berbasis gravitasi, seperti Roberts dan Scott [7] yang mengembangkan model dinamis aliran material pada transfer chute, serta Jenike [8] yang meletakkan dasar teori aliran gravitasi material curah termasuk prinsip *angle of repose*, telah memberikan landasan teori yang kuat. Namun kajian-kajian tersebut bersifat umum dan belum menyentuh konfigurasi spesifik sistem drain pada *Rocker Arm Roller Coal Mill* di industri semen. Khususnya, tidak ditemukan studi yang secara terintegrasi menggabungkan tiga aspek sekaligus: (1) penetapan kapasitas desain berbasis data debit lapangan aktual disertai faktor keamanan terhadap fluktuasi, (2) pemilihan dimensi saluran persegi panjang yang disesuaikan dengan ruang *Rocker Arm*, dan (3) perancangan mekanisme flap valve dua tahap untuk menekan *false air*. Kesenjangan inilah yang menjadi landasan kebaruan penelitian ini dan yang membedakannya dari literatur yang ada.

Hasil observasi menunjukkan bahwa ketidaklancaran aliran terutama bersumber dari geometri saluran yang belum sesuai, mencakup sudut kemiringan, bentuk penampang, dan dimensi. Ketiganya sangat menentukan kemampuan material batubara meluncur akibat gaya gravitasi. Oleh karena itu, fokus penelitian ini adalah **merancang sistem pipa drain pada *Rocker Arm Roller Coal Mill* yang efektif untuk membuang material**. Sasarannya adalah memperoleh konfigurasi saluran, yaitu bentuk, dimensi, kemiringan, dan material konstruksi, yang mendukung pembuangan material secara mandiri sehingga intervensi manual dapat ditekan dan keandalan operasi *mill* meningkat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di *coal mill* PT Solusi Bangun Indonesia Pabrik Cilacap dengan pendekatan perancangan berbasis data lapangan dan perhitungan teknis. Tahapan kerja diawali dengan identifikasi akar masalah, dilanjutkan studi literatur, pengamatan lapangan, pengumpulan data, perancangan konsep, perhitungan desain, dan pemilihan material.

Identifikasi akar masalah dilakukan melalui *root cause analysis* dengan diagram tulang ikan yang meninjau faktor *machine*, *method*, *measurement*, dan *environment* [5]. Penelusuran tersebut mengarah pada satu sebab dominan, yakni rancangan saluran *drain* yang belum optimal sehingga material sulit mengalir. Temuan ini menjadi dasar pemilihan *engineering control* berupa perancangan ulang saluran sebagai solusi.

Data primer diperoleh dengan mengukur kapasitas material yang keluar dari saluran *drain* selama delapan jam operasi. Data ini dipakai untuk menetapkan kapasitas desain saluran. Selanjutnya disusun kriteria rancangan, yaitu saluran mampu mengalirkan material tanpa penyumbatan (*blocking*), mudah difabrikasi dan dipasang, memiliki akses *drain* yang ergonomis, meminimalkan intervensi manual, serta cukup kuat menghadapi kondisi operasi yang abrasif dan panas.

Perhitungan desain dikelompokkan menjadi empat bagian, yaitu penetapan kapasitas desain dengan faktor keamanan, penentuan dimensi penampang, penentuan kemiringan berdasarkan *angle of repose* batubara, serta perhitungan volume, kapasitas tampung, dan jarak antar *flap valve*. Tahap akhir adalah pemilihan material konstruksi dengan mempertimbangkan kekuatan, kemudahan fabrikasi, ketersediaan, dan biaya.

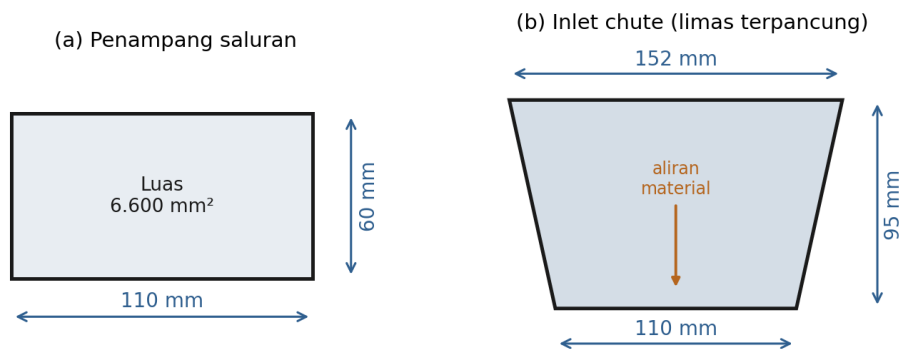
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemilihan Konsep Desain

Dua alternatif penampang dibandingkan, yaitu saluran persegi panjang dan pipa bulat. Penilaian terhadap empat kriteria, yakni kelancaran aliran gravitasi, kemudahan integrasi dengan ruang *Rocker Arm*, kemudahan inspeksi dan pembersihan, serta kemudahan fabrikasi, menempatkan saluran persegi panjang unggul dengan skor 4/4 dibandingkan pipa bulat yang hanya memperoleh 1/4. Penampang persegi panjang memberikan luas efektif yang lebih besar, lebih mudah menyesuaikan bukaan yang tersedia, serta dapat dilengkapi *inspection door* sehingga dipilih sebagai konsep rancangan [6].

3.2 Bentuk dan Dimensi Saluran

Sistem *drain* dirancang sebagai *gravity chute* untuk material padat curah (*bulk solid*) [7]. Pada penanganan material curah, saluran beraliran gravitasi umumnya memakai penampang persegi karena bidang datarnya mendistribusikan gaya gesek antarpartikel secara lebih seragam dan geometri bersudutnya mengarahkan pola aliran sehingga risiko penumpukan dapat ditekan [6]. Bentuk ini juga lebih mudah dibuat dari pelat baja datar yang dipotong dan dilas. Geometri penampang saluran beserta *inlet chute* ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Geometri penampang saluran dan inlet chute

Dimensi saluran ditetapkan dari kapasitas aliran maksimum hasil pengukuran lapangan. Data laju material selama delapan jam operasi disajikan pada tabel 1, dengan nilai tertinggi sebesar 5,6 kg/jam.

Tabel 1. Laju aktual aliran material drain selama delapan jam operasi

Jam	Laju aliran (kg/jam)
1	4,0
2	3,5
3	5,6
4	5,0
5	4,2
6	3,8
7	4,0
8	4,2

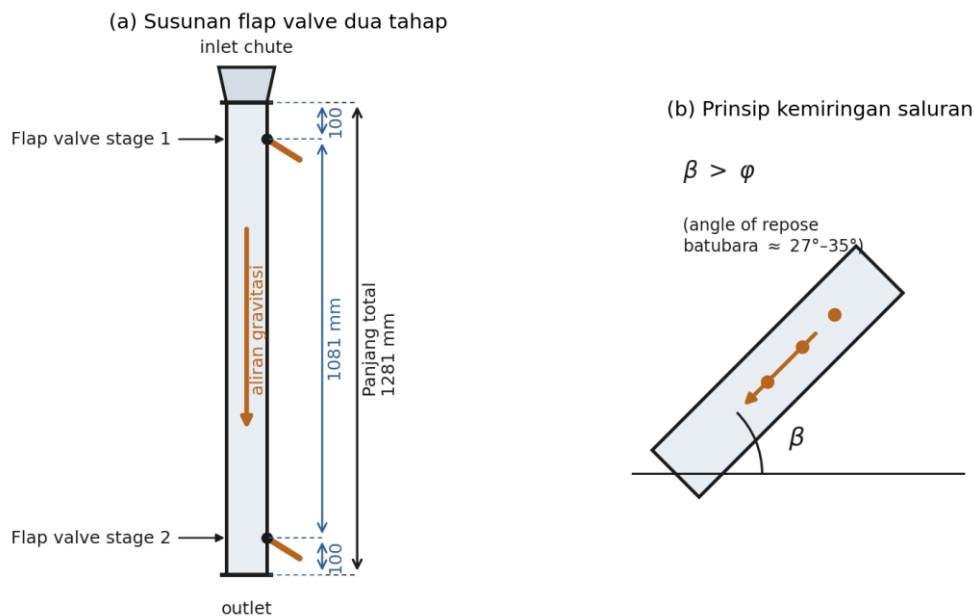
Untuk mengantisipasi fluktuasi debit, variasi ukuran butiran, dan penumpukan sesaat, diterapkan faktor keamanan (*safety factor*, SF) sebesar 20%. Kapasitas desain dihitung dengan persamaan (1). Nilai SF sebesar 20% ditetapkan mengacu pada praktik umum perancangan sistem penanganan material curah (*bulk solid handling*), yang umumnya berada pada rentang 15 sampai 25% untuk mengakomodasi ketidakpastian data pengukuran laju aliran, variasi ukuran butiran, serta potensi lonjakan debit sesaat akibat kondisi operasi yang tidak selalu stabil. Berdasarkan data laju aliran pada tabel 1 yang menunjukkan variasi antara 3,5 dan 5,6 kg/jam, nilai SF 20% dipandang memadai untuk memberikan margin desain tanpa membuat dimensi saluran menjadi berlebihan, sekaligus konsisten dengan pendekatan yang lazim digunakan pada perancangan chute dan hopper industri.

