

SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR COOLER FAN 55FN08MT01 PADA GRATE COOLER CLINKER MENGGUNAKAN VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD) DI PT SEMEN BATURAJA TBK

Alfin Fitrohul Huda^{1*}, Ahmad Saudi Samosir², Safaruddin³

^{1,2} Jurusan teknik Elektro, Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung

³ SMBR Learning Development; Jl. Raya Tiga Gajah, Sukajadi, Baturaja Timur, Kab. Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan

Riwayat artikel:

Received: 27 Februari 2024

Accepted: 30 Maret 2024

Published: 2 April 2024

Keywords:

Sistem kendali, Grate Cooler Clinker, Variable Frequency Drive, Cooler Fan 55FN08MT01, Respon sistem kendali.

Correspondent Email:

alfin.fitrohulhuda2053@students.unila.ac.id

Abstrak. Proses pendinginan klinker merupakan proses yang sangat penting, karena dapat mempengaruhi kualitas akhir dari produk semen. Proses pendinginan klinker di PT Semen Baturaja Tbk dilakukan di *Grate cooler clinker* yang dibantu dengan beberapa *cooler fan*. Kecepatan motor dalam menggerakkan *cooler fan* akan bervariasi bergantung pada letak motor *cooler fan* tersebut, sehingga diperlukan pengatur kecepatan dari motor untuk memvariasikan kecepatannya, yaitu menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD). Laporan kerja praktik ini bertujuan untuk mengetahui sistem kendali beserta respon sistem kecepatan motor *cooler fan* 55FN08MT01 pada grate cooler clinker menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD) di PT Semen Baturaja Tbk. Berdasarkan hasil pembahasan, diperoleh sistem pengendalian motor cooler fan 55FN08MT01 pada *grate cooler clinker* menggunakan mekanisme *closed loop control*. Selain itu, diperoleh bahwa laju aliran udara selalu dijaga pada nilai *set point*-nya yaitu $\pm 13.500 \text{ m}^3/\text{h}$ walaupun tekanan udara pada *undergrate* selalu berubah-ubah sehingga dapat dikatakan sistem pengendaliannya sudah bekerja dengan baik.

Abstract. The clinker cooling process is a very important process, because it can affect the final quality of the cement product. The clinker cooling process at PT Semen Baturaja Tbk is carried out in a grate cooler clinker which is assisted by several cooler fans. The speed of the motor in moving the cooler fan will vary depending on the location of the cooler fan motor, so a motor speed controller is needed to vary the speed, namely using a Variable Frequency Drive (VFD). This practical work report aims to determine the control system and response of the 55FN08MT01 cooler fan motor speed system on a grate cooler clinker using a Variable Frequency Drive (VFD) at PT Semen Baturaja Tbk. Based on the results of the discussion, it was obtained that the 55FN08MT01 cooler fan motor control system on the grate cooler clinker uses a closed loop control mechanism. Apart from that, it was found that the air flow rate was always maintained at the set point value, namely $\pm 13,500 \text{ m}^3/\text{h}$ even though the air pressure at the undergrate was always changing, so it could be said that the control system was working well.

1. PENDAHULUAN

Dunia industri mengalami perkembangan yang cukup pesat dalam berbagai sektor.

Seiring dengan hal tersebut, ilmu pengetahuan dan teknologi juga mengalami perkembangan yang besar, khususnya dalam bidang

kelistrikan. Pengkondisian udara dan pendinginan merupakan proses yang sangat penting di dunia industri. Sebagian besar pabrik manufaktur menggunakan *fan* (kipas) dan blower untuk proses yang memerlukan aliran udara. Sistem *fan* sangat penting untuk menjaga agar proses produksi tetap berjalan. Sistem fan terdiri dari kipas, motor listrik, pengendali kecepatan motor, dan peralatan pendingin udara lainnya.

Pada PT Semen Baturaja Tbk, sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi semen, proses pendinginan memainkan peran penting dalam menghasilkan produk semen yang baik. Secara garis besar, proses produksi semen terdiri dari enam tahap, yaitu penyediaan bahan baku, penggilingan dan homogenisasi bahan menjadi raw meal, pembakaran *raw meal* menjadi klinker, pendinginan klinker, penggilingan klinker menjadi semen, serta pengantongan semen. Keenam tahap tersebut dilaksanakan pada lima unit operasi utama, yaitu unit *crusher*, unit *raw mill*, unit *kiln* dan *coal mill*, unit *cement mill*, dan unit *packer*. Dalam tahapan-tahapan tersebut terdapat salah satu tahapan yang cukup menentukan kualitas dan kuantitas produk semen yang dihasilkan yaitu tahap pendinginan klinker pada *grate cooler*.

