

Research Article

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

Analysis of Coal Needs in Dryer Unit for Drying NPK Fertilizer at PT AGS Medan

Dimas Frananta Simatupang^{1*}, Yuniyanto¹, Erwin Dani Winata Sihaloho¹

¹Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan, Teknik Kimia, Indonesia

*correspondence email: difratas@ptki.ac.id

Received: 17/11/2020; Revised: 22/03/2021; Accepted: 22/03/2021;

doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7830.11-17

Abstrak

PT. AGS Medan merupakan pabrik yang bergerak dalam produksi pupuk NPK yang salah satu produknya adalah formula 12.12.17 dengan komposisi 12% unsur nitrogen, 12% unsur fosfor dan 17% unsur kalium. Salah satu tahapan dalam proses pembuatan pupuk NPK yaitu proses pengeringan. Jenis *dryer* yang digunakan adalah *rotary dryer* dengan putaran 5 rpm dan kemiringan 20°. Pengereng yang digunakan adalah udara panas yang berasal dari pembakaran batu bara jenis *bitminious* di dalam *furnace*. Untuk menentukan jumlah batu bara yang dibutuhkan dalam proses pengeringan pupuk NPK sebagai bahan bakar *furnace* maka diperlukan perhitungan jumlah panas. Pengambilan sampel, analisis kadar air dan suhu serta menghitung panas dengan prinsip neraca massa dilakukan dalam penelitian ini. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan untuk mengeringkan pupuk NPK dengan kapasitas pupuk NPK 7000 kg/jam dibutuhkan energi sebesar 6136268,402 Kkal/jam. Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK adalah sebesar 789,219 kg/jam.

Kata kunci: batu bara; *dryer*; neraca massa; pupuk NPK

Abstract

PT. AGS Medan is a factory engaged in the production of NPK fertilizer where one of the products is 12.12.17 with a composition of 12% nitrogen, 12% phosphorus and 17% potassium. One of the stages in the process of making NPK fertilizer is the drying process. The type of dryer used is a rotary dryer with a rotation of 5 rpm and a slope of 20°. The dryer used was hot air from burning bitminious coal in furnace. To determine the amount of coal needed in drying process of NPK fertilizer as furnace fuel, it was necessary to calculate the amount of heat. Sampling, analysis of moisture content and temperature then calculating heat with mass balance principles were carried out in this study. Based on the calculations that have been made to dry NPK fertilizer with an NPK fertilizer capacity of 7000 kg/hour, energy was required of 6136268.402 Kcal/hour. The amount of fuel needed to dry NPK fertilizer is 789.219 kg/hour.

Keywords: Coal; Dryer; Mass balance; NPK fertilizer

1. Pendahuluan

Peran batu bara sebagai sumber energi terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun terutama di kawasan Asia misalnya di India, batu bara menjadi sumber yang dominan sebagai penghasil energi [1,2], di Indonesia digunakan sebagai sumber daya untuk energi listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap [3] dan banyak juga ditemukan penggunaannya pada *boiler* sebagai penghasil uap panas [4]. Batu bara telah menjadi pemasok energi kedua terbesar setelah minyak dengan kontribusi 26% dari total konsumsi energi dunia dan diprediksi akan terus meningkat menjadi 29% pada tahun 2030.

Penggunaan batu bara di Indonesia cenderung menggunakan batu bara berjenis *bituminous* dan *subbituminous* yang kualitasnya lebih tinggi dibandingkan batu bara lignit. Batu bara lignit dikenal kurang ekonomis dikarenakan sifatnya yang sangat berbeda tergantung pada asalnya dan juga hanya mengandung 40% komposisi dari total batu bara dan bahan baku yang dipasarkan dengan tingkat keamanan yang tinggi [5,6]. Berdasarkan tingkat kalori, distribusi batu bara di Indonesia yaitu batu bara kalori rendah (<5100 kal/gram) 326,40 miliar ton, kalori sedang (5100-6100 kal//gram) 82,26 miliar ton, kalori tinggi (6100-7100 kal/gram) 8,27 miliar ton dan kalori yang sangat tinggi (>7100 kal/gram) 2,11 miliar ton [7].

Tidak semua batu bara dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk *boiler* tetapi berdasarkan atas HHV (*High Heating Value*). Jika nilai HHV rendah maka akan menghasilkan panas yang relatif rendah setelah terjadi pembakaran sehingga mempengaruhi performa dari *boiler* itu sendiri [8].

PT. AGS Medan merupakan salah satu industri pengolah pupuk NPK yang menggunakan batu bara untuk proses pembakaran dan pengeringan. Pupuk NPK merupakan hasil olahan dari pencampuran bahan-bahan yang sudah ditentukan dengan formulasi tertentu yang kemudian dibentuk menjadi granul dengan cara membasahi bahan-bahan dalam alat *granulator*. Salah satu produk pupuk NPK dari pabrik ini yaitu pupuk NPK formula 12:12:17 yang merupakan pupuk majemuk yang mengandung 3 unsur hara yakni nitrogen 12%, fosfor 12%, dan kalium 17%. Pupuk ini didesain khusus untuk tanaman perkebunan yang mempunyai sistem *gradual release* (keluar secara bertahap) yang cocok untuk tanaman perkebunan khususnya untuk tanaman yang masih dalam pertumbuhan dan belum berbuah. Pemeliharaan tanaman yang optimal akan menentukan pertumbuhan dan produktivitas pada masa tanaman di lapangan. Kultur teknis yang paling utama pada saat pembibitan adalah pemupukan [9].

Untuk proses pengeringan pupuk NPK, PT. AGS Medan menggunakan *rotary dryer* di unit *dryer*. Proses pengeringan adalah proses perpindahan massa air atau pelarut lainnya dari zat padat atau semi padat dengan menggunakan penguapan. Pengeringan merupakan bagian sangat penting dalam kegiatan industri yang memanfaatkan bahan bakar sebagai sumber energi. *Rotary dryer* adalah salah satu jenis mesin pengering yang secara khusus digunakan untuk mengeringkan aneka bahan padatan yang biasanya berbentuk tepung atau granul/butiran [10]. Bahan padatan dimasukkan dari ujung *inlet* melalui *screw conveyor* dan dikeringkan sepanjang tabung/drum yang berputar. Adanya

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

kemiringan tabung dan sirip-sirip di dalam tabung/drum menyebabkan bahan akan keluar menuju ujung *screw conveyor outlet*. Penggunaan DCS (*Distributed Control System*) bertujuan untuk mengendalikan proses manufaktur secara terus menerus atau *batch-oriented*. DCS adalah suatu sistem kendali terpadu secara otomatis [9]. *Rotary dryer* paling cocok untuk mengeringkan material yang tidak mudah pecah dan tahan terhadap panas serta membutuhkan waktu pengeringan yang cepat. *Rotary dryer* memiliki keunggulan diantaranya dapat mengeringkan baik lapisan luar ataupun dalam dari suatu padatan, proses pencampuran yang baik, memastikan bahwa terjadinya proses pengeringan bahan yang merata, menghasilkan efisiensi panas tinggi dan kesinambungan operasi [11,12].

Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk menentukan banyaknya batu bara yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK PT AGS Medan menggunakan *rotary dryer firebrick* melalui banyaknya energi panas yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Penelitian diawali dengan mengumpulkan data primer dari pabrik PT. AGS Medan tepatnya pada unit *dryer* pada proses pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17. Data primer tersebut meliputi laju pupuk yang masuk ke dalam unit *dryer*, temperatur udara dan kadar pupuk NPK yang masuk serta keluar dari unit *dryer*. Pengambilan data primer dilakukan sebanyak lima kali dengan kondisi dan parameter yang sama.

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *rotary dryer* dengan

kecepatan putar 5 rpm dan kemiringan 20⁰, *moisture analyzer* tipe Ohaus MB45, *Infrared thermometer* non-kontak EM520 dan *furnace*. Bahan yang digunakan sebagai sampel adalah pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* dan pupuk NPK granular yang keluar dari unit *dryer*.

2.2. Analisis Temperatur Pupuk NPK

Pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* dan pupuk NPK granular yang keluar dari unit *dryer* selanjutnya ditentukan temperaturnya dengan menembakkan sinar melalui alat *Infrared thermometer* non-kontak EM520 dan dicatat hasilnya.

2.3. Analisis Kadar Air Pupuk NPK

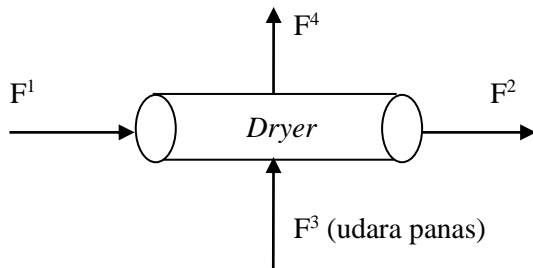
Sampel pertama adalah pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* diambil secukupnya kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang telah disiapkan. Kemudian sampel kedua adalah pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *dryer* diambil secukupnya kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang telah disiapkan. Masing-masing sampel secara bergantian dimasukkan ke dalam alat *moisture analyzer* sebanyak 5 gram. *Moisture analyzer* ditutup dan ditekan tombol *start* dengan suhu 160 °C. *Moisture analyzer* akan berbunyi setelah 10 menit dan dicatat berapa besar kadar air pada pupuk NPK granular yang tertera pada alat.

2.4. Perhitungan Neraca Massa

Kesetimbangan materi (*neraca massa*) dapat dirumuskan pada sistem konservatif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dengan F^1 merupakan laju pupuk NPK masuk ke *dryer*, F^2 merupakan laju pupuk NPK keluar *dryer*, F^3 merupakan laju udara masuk ke *dryer* dan

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

F^4 merupakan laju udara keluar dari *dryer*. Perhitungan neraca massa seperti pada Gambar 1 digunakan untuk menentukan jumlah pupuk NPK yang keluar dari *dryer* dan menentukan kadar air yang teruapkan.



Gambar 1. Neraca Massa Proses Pengeringan Pupuk NPK Formula 12.12.17

2.5. Penentuan Jumlah Udara Keluar *Dryer*

Untuk menentukan jumlah udara yang keluar dari unit *dryer* pada proses pengeringan pupuk NPK, diawali dengan menentukan debit aliran menggunakan persamaan (1). Kemudian menentukan massa udara dengan persamaan (2).

$$Q = A \cdot V \dots\dots\dots(1)$$

dengan Q adalah debit aliran (m^3/jam); A adalah luas penampang (m^2); V adalah kecepatan udara (m/s) [13].

$$M_{udara} = Q \cdot \rho_{udara} \dots\dots\dots(2)$$

dengan m_{udara} adalah massa udara (kg/jam); Q adalah debit aliran (m^3/jam) dan ρ_{udara} adalah berat jenis udara (kg/m^3).

Selanjutnya untuk menghitung jumlah udara yang keluar dari unit *dryer* pada proses pengeringan pupuk NPK dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$F^4 = F^3 + A \dots\dots\dots(3)$$

dengan F^4 adalah laju udara yang keluar dari unit *dryer*; F^3 adalah laju udara yang masuk ke unit *dryer* dan A adalah laju air yang teruapkan.

2.6. Penentuan Panas dan Kebutuhan Batu Bara pada *furnace* dalam Pengeringan Pupuk NPK

Sebelum menentukan panas yang digunakan pada proses pengeringan pupuk, terlebih dahulu ditentukan kapasitas panas dari komponen penyusun pupuk NPK formula 12.12.17 dengan metode *Goodman* [14].

Panas yang digunakan ($Q_{dibutuhkan}$) dalam proses pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17 ditentukan menggunakan persamaan (4)

$$Q_{dibutuhkan} = Q_1 + Q_2 \dots\dots\dots(4)$$

$Q_{dibutuhkan} = m_{NPK} \cdot C_{pNPK} \cdot \Delta T + m_{vapor} \cdot \lambda$
 m_{NPK} adalah Berat pupuk NPK masuk ke *dryer* (kg/jam); C_{pNPK} adalah panas molar NPK pada temperatur 328 K; ΔT adalah selisih suhu NPK masuk dan keluar *dryer* (K), m_{vapor} adalah massa air teruapkan (kg/jam); dan λ adalah nilai *enthalphy of vaporization* Air ($kkal/kg$).

Selanjutnya untuk menghitung jumlah bahan bakar batu bara yang dibutuhkan (m_{bb}) untuk memanaskan udara pada pengeringan pupuk NPK digunakan persamaan (5).

$$Q_{bahan\ bakar} = Q_{dibutuhkan} \\ m_{bb} \cdot N_{bb} = Q_{dibutuhkan} \dots\dots\dots(5)$$

dengan N_{bb} adalah nilai kalor batu bara *sub bitminous* = 7777 $kkal/jam$ [15].

3. Hasil dan Pembahasan

Data primer yang diperoleh langsung dari pabrik sangat penting untuk dapat menentukan kebutuhan batu bara yang digunakan dalam proses pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17. Setelah diperoleh data primer maka dilanjutkan pengambilan sampel pupuk NPK granular yang sudah melewati unit *granulator* dan pupuk NPK granular yang keluar dari unit

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

dryer. Sampel tersebut selanjutnya ditentukan temperatur dan kadar airnya.

Data-data tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Primer, Temperatur dan Kadar Air Pupuk NPK

No	Laju Pupuk (kg/jam)	Temperatur Udara (°C)		Temperatur Pupuk NPK (°C)		Kadar Air (%)	
		In	Out	In	Out	In	Out
1	7000	138	67	44	66	4,48	1,83
2	7000	137	64	45	65	4,48	1,82
3	7000	136	66	43	64	4,47	1,86
4	7000	136	67	44	65	4,46	1,84
5	7000	136	66	45	63	4,45	1,83

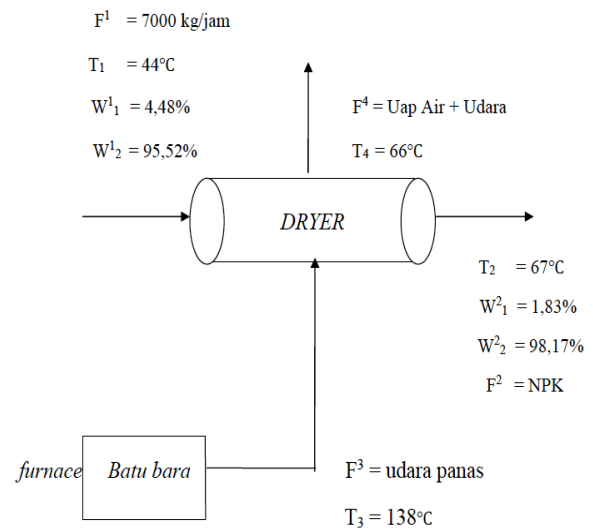
3.1. Penentuan Jumlah Pupuk NPK yang Keluar dari *Dryer* dan Kadar Air Teruapkan

Prinsip neraca massa digunakan untuk menentukan jumlah pupuk NPK yang keluar dari unit *dryer* dengan sistem konservatif seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dengan T_1 adalah temperatur pupuk NPK masuk ke *dryer* (°C), T_2 adalah temperatur pupuk NPK keluar dari *dryer* (°C), T_3 adalah temperatur udara panas NPK ke *dryer* (°C), T_4 adalah temperatur udara panas NPK keluar dari *dryer* (°C), W^1_1 adalah kadar air pupuk NPK masuk ke *dryer* (%), W^2_1 adalah kadar air pupuk NPK keluar dari *dryer* (%), W^1_2 adalah kadar pupuk NPK masuk ke *dryer* (%), W^2_2 adalah kadar pupuk NPK keluar dari *dryer* (%), F^1 adalah laju pupuk NPK keluar dari *dryer* (kg/jam), F^2 adalah laju pupuk NPK keluar *dryer* (kg/jam) dan F^3 adalah laju udara masuk ke *dryer* (kg/jam).

Berdasarkan pada Gambar 2, untuk menghitung laju pupuk NPK yang keluar dari *dryer* maka digunakan rumus neraca komponen NPK pada persamaan (6).

$$F^1 \cdot W^1_2 = F^2 \cdot W^2_2 \dots\dots\dots(6)$$

$$F^2 = 6687,382 \text{ kg/jam}$$



Gambar 2. Neraca Massa Proses Pengeringan Pupuk NPK

Dari perhitungan neraca komponen NPK diperoleh jumlah NPK yang keluar dari *dryer* sebesar 6687,382 kg/jam. Selanjutnya untuk menghitung kadar air yang teruapkan pada proses pengeringan pupuk NPK pada unit *dryer* dapat dihitung menggunakan rumus neraca massa pada persamaan (7).

$$F^4 \cdot W^4_1 = F^1 \cdot W^1_1 - F^2 \cdot W^2_1 \dots\dots\dots(7)$$

$$F^4 \cdot W^4_1 = 190,621 \text{ kg/jam}$$

Dari perhitungan neraca komponen jumlah air yang teruapkan diperoleh jumlah air yang teruapkan pada unit *dryer* adalah 190,621 kg/jam.

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

3.2. Penentuan Laju Udara Keluar dari *Dryer*

Untuk menentukan jumlah udara yang keluar dari unit *dryer* maka ditentukan terlebih dahulu komponennya yaitu debit aliran udara dan massa udara. Melalui perhitungan diperoleh debit aliran Q adalah 12380,141 m³/jam dengan luas penampang sebesar 1,719 m² dan kecepatan udara 2 m/s. Kemudian massa udara diperoleh melalui perhitungan rumus sebesar 10637,512 kg/jam dengan massa jenis udara sebesar 0,8592 kg/m³ melalui interpolasi data pada suhu 125 °C dan 150 °C. Lebih lanjut, laju udara yang keluar dari unit *dryer* ditentukan dengan persamaan (8) yang sesuai pada Gambar 2, sehingga laju udara keluar dari unit *dryer* diperoleh sebesar 10828,133 kg/jam.

$$F^4 = F^3 + F^4 \cdot W^1_4 \dots\dots\dots(8)$$

$$F^4 = 10637,512 \text{ kg/jam} + 190,621 \text{ kg/jam}$$

$$F^4 = 10828,133 \text{ kg/jam}$$

3.3. Jumlah Panas dan Batu Bara pada *furnace* dalam Pengeringan Pupuk NPK

Kapasitas panas dari komponen penyusun pupuk NPK formula 12.12.17

dengan metode *Goodman* [14] ditunjukkan pada Tabel 2 pada temperatur rata-rata 328 K.

Tabel 2. Kapasitas Panas Beberapa Komponen Pupuk NPK

Komponen	Konstanta (A)	Cp.m (Kkal/Kg.K)
CO(NH ₂) ₂	14,099036	0,005542
P ₂ O ₅	7,791104	0,00126786

Kapasitas panas dari komponen penyusun pupuk NPK formula 12.12.17 lainnya seperti KCl pada temperatur yang sama yaitu 328 K adalah sebesar 0,16396972 kkal/kg.K [14]. Kapasitas panas air pada temperatur 44 °C adalah 0,99825178 kkal/kg.K [16]. Dengan demikian maka kapasitas panas untuk pupuk NPK formula 12.12.17 ditentukan dengan persamaan (9), sehingga kapasitas panas total adalah 0,47589419 kkal/kg.K. Selanjutnya jumlah panas yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK pada unit *dryer* melalui perhitungan diperoleh sebesar 6136939,939 kkal/jam.

$$C_{pNPK} = C_{pCO(NH_2)_2} \cdot \%CO(NH_2)_2 + C_{pP_2O_5} \cdot \%P_2O_5 + C_{pKCl} \cdot \%KCl + C_{pH_2O} \cdot \%H_2O \dots\dots(9)$$

Tabel 3. Tabulasi Data Jumlah Panas dan Kebutuhan Batu Bara

No	Suhu Pupuk NPK (°C)		Kadar Air (%)		Jumlah Panas Kkal/jam	Jumlah bahan bakar Kg/jam
	In	Out	In	Out		
1	44	66	4,48	1,83	6136939,939	789,114
2	45	65	4,48	1,82	6135565,430	789,322
3	43	64	4,47	1,86	6136738,650	789,102
4	44	65	4,46	1,84	6136443,760	789,237
5	45	63	4,45	1,83	6135654,230	789,322

Dengan diperolehnya nilai jumlah panas maka dapat ditentukan kebutuhan bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan udara dalam proses

pengeringan pupuk NPK formula 12.12.17 yaitu sebesar 789,114 kg/jam. Dengan cara yang sama perhitungan kebutuhan panas dan kebutuhan bahan bakar pada

Analisis Kebutuhan Batu Bara pada Unit *Dryer* dalam Pengeringan Pupuk NPK di PT AGS Medan

pengeringan pupuk NPK pada unit *dryer* dilakukan seperti data 2,3,4,5 dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan untuk mengeringkan pupuk

NPK dengan kapasitas 7000 kg/jam dibutuhkan energi sebesar 6136268,402 Kkal/jam Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk mengeringkan pupuk NPK adalah sebesar 789,219 kg/jam.

Daftar Rujukan

- [1] Vasa, R., Ram, N., A, J. F., & Karthick, P. (2018). Performance analysis of steam turbine in Thermal Power plant, *International Journal of Trendy Research and Engineering and Technology*, 2(3), 33-38. Retrieved from <https://trendytechjournals.com/files/issues/volume2/issue3-8.pdf>
- [2] Srinivas, G. T., Kumar, D. R., Mohan, P. V. V. M., & Rao, B. N. (2017). Efficiency of a Coal Fired Boiler in a Typical Thermal Power Plant. *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(1), 32. doi: 10.11648/j.ajmie.20170201.15
- [3] Sagaf, M. (2018). Analisis faktor-faktor penyebab perubahan efisiensi boiler jenis pulverized coal fired forced circulation sub-critical pressure menggunakan metode tak langsung. *Teknoin*, 24(2), 147–158. doi: 10.20885/teknoin.vol24.iss2.art5
- [4] Bureska-Joleska, L. (2017). Influence of coal quality to the boiler efficiency and opportunity for its improvement. *Termotekhnika*, 43(1–4), 59–65. doi: 10.5937/termotekh1704059b
- [5] Plutecki, Z., Sattler, P., Ryszczuk, K., Duczkowska, A., & Anweiler, S. (2020). Thermokinetics of brown coal during a fluidized drying process. *Energies*, 13(3), 24–26. doi: 10.3390/en13030684
- [6] Pusat, S., & Erdem, H. H. (2017). Drying characteristics of coarse low-rank-coal particles in a fixed-bed dryer. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 37(6), 303–313. doi: 10.1080/19392699.2016.1179638
- [7] Rahman, R., Widodo, S., Azikin, B., & Tahir, D. (2019). Chemical composition and physical characteristics of coal and mangrove wood as alternative fuel. *Journal of Physics: Conference Series*, 1341(5). doi: 10.1088/1742-6596/1341/5/052008
- [8] Solahuddin, M. I. (2018). Analisis Pengaruh Perbedaan Nilai HHV (High Heating Value) Batubara Terhadap Gas Hasil Pembakaran pada Boiler. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 2(2), 30–34. doi: 10.31543/jtm.v2i2.157
- [9] Medan, P. A. (2017). *Katalog PT AGS Medan*.
- [10] Huang, Z. G., Weng, Y. X., Fu, N., Fu, Z. Q., Li, D., & Chen, X. D. (2016). Modeling and Simulation of a Co-current Rotary Dryer. *International Journal of Food Engineering*, 12(2), 189–194. doi: 10.1515/ijfe-2015-0159
- [11] Simanjuntak, M. E., Prabowo, Widodo, W. A., Sutrisno, & Sitorus, M. B. H. (2019). Experimental and numerical study of coal swirl fluidized bed drying on 100 angle of guide vane. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(11), 5499–5505. doi: 10.1007/s12206-019-1042-2
- [12] Zainullin, L. A., Karelin, V. G., Artov, D. A., Epishin, A. Y., & Spirin, N. A. (2017). Drying of Coal by a Solid Heat-Transfer Medium. *Metallurgist*, 60(9–10), 912–915. doi: 10.1007/s11015-017-0385-0
- [13] Asdak, C. (1995). *Hidrologi Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- [14] Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (Eight.). New York: McGraw-Hill.
- [15] Dwi, R. C. (2008). *Studi Perbaikan Kualitas Tegangan dan RugiRugi Daya pada Penyulang Pupur dan Bedak Menggunakan Bank Kapasitor, Trafo pengubah Tap dan Penggantian Kabel Penyulang*. Universitas Indonesia.
- [16] Reklaitis, G. V. (1983). *Introduction to Material and Energy Balances*. USA: John &Wiley & Sons, Inc.