$$Q_d = Q_{maks} \times (1 + SF) \quad (1)$$

dengan Q_d kapasitas desain (kg/jam), Q_{maks} laju material maksimum (kg/jam), dan SF faktor keamanan. Substitusi $Q_{maks} = 5,6$ kg/jam dan $SF = 0,20$ memberikan kapasitas desain sebesar 6,72 kg/jam. Berdasarkan nilai tersebut dipilih saluran berpenampang persegi panjang berukuran 110 x 60 mm, yang memiliki kapasitas mendekati kapasitas desain sekaligus menyediakan ruang yang memadai terhadap variasi ukuran butiran dan memperkecil peluang penyumbatan. Pada bagian atas ditambahkan *inlet chute* berbentuk limas terpancung sebagai area penerima material.

3.3 Penentuan Kemiringan Saluran

Kemiringan saluran ditetapkan berdasarkan *angle of repose* batubara, yaitu sudut maksimum kestabilan material granular terhadap bidang horizontal yang untuk batubara berkisar 27 sampai 35 derajat bergantung pada ukuran partikel, kadar air, dan kandungan *finer*[6]. Bila sudut saluran lebih kecil daripada *angle of repose*, gaya gesek antarpartikel masih mengungguli komponen gaya gravitasi sehingga material cenderung diam dan menumpuk. Sebaliknya, bila sudut dibuat lebih besar, kestabilan material hilang dan batubara meluncur sendiri (*self-flow*) tanpa bantuan mekanis [8]. Prinsip ini diilustrasikan pada gambar 2.



Gambar 2. Susunan flap valve dua tahap (a) dan prinsip kemiringan saluran terhadap angle of repose (b)

Atas dasar tersebut, sudut kemiringan saluran *drain* dirancang lebih besar daripada *angle of repose* batubara agar aliran material tetap lancar dan risiko penyumbatan, *bridging*, maupun *plugging* dapat dihindari selama operasi [9].

3.4 Volume dan Kapasitas Saluran

Kapasitas tampung saluran ditentukan dari volumenya. Luas penampang persegi panjang dihitung dengan persamaan (2).

$$A = b \times h \quad (2)$$

Dengan lebar $b = 110$ mm dan tinggi $h = 60$ mm diperoleh luas penampang 6.600 mm^2 atau $0,0066 \text{ m}^2$. Volume total saluran merupakan jumlah volume bagian balok dan *inlet chute* limas terpancung, yaitu sekitar $7,268 \text{ dm}^3$. Dengan densitas curah batubara 900 kg/m^3 [6], massa material yang dapat ditampung dalam kondisi penuh adalah sekitar 6,5 kg, yang menjadi acuan kapasitas satu kali proses *drain*.

3.5 Susunan Flap Valve Dua Tahap

Saluran dilengkapi dua *flap valve* (2 *stage*) yang bekerja bergantian untuk menekan masuknya *false air* selama proses *drain* [4]. Jarak antar *valve* ditentukan dari volume material yang ditampung dalam satu kali proses, yaitu 6,5 kg. Volume material dihitung dengan persamaan (3) dan jarak antar *valve* dengan persamaan (4).

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3)$$

$$L = \frac{V}{A} \quad (4)$$

Substitusi massa 6,5 kg dan densitas 900 kg/m³ menghasilkan volume 0,00722 m³. Dengan luas penampang 0,0066 m², jarak teoritis antar sumbu kedua *flap valve* adalah 1,095 m atau 1.095 mm. Pada pelaksanaan, jarak disesuaikan menjadi 1.081 mm untuk menyediakan ruang pemasangan antara *flange* dan *flap valve* serta memudahkan fabrikasi, sehingga jarak masing-masing 100 mm dari ujung saluran menuju sumbu *valve* dan panjang total saluran menjadi 1.281 mm. Selisih 14 mm terhadap nilai teoritis hanya sekitar 1,28% dan tidak berpengaruh signifikan terhadap kapasitas tampung. Susunan tersebut ditampilkan pada gambar 2(a).

3.6 Pemilihan Material Konstruksi

Komponen utama saluran, *housing*, dan bagian pendukung menggunakan baja *mild steel* SS400. Mengacu pada standar JIS G3101, SS400 memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) minimum 245 MPa dan kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*) 400 sampai 510 MPa. Nilai ini memadai untuk menopang beban aliran material. Selain itu, SS400 mudah dilas, mudah dipotong dan dibentuk, tersedia luas di pasaran, serta ekonomis, sehingga sesuai dengan kriteria kemudahan fabrikasi dan instalasi yang ditetapkan [10].

3.7 Analisis Kinerja Saluran

Kinerja saluran dievaluasi dengan membandingkan debit aktual material terhadap kapasitas desain pipa sebesar 6,5 kg/jam. Tingkat pemanfaatan kapasitas dihitung dengan persamaan (5).

$$\eta = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{desain}}} \times 100\% \quad (5)$$

Hasil perhitungan untuk setiap jam pengamatan dirangkum pada tabel 2. Sebagai pembandingan, kapasitas saluran rancangan jauh melampaui kapasitas *hole* eksisting yang hanya 0,56 kg/jam.

Tabel 2. Perbandingan kapasitas dan tingkat pemanfaatan saluran drain

Jam	Kapasitas hole eksisting (kg/jam)	Kapasitas pipa desain (kg/jam)	Aktual drain (kg/jam)	Pemanfaatan kapasitas
1	0,56	6,5	4,0	62%
2	0,56	6,5	3,5	54%
3	0,56	6,5	5,6	86%
4	0,56	6,5	5,0	77%
5	0,56	6,5	4,2	65%
6	0,56	6,5	3,8	58%
7	0,56	6,5	4,0	62%
8	0,56	6,5	4,2	65%

Debit aktual selama pengamatan berkisar 3,5 sampai 5,6 kg/jam dan seluruhnya masih berada di bawah kapasitas desain, sehingga saluran tidak mengalami kondisi *overload*. Tingkat pemanfaatan kapasitas tertinggi mencapai 86%, yang menunjukkan kapasitas saluran telah dimanfaatkan secara baik namun tetap menyisakan cadangan untuk mengantisipasi lonjakan material. Dengan demikian, saluran yang dirancang mampu mengalirkan material *reject* secara efektif memanfaatkan gaya gravitasi sehingga potensi penumpukan pada area *Rocker Arm* dapat dikurangi. Untuk memperkuat keandalan rancangan secara analitis, parameter desain utama yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan acuan dari penelitian terdahulu. Pertama, sudut kemiringan saluran yang dirancang melebihi angle of repose batubara (27–35°) [6] konsisten dengan prinsip yang ditetapkan Jenike [8], yang menegaskan bahwa aliran gravitasi mandiri hanya tercapai bila sudut saluran melampaui sudut gesek efektif material. Kedua, pemilihan penampang persegi panjang dan konfigurasi chute terbuka sejalan dengan rekomendasi Roberts dan Scott [7], yang menunjukkan bahwa penampang bersudut dengan profil lurus memberikan percepatan aliran yang lebih stabil dibandingkan pipa bulat pada aplikasi transfer chute. Ketiga, tingkat pemanfaatan kapasitas rata-rata sebesar 86% dengan seluruh debit aktual di bawah kapasitas desain mengindikasikan bahwa margin desain 20% yang diterapkan telah memadai untuk mengakomodasi fluktuasi operasional, sesuai dengan rentang safety factor 15–25% yang lazim digunakan pada perancangan sistem penanganan material curah [6]. Meskipun demikian, validasi lebih lanjut melalui simulasi numerik metode elemen diskrit (DEM) atau pengujian prototipe skala penuh tetap direkomendasikan sebagai langkah pengembangan penelitian selanjutnya untuk mengonfirmasi perilaku aliran dalam kondisi dinamis aktual.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan, ditetapkan saluran *drain* berpenampang persegi panjang dengan dimensi yang disesuaikan terhadap kebutuhan kapasitas aliran material, ruang pemasangan yang tersedia, serta kemiringan yang memenuhi persyaratan aliran gravitasi batubara. Penampang berukuran 110 x 60 mm dipilih mengikuti kapasitas desain 6,72 kg/jam, sementara sudut kemiringan dirancang melebihi *angle of repose* batubara agar material meluncur secara mandiri. Saluran dilengkapi susunan dua *flap valve* berjarak 1.081 mm pada panjang total 1.281 mm untuk menekan *false air*, dengan material konstruksi baja SS400 yang dipilih atas pertimbangan kekuatan dan kemudahan proses fabrikasi. Evaluasi kinerja memperlihatkan tingkat pemanfaatan kapasitas rata-rata 86% dengan seluruh debit aktual masih di bawah kapasitas desain, sehingga rancangan dinilai mampu membuang material *reject* secara efektif dan mengurangi potensi penumpukan pada area *Rocker Arm Roller Coal Mill*. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi yang menggabungkan data pengukuran lapangan, perhitungan kapasitas dengan faktor keamanan berbasis praktik industri, dan mekanisme *flap valve* dua tahap dalam satu kerangka perancangan yang aplikatif—sebuah kombinasi yang belum ditemukan pada literatur sejenis untuk konfigurasi *Rocker Arm Roller Coal Mill* di industri semen.

REFERENSI

- [1] “PROFIL SBI,” *PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, Jakarta*. [Online]. Available: <https://solusibangunindonesia.com/profil-perusahaan>
- [2] Loesche, “Loesche-Mills for solid fuels,” 2016.
- [3] N. Evans, “ATOX Coal Mill,” *FLSmidth*, vol. 28, no. 9, p. 546, 2019.
- [4] D. Annisa, D. Parmanaon, A. Rahmad, and P. Ankarani, “Analisis Dampak Pengaruh False Air pada Kenaikan Persentase Oksigen (O₂) pada Coal Mill di PT Semen Padang Indarung V,” *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 8, no. 4, pp. 3752–3758, 2025, doi: 10.31004/jutin.v8i4.42608.
- [5] Z. Harel *et al.*, “How to diagnose solutions to a quality of care problem,” *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.*, vol. 11, no. 5, pp. 901–907, 2016, doi: 10.2215/CJN.11481015.
- [6] A. W. Roberts, *Bulk solids handling*, vol. 11, no. 1. 1991. doi: 10.1002/0471238961.0221121113011809.a01.pub2.
- [7] A. W. Roberts and O. J. Scott, “Flow of bulk solids through transfer chutes of variable geometry and profile,” *Proc. Powder Eur. '80, (Rhein-Main-Halle, Fed. Rep. Ger. Jan.22-24, 1980)*, vol. 1, London, U.K., Int. Powder Inst., Jan. 1980, Session 1, 45p., no. 4, 1980.
- [8] A. W. Jenike, “Gravity Flow of Bulk Solids,” vol. 52, no. 29, pp. 619–625, 1983, doi: 10.1007/978-94-009-2635-6_2.
- [9] H. M. Beakawi Al-Hashemi and O. S. Baghabra Al-Amoudi, “A review on the angle of repose of granular materials,” *Powder Technol.*, vol. 330, pp. 397–417, 2018, doi: 10.1016/j.powtec.2018.02.003.
- [10] Gengfeisteel, “JIS SS400 Carbon Steel , Properties, Standards, and Applications,” *Henan Gengfei Ind. Co., Ltd.*, 2025, [Online]. Available: <https://gengfeisteel.com/knowledge/jis-ss400-carbon-steel/>