Proses pendinginan klinker tersebut menggunakan metode *quenching* (pendinginan secara mendadak) dari temperatur sekitar 1450°C menjadi sekitar 100°C. Proses pendinginan terak ini dilakukan di dalam alat *Grate Cooler*, dimana media pendinginnya adalah udara yang didistribusikan oleh cooler fan. Kecepatan pendinginan klinker berpengaruh terhadap kualitas akhir semen, karena selama pendinginan lambat, kristal dari komponen klinker akan terbentuk sekaligus menyebabkan sebagian fase cair mamadat. Sementara pada pendinginan cepat, dapat mencegah pertumbuhan lanjut dari kristal yang terbentuk [1]. Pada proses ini, motor induksi tiga fasa digunakan sebagai penggerak *cooler fan*. Motor induksi tiga fasa digunakan karena kelebihanannya, yaitu mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, dan perawatannya yang mudah.

Motor induksi pada umumnya dioperasikan pada kecepatan yang konstan dan pada industri umumnya menggunakan motor listrik yang dapat diatur kecepatan putarannya sesuai

dengan apa yang dibutuhkan. Oleh karena itu, pada pengoperasiannya, motor induksi tiga fasa membutuhkan sistem pengendali kecepatan sehingga diperlukan suatu teknologi yang dapat mengendalikan kecepatan motornya. Teknologi yang sering digunakan sebagai pengendali kecepatan motor adalah *Variable Frequency Drive* (VFD) untuk mengatur dan mengendalikan kecepatan putar motor induksi tiga fasa penggerak *cooler fan* dengan cara menyesuaikan nilai tegangan dan frekuensi listrik yang di suplai ke motor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Grate Cooler Clinker*

Grate cooler clinker adalah alat pendingin yang ditempatkan setelah kiln yang berfungsi untuk mendinginkan klinker, yang keluar dari kiln, secara cepat dari suhu sekitar 1450°C menjadi sekitar 100°C atau juga disebut metode *air quenching effect*. Proses pendinginan klinker di dalam *grate cooler* merupakan salah satu proses yang cukup penting dalam produksi semen. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan klinker setelah melewati pemanasan di dalam rotary kiln, merupakan salah satu faktor dalam upaya menghasilkan klinker dengan kualitas yang diharapkan. Pendinginan klinker mempengaruhi struktur, komposisi *mineral grindability*, dan kualitas semen yang dihasilkan. Bagian-bagian utama dari *grate cooler clinker*, yaitu *casing*, *static pre-grate*, *transport track*, *hydraulic drive*, *roller crusher*, dan *cooler fan* [2-3].

2.2. *Cooler Fan*

Cooler fan adalah bagian *grate cooler* yang berfungsi untuk mendinginkan klinker dengan menghembuskan udara bertekanan tinggi ke dalam *grate cooler*. *Cooler fan* bertugas untuk mengalirkan udara melalui klinker yang panas, sehingga menghilangkan panas dan mendinginkan klinker sebelum diproses lebih lanjut. Udara yang dihembuskan oleh *cooler fan* membantu mendinginkan klinker secara efisien, menjaga suhu klinker dalam batas yang aman, dan mempersiapkan klinker untuk tahapan berikutnya dalam proses produksi semen [4].

2.2.1. *Air Flow Control*

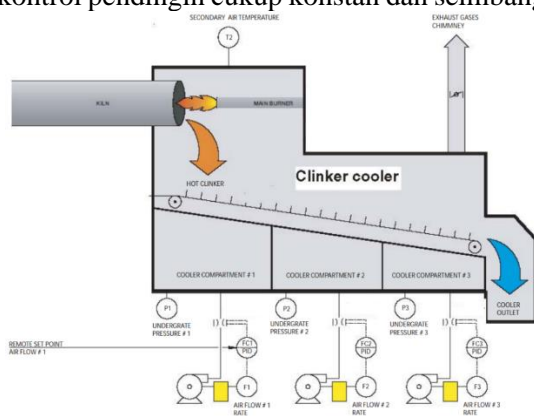
Selama kondisi normal, *cooler fan* beroperasi pada sekitar 60% hingga 90% dari kinerja maksimumnya sehingga kapasitas cadangan yang tersisa cukup untuk mengatasi *kiln rushes*

(upset condition) pada akhirnya. Bersama dengan *grate speed control*, *air flow control* akan memastikan pasokan udara pendingin yang cukup ke *cooler* dan, di sisi lain, cenderung memberikan suhu udara pembakaran yang lebih beragam ke kiln [4].

2.2.2. Undergrate Pressure Control

Kendali *undergrate pressure* dan kendali *air flow* merupakan bagian terpenting dari kontrol *cooling fan* karena merupakan kunci keberhasilan pencapaian tujuan kontrol pendingin. Pengetahuan dan pemahaman menyeluruh tentang kontrol ini sangat penting bagi operator untuk memungkinkannya menjaga stabilitas pengoperasian kiln dan mencegah komponen pendingin dari *overheating* [5].

Sistem pendingin yang ditunjukkan pada Gambar 1 memiliki tiga kompartemen *undergrate*, masing-masing kompartemen menerima udara pendingin dari kipas individual. Untuk tujuan kontrol, berbagai instrumen merekam tekanan *undergrate* di setiap kompartemen, laju aliran udara yang dialirkan oleh masing-masing kipas, dan kecepatan *transport track*. Dalam kondisi operasi normal (operasi stabil), terdapat sensor *air pressure* untuk setiap kompartemen yang memastikan pendinginan klinker yang tepat. Dengan menahan tekanan *undergrate* ini konstan, operator secara teoritis akan menahan kontrol pendingin cukup konstan dan seimbang.



Gambar 1. Sistem pendingin grate cooler clinker [5]

2.3. Motor induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah mesin listrik yang mengkonversi energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Konstruksi

motor induksi tiga fasa terdiri dari stator, rotor, dan celah udara [6-7].

2.3.1. Prinsip Kerja Motor Induksi

Kumparan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berotasi dengan kecepatan rotasi sinkron sebesar [7]:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

Dimana,

n_s = kecepatan sinkron motor (rpm)

f = frekuensi sumber (Hz)

p = jumlah kutub motor

Medan magnet putar pada stator tersebut akan memotong penghantar-penghantar pada rotor, sehingga pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl). Kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, sehingga ggl (E) akan menimbulkan arus. Adanya arus akan menghasilkan medan magnet yang menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel awal yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator [7].

2.4. Variable Frequency Drive (VFD)

Variable Frequency Drive adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan rotasi motor listrik AC dengan cara mengatur frekuensi dan tegangan listrik yang diberikan ke motor. VFD juga dikenal sebagai *Adjustable Frequency Drive* (AFD), *Variable Speed Drive* (VSD), atau *AC Drive* [8]. VFD terdiri dari beberapa bagian, yaitu *three-phase full wave rectifier*, *DC bus*, dan *three-phase inverter* [9].

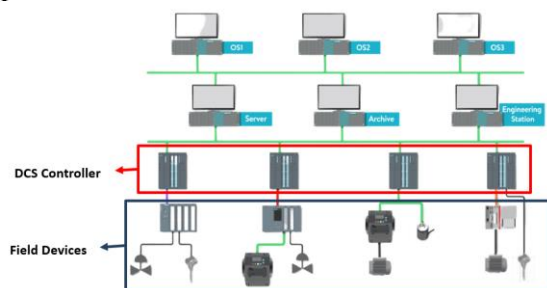
Proses pengaturan frekuensi dan tegangan yang diberikan ke motor diatur melalui *three-phase inverter*. Inverter berisi IGBT yang mengalirkan daya ke motor. IGBT dapat menghidupkan dan mematikan beberapa ribu kali per detik dan secara tepat mengontrol daya yang dialirkan ke motor. IGBT menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk mensimulasikan arus gelombang sinus pada frekuensi yang diinginkan ke motor [9].

2.5. Distributed Control System

Distributed Control System (DCS) adalah sebuah sistem yang terintegrasi menggunakan kontroler, protokol komunikasi, dan komputer yang dapat memudahkan user atau operator

untuk mengontrol peralatan-peralatan yang ada di lapangan menggunakan sinyal analog maupun digital dari central control room. DCS merupakan sebuah sistem pengontrol yang dihubungkan melalui data network, sebagai satu sistem. DCS digunakan dalam aplikasi proses kompleks yang membutuhkan I/O dan data dalam jumlah besar, seperti pabrik kimia. DCS sangat cocok untuk proses batch dan memiliki kemampuan untuk menangani *interlock* yang rumit dan pengaturan waktu antar operasi [10].

DCS tersusun dari beberapa bagian, yaitu *operator station (OS)*, *Servers*, *Archiving*, dan *Engineering Station*, DCS controller, serta *field devices* [11-12]. Komponen DCS ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagian-bagian DCS [11]

3. METODE PENELITIAN

Adapun metode penelitian dan data-data yang diperoleh dalam laporan ini berasal dari:

a. Studi Literatur

Pada metode ini, penulis mempelajari jurnal-jurnal, buku, dan skripsi terkait permasalahan yang akan dibahas. Melalui studi ini penulis mencari informasi dan referensi yang dibutuhkan dalam menyusun laporan hasil kerja praktik.

b. Pengamatan Lapangan

Metode pengamatan lapangan dilakukan oleh penulis untuk melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek yang akan dibahas di lapangan. Dari pengamatan ini penulis memperoleh data pengujian yang sebenarnya, sehingga data tersebut dapat diolah dan dijadikan pokok bahasan dalam penyusunan laporan.

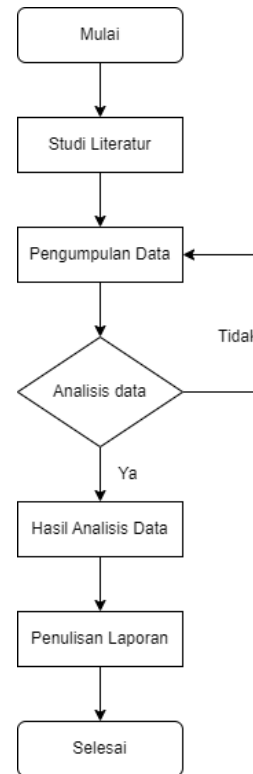
c. Wawancara

Melalui metode wawancara, penulis melakukan tanya jawab kepada pembimbing lapangan dan para pekerja di lapangan untuk mendapatkan informasi mengenai berbagai hal

yang sebelumnya belum diketahui maupun yang tidak penulis dapatkan pada studi literatur.

3.1. Diagram Alir Kerja Praktik

Adapun diagram alir kerja praktik terlihat pada Gambar 3, sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram alir kerja praktik

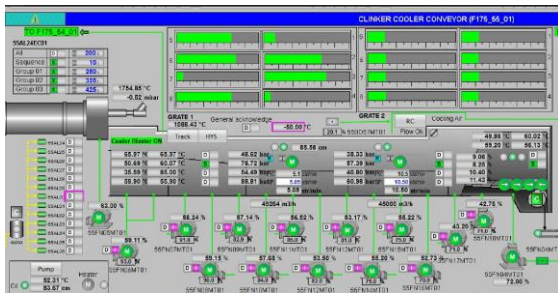
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Grate Cooler Clinker PT Semen Baturaja Tbk

Grate cooler pada sistem *cooling clinker* PT Semen Baturaja Tbk terdapat pada area kiln, seperti yang terlihat pada gambar 4.1. *Grate cooler clinker* yang ada di PT Semen Baturaja Tbk memiliki 2 grate dan disetiap grate terdapat beberapa kompartmen. Pada setiap kompartmen, proses pendinginan dibantu dengan grate plate pada transport track dan cooler fan. Clinker yang keluar dari kiln kemudian masuk ke grate 1 dan secara perlahan menuju ke grate 2 yang digerakkan oleh grate plate menuju roller crusher untuk diperkecil ukurannya.

Selama *grate plate* menggerakkan klinker, proses pendinginan juga dilakukan oleh *cooling fan* dengan meniupkan angin dari bawah *grate plate* sehingga suhu klinker menurun. Adapun jumlah *cooler fan* yang terdapat pada *undergrate grate cooler* adalah berjumlah

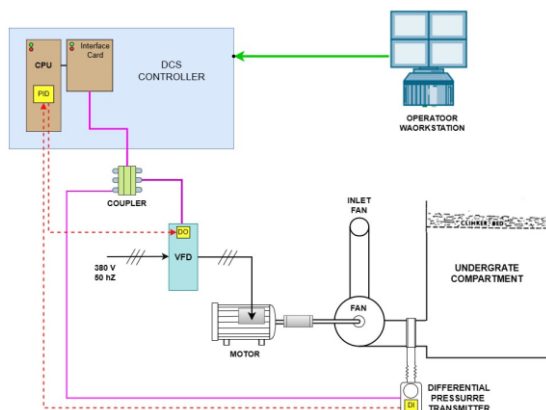
sebanyak 13 buah yang kecepatannya dikendalikan dengan menggunakan *Variable Frequency Drive*. VFD mengatur frekuensi dan tegangan yang diberikan ke motor *cooling fan* agar sesuai dengan kecepatan yang diinginkan. Pada laporan kerja praktik ini, penulis hanya akan membahas salah satu kipas saja, yaitu cooler fan 55FN08MT01.



Gambar 4. Interface sistem kendali cooler fan pada Operator Work Station

4.2. Sistem Kendali VFD sebagai Pengatur Kecepatan Putaran Motor Cooler Fan 55FN08MT01

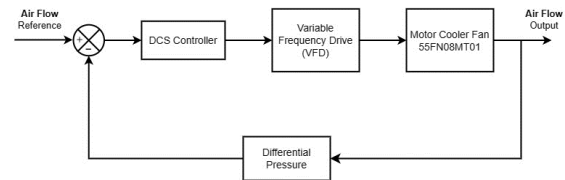
Sistem pengendalian VFD sebagai pengatur kecepatan putaran motor penggerak cooler fan 55FN08MT01 diperlihatkan pada gambar 4. Berdasarkan gambar tersebut, dapat dianalisis bagaimana prinsip kerja sistem pengendalian motor cooler fan 55FN08MT01 pada grate cooler clinker. Pada gambar 4, terlihat bahwa untuk mengendalikan kecepatan motor cooler fan diperlukan beberapa instrumen, yaitu *differential pressure transmitter*, *DCS controller*, dan *Variable Frequency Drive* (VFD).



Gambar 5. Diagram sistem kendali kecepatan motor cooler fan 55FN08MT01

Set point yang diatur oleh operator melalui OWS untuk mengendalikan kecepatan motor cooler fan adalah disesuaikan dengan kebutuhan air flow yang diperlukan, yaitu

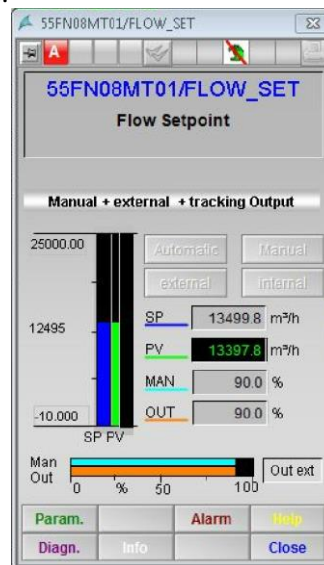
cukup sekitar 13500 m³/hours, sehingga oleh operator diatur setpoint frekuensi motor sebesar 90% yang menghasilkan kecepatan motor 2673 rpm. Diagram blok pengendalian kecepatan motor cooler fan 55FN08MT01 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6. Diagram blok pengendalian kecepatan motor cooler fan 55FN08MT01

4.3. Pengaturan Set Point pada Sistem OWS

Set point yang diatur oleh operator melalui OWS untuk mengendalikan kecepatan motor cooler fan adalah disesuaikan dengan kebutuhan air flow yang diperlukan, yaitu sebesar 90% yang menghasilkan kecepatan motor 2673 rpm dan aliran udara ±13500 m³/hours.



Gambar 7. Pengaturan set point pada sistem OWS

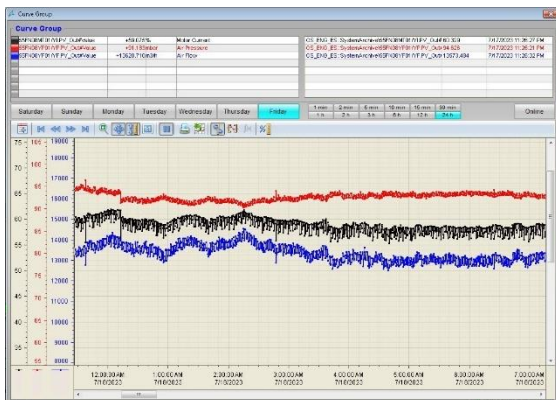
4.4. Analisis Respon Sistem Kendali Cooler Fan 55FN08MT01 pada Grate Cooler Clinker

Berdasarkan data yang diperoleh penulis selama melaksanakan kerja praktik di PT Semen Baturaja Tbk, dapat dilakukan analisa respon pengendali cooler fan 55FN08MT01 pada grate cooler clinker. Berikut merupakan grafik trending dari *air flow*, *air pressure*, dan *motor current* dari sistem kendali DCS yang

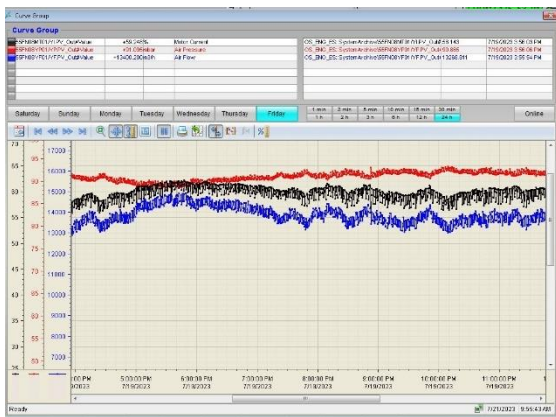
diperoleