



Perancangan Sistem Water Spray untuk Mengurangi Debu pada Operasional Stacker di Area Stockpile Limestone Crusher PT. Solusi Bangun Andalas

Anies Lahanda^{1*}, Yuli Mafendro Dedet², dan Muhammad Yasar³

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: anies.lahanda.tm23@stu.pnj.ac.id

Abstrak

PT. Solusi Bangun Andalas merupakan perusahaan semen yang beroperasi di Lhoknga, Aceh Besar. Operasional stacker pada area stockpile limestone crusher menghasilkan debu respirabel dengan konsentrasi 19,60 mg/m³, melebihi nilai ambang batas 3 mg/m³. Kondisi tersebut berpotensi mengganggu operasional serta menurunkan keselamatan dan kualitas lingkungan kerja. Penelitian ini bertujuan merancang sistem water spray sebagai upaya pengendalian debu pada operasional stacker. Metode yang digunakan meliputi observasi lapangan, studi literatur, pengumpulan data operasional, dan perhitungan teknis yang mencakup kebutuhan debit, tekanan kerja, head loss, serta pemilihan komponen sistem.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem membutuhkan debit air 4,9 L/menit, menggunakan 2 nozzle Full Cone 90°, pompa sentrifugal vertical multistage CNP CDMF 10-1 berdaya 1 HP dengan suplai listrik 380 V tiga fasa, serta tangki air berkapasitas 1.000 liter. Sistem yang dirancang diharapkan mampu mengurangi penyebaran debu sehingga mendukung operasional yang lebih aman, efektif, dan ramah lingkungan.

Kata-kata kunci: water spray, debu, stacker, stockpile limestone, pengendalian debu

Abstract

PT Solusi Bangun Andalas is a cement manufacturing company located in Lhoknga, Aceh Besar. Stacker operations in the limestone crusher stockpile area generate high levels of respirable dust. Industrial Hygiene Monitoring showed a dust concentration of 19.60 mg/m³, exceeding the occupational exposure limit of 3 mg/m³. This condition may disrupt operations and reduce workplace safety. This study aims to design a water spray system to reduce dust generated during stacker operations. The design method included field observations, literature review, operational data collection, and technical calculations covering flow rate, pressure, head loss, and component selection.

The results show that the proposed system requires a flow rate of 4.9 L/min, two 90° Full Cone nozzles, a 1 HP CNP CDMF 10-1 vertical multistage centrifugal pump with a 380 V three-phase power supply, and a 1,000 L water tank. The proposed system is expected to effectively reduce dust dispersion, improve workplace safety, and support more efficient and environmentally friendly stacker operations.

Keywords: water spray, dust, stacker, limestone stockpile, dust suppression

1. PENDAHULUAN

PT. Solusi Bangun Andalas (PT. SBA) merupakan salah satu perusahaan industri semen di Indonesia yang berlokasi di Lhoknga, Aceh Besar. Proses produksi semen meliputi tahapan penambangan batu kapur (*limestone*), penghancuran material pada *limestone crusher*, penumpukan material di *stockpile*, hingga proses penggilingan dan pengemasan semen. Salah satu tahapan penting dalam penanganan bahan baku adalah pemindahan material hasil *crushing* menuju area *stockpile* menggunakan *belt conveyor* dan *stacker*.

Selama proses penumpukan material, batu kapur dijatuhkan dari ujung *boom conveyor* menuju permukaan *stockpile*. Proses tersebut menghasilkan debu yang cukup tinggi, terutama ketika material dalam kondisi kering dan memiliki jarak jatuh yang besar. Debu yang dihasilkan dapat menyebar ke area sekitar sehingga berpotensi mengganggu operasional, menurunkan kualitas lingkungan kerja, serta meningkatkan risiko terhadap keselamatan dan kesehatan pekerja.

Hasil *Industrial Hygiene Monitoring* di PT. Solusi Bangun Andalas menunjukkan bahwa konsentrasi *respirable dust* pada area *Stockpile Limestone* mencapai $19,60 \text{ mg/m}^3$, melebihi nilai ambang batas (NAB) sebesar 3 mg/m^3 . Selain itu, data *stoplog* operasional selama Januari–Februari 2026 menunjukkan bahwa gangguan operasional akibat debu menyebabkan *downtime* sekitar 30 jam atau 37% dari total *downtime*, dengan *loss production* sebesar 21.510 ton. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa debu tidak hanya berdampak pada kualitas lingkungan kerja, tetapi juga terhadap kelancaran proses produksi.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengendalikan debu pada industri penanganan material curah adalah sistem *water spray*. Sistem ini bekerja dengan menyemprotkan air dalam bentuk *droplet* ke area sumber debu sehingga partikel debu berikatan dengan butiran air, menjadi lebih berat, dan lebih cepat mengendap. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang sistem *water spray* sebagai metode pengendalian debu pada operasional *stacker* di area *stockpile limestone crusher* PT. Solusi Bangun Andalas sehingga dapat mendukung operasional yang lebih aman, efektif, dan ramah lingkungan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Solusi Bangun Andalas, Lhoknga, Aceh Besar, menggunakan metode *engineering design* untuk merancang sistem *water spray* sebagai pengendalian debu pada operasional *stacker*. Tahapan penelitian meliputi: (1) observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting area *stacker* dan *stockpile limestone*; (2) studi literatur mengenai sistem *water spray*, mekanika fluida, sistem perpipaan, dan pengendalian debu; (3) pengumpulan data teknis berupa hasil *Industrial Hygiene Monitoring*, data operasional *stacker*, dimensi lapangan, serta spesifikasi peralatan; dan (4) perancangan sistem melalui perhitungan teknis dan pemilihan komponen.

Data primer yang digunakan meliputi konsentrasi *respirable dust* sebesar $19,60 \text{ mg/m}^3$, data *stoplog* operasional *stacker* periode Januari–Februari 2026, dimensi area pemasangan, serta kondisi aktual di lapangan. Variabel dan parameter perancangan yang dianalisis meliputi kecepatan aliran pada nozzle, debit aliran, tekanan kerja nozzle, debit total sistem, diameter pipa, head statis, head loss mayor, bilangan Reynolds, faktor gesekan, head loss minor, head total sistem, daya hidrolik, daya pompa, daya motor, serta spesifikasi pompa dan komponen sistem. Pemilihan komponen dilakukan berdasarkan hasil perhitungan teknis serta mengacu pada standar perpipaan dan spesifikasi produk dari katalog pabrikan.

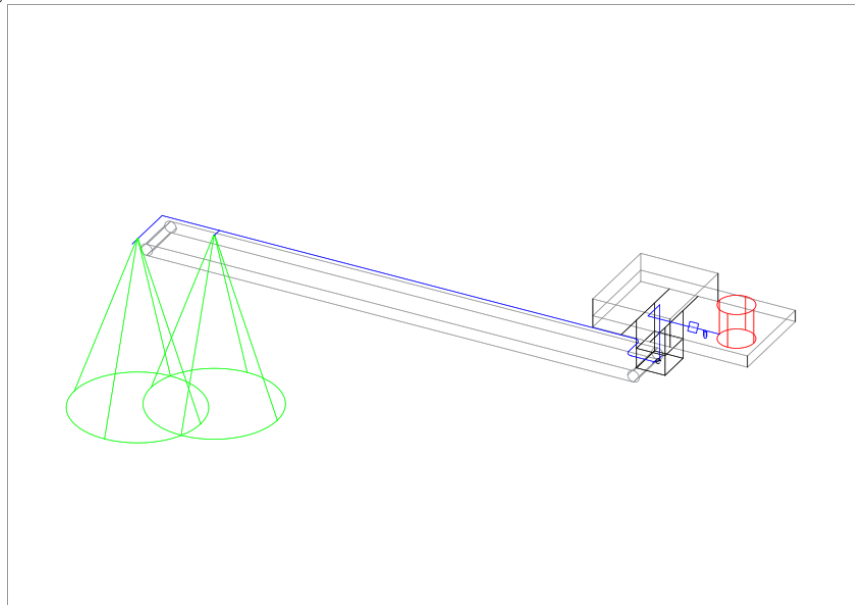
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep dan Desain Sistem Water Spray

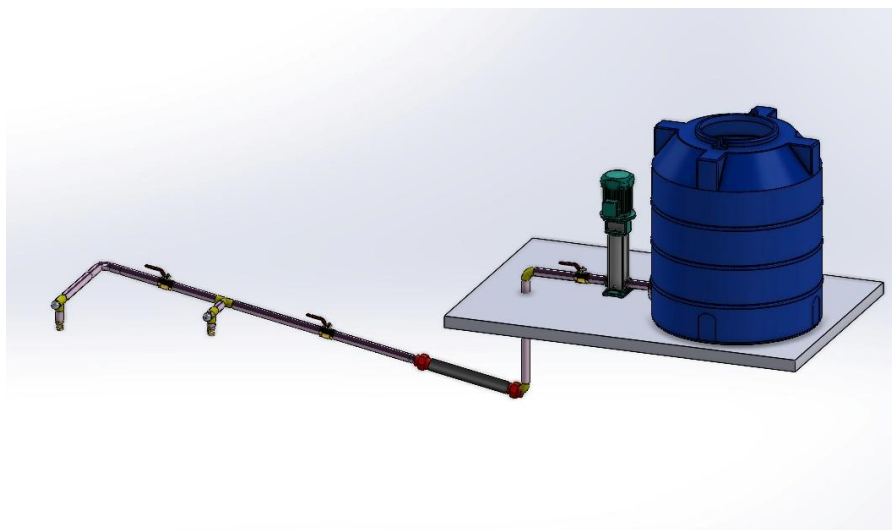
Sistem *water spray* dirancang untuk ditempatkan pada area jatuh material di ujung *boom conveyor* Stacker. Berdasarkan dimensi area semprotan yang diperlukan, digunakan 2 buah nozzle tipe Full Cone 90° (DA16.350) yang dipasang pada pipa distribusi.

Pemilihan nozzle Full Cone didasarkan pada kemampuannya menghasilkan pola semprotan merata dengan cakupan area yang luas, sesuai untuk menekan debu di titik jatuh material. Jalur perpipaan utama menggunakan pipa galvanis $1\frac{1}{2}$ inci yang dihubungkan dari tangki air menuju nozzle melalui pompa sentrifugal.

1. Perancangan Alat

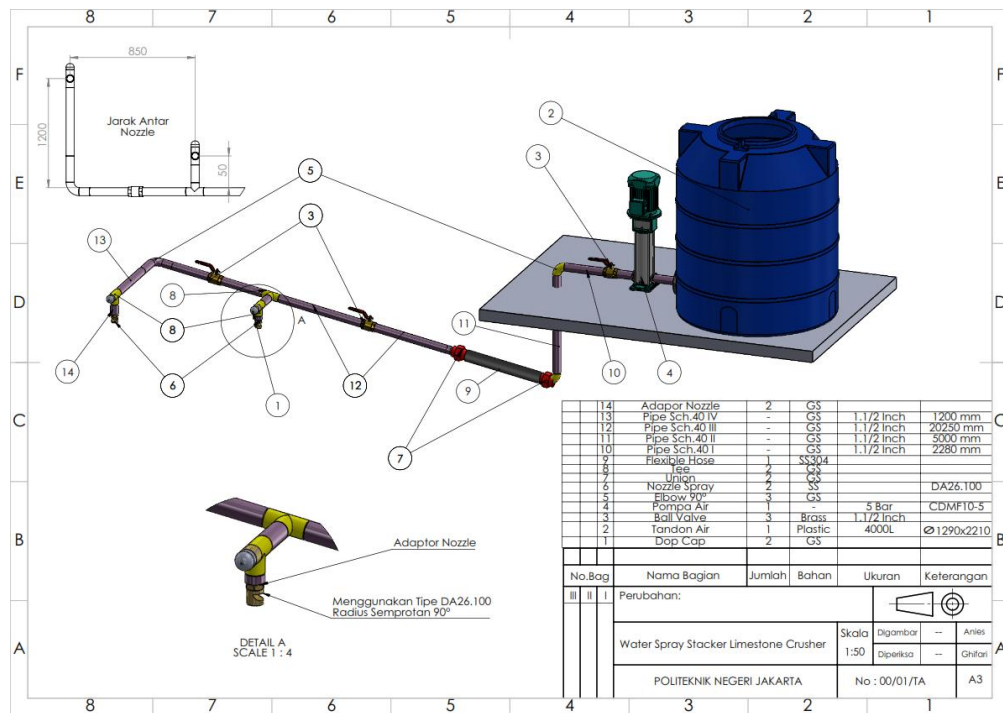


Gambar 1. Rencana Desain Rancangan



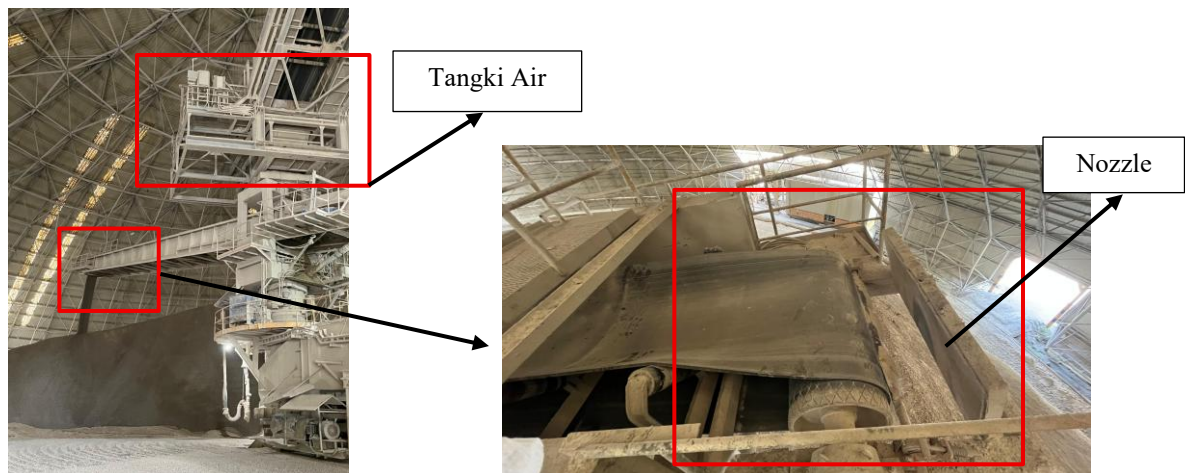
Gambar 2. Perancangan Sistem Water Spray

2. Ukuran dan Kebutuhan Material



Gambar 3. Rencana Ukuran dan Kebutuhan Material

3. Rencana Penempatan Sistem Water Spray di Lapangan



Gambar 4. Lokasi Penempatan di Lapangan

Perhitungan Debit Aliran

Berdasarkan spesifikasi nozzle Full Cone 90° DA16.350 pada tekanan kerja 0.98 bar (10 m), setiap nozzle mengalirkan debit sebesar 2,47 L/menit. Kecepatan aliran pada nozzle dihitung menggunakan persamaan Torricelli:

$$\begin{aligned}
 V &= \sqrt{2gh} \\
 V &= \sqrt{2 \times 9,8 \times 10} \\
 V &= \sqrt{196} = 14 \text{ m/s}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Debit total sistem dihitung dari seluruh nozzle yang beroperasi secara simultan:

$$Q_{total} = n \times Q_{Nozzle}$$

$$Q_{total} = 2 \times 2,47 = 4,9 \text{ L/min (0,295 m}^3\text{/Jam)} \quad (2)$$

Perhitungan Head Loss

Perhitungan head loss dilakukan untuk menentukan total head yang harus dipenuhi pompa. Pipa utama berdiameter 1½ inci ($D = 0,04 \text{ m}$) dengan panjang jalur terjauh 35 m. Bilangan Reynolds dihitung dengan kecepatan aliran $v = 1 \text{ m/s}$:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \times 1 \times 0,04}{1,872 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 2.136.752,14 \text{ (turbulen)} \quad (3)$$

Dengan kekasaran relatif pipa galvanis $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,15}{40} = 0,00375$ dan $Re = 2,14 \times 10^6$, dari Diagram Moody diperoleh faktor gesekan Darcy $f = 0,028$. Head loss mayor dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weisbach:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$H_f = 0,028 \cdot \frac{11}{0,04} \cdot \frac{(1)^2}{2 \cdot 9,8}$$

$$H_f = 0,3929 \text{ m}$$

Head loss minor dihitung berdasarkan komponen fitting pada sistem. Total koefisien kehilangan $\Sigma K = 6,7$ (3 elbow 90°, 1 tee, 1 butterfly valve, 1 flexible hose, 1 rotary elbow):

$$H_{fitting} = \Sigma K \cdot 2gv^2 = 6,7 \times 0,05 = 0,335 \text{ m} = 0,3 \text{ m}$$

Head statis sistem bernilai:

$$H_{statis} = Z_{Akhir} - Z_{Awal}$$

$$H_{statis} = 3,82 - 5,5 = -1,68 \text{ m} \quad (5)$$

Total head sistem:

$$H_t = H_{nozzle} + H_{statis} + H_{Mayor} + H_{Minor}$$

$$H_{total} = +(-1,68 \text{ m}) + 0,3929 \text{ m} + 0,3 = 10,045 \text{ m} \approx 9,213 \text{ m (dengan cadangan)}$$

Pemilihan Pompa

Daya hidrolik sistem dihitung sebagai:

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \times 9,8 \times 0,000082 \times 11 = P_h = 8,8396 \text{ W} \approx 0,00884 \text{ kW}$$

Dengan efisiensi pompa 70%, daya pompa yang dibutuhkan:

$$P_{pompa} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta}$$

$$P_{pompa} = \frac{1000 \times 9,8 \times 0,000082 \times 11}{0,70}$$

$$P_{pompa} = 12,628 \text{ W} \approx 0,0126 \text{ kW} \approx 0,017 \text{ HP} \quad (6)$$

Berdasarkan hasil perhitungan, dipilih pompa sentrifugal vertical multistage tipe CNP CDMF 10-1 dengan daya motor 1 HP (pembulatan ke standar terdekat di atas kebutuhan), suplai listrik 380V 3 phase. Pompa ini mampu menghasilkan head 11 m pada debit 0,295 m³/jam sesuai tabel performa pabrik [6].

Kapasitas Tangki Air

Tangki air berfungsi sebagai penampung sementara sebelum air dialirkan pompa menuju nozzle. Debit sistem 4,9 L/menit, dengan waktu cadangan operasi 15 menit:

$$\Delta V = Q \times t = 4,9 \times 15 = 73,5 \text{ liter}$$

$$\text{Safety factor } 1,5 \times 73,5 = 110 \text{ liter} \quad (7)$$

Dengan asumsi volume efektif tangki 80%, kapasitas tangki minimum yang dibutuhkan adalah 137 liter. Untuk mengantisipasi kemungkinan gangguan suplai air dan memberikan waktu corrective maintenance selama 1 jam, dipilih tangki berkapasitas 1000 liter.

Daftar Kebutuhan Material

Berdasarkan hasil perancangan, kebutuhan material untuk implementasi sistem water spray pada Stacker limestone crusher PT. Solusi Bangun Andalas adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Daftar Kebutuhan Material Sistem Water Spray Stacker Limestone Crusher

No.	Material	Spesifikasi	Qty	UOM
1	Pipa Galvanis	Pipa Galvanis 1½ inch	6	Batang
2	Pompa	Multistage CNP CDMF 10-5, 3 HP, 380V 3 phase	1	Unit
3	Nozzle	Full Cone 90° DA26.100	2	Pcs
4	Adaptor Nozzle	Adapter Female 3/8 inch	4	Pcs
5	Elbow 90°	Galvanis 1½ inch	3	Pcs
6	Flexible Hose	Full Stainless 304 (40 cm)	1	Pcs
7	Tee	Stainless Steel SS 316	1	Pcs
8	Ball Valve	Stainless SS 316	1	Pcs
9	Dop Cap	1½ inch, Female	2	Pcs
10	Tangki Air	Kapasitas 1.000 Liter	1	Unit

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan sistem water spray untuk mengurangi debu pada operasional Stacker di area stockpile limestone crusher PT. Solusi Bangun Andalas, dapat disimpulkan bahwa: Sistem water spray yang dirancang menggunakan 1 nozzle Full Cone 90°, debit total 4,9 L/menit (0,295 m³/jam), pipa galvanis 1½ inci, pompa sentrifugal vertical multistage CNP CDMF 10-1 berdaya 1 HP dengan suplai 380V 3 phase, total head sistem 11 m, dan tangki penampung air berkapasitas 4.000 liter. Sistem ini diharapkan dapat menurunkan konsentrasi respirable dust di area stockpile dari kondisi eksisting 19,60 mg/m³ mendekati nilai ambang batas 3 mg/m³, sehingga mendukung kelancaran operasional Stacker yang lebih aman, efektif, dan ramah lingkungan sesuai persyaratan K3 yang berlaku.

Saran

Saran untuk penyempurnaan hasil Perancangan sistem water spray untuk mengurangi debu pada operasional Stacker di Area Stockpile Limestone Crusher PT. Solusi Bangun Andalas adalah :

1. Disarankan dilakukan preventive maintenance secara berkala terhadap pompa, pipa, nozzle, dan komponen pendukung lainnya, seperti pembersihan nozzle dari penyumbatan, pemeriksaan kebocoran pipa, serta pengecekan tekanan kerja pompa agar performa sistem tetap optimal.
2. Perlu dibuat Standar Work Procedure (SWP) pada sistem untuk memastikan proses berjalan konsisten, aman, dan meminimalkan human error.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Solusi Bangun Andalas atas finansialnya pada penelitian ini dan tim quarry atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Yuli Mafendro Dedet, M.T. dan Bapak Muhammad Yasar selaku pembimbing lapangan atas dikusinya yang bermanfaat.

REFERENSI

- [1] M. F. Sidik, A. A. Fatrullah, D. A. Wicaksono, R. Hidayat, N. D. A. Afriyan, M. F. Abbas, dan F. Paundra, "Perawatan Chain and Scraper Bucket System pada Reclaimer Limestone di Perusahaan Semen," *Jurnal Alat Berat*, vol. 1, no. 2, hlm. 73-81, 2024.
- [2] Y. Zhang, H. Li, dan W. Q. Wang, "Dust generation and control in limestone crushing operations," *Powder Technology*, 2019.
- [3] Edwards, J. E., & Otterson, D. W. (2014). *Pressure Measurement Basics. Measurement and Control.*
- [4] Environment and Climate Change Canada. (2023). *Fugitive dust Emissions from Aggregate Handling* Government of Canada.
- [5] Golder Associates. (2010). *Literature Review of Current Fugitive dust Control Practices within the Mining Industry.*
- [6] A. Wang, Y. Zhang, dan P. Li, "Application of water spray technology for dust suppression," *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- [7] Alshorman, A., Alrawashdeh, H., & Al-Waked, R. (2022). Analysis of the Effect of Piping Geometrical Shape on Major Head Losses in Pipes. *Jordanian Journal of Engineering and Chemical Industries*, 5(3), 82–90.
- [8] Liao, R., Wypych, P.W., Pan, R., & Hastie, D.B. (2019). Dust suppression Efficiency of Spraying Systems – A Review. *International Conference on Bulk Materials Storage, Handling & Transportation.*
- [9] Lin, L. (2022). *State-of-the-art Review on Measurement of Pressure Losses of Plumbing Products.* National Institute of Standards and Technology.
- [10] Ma, W., Chen, X., & Zhang, Y. (2022). Dust Dispersion Characteristics of Open Stockpile s and the Scale of Dust suppression Shed. *Applied Sciences*, 12(22), 11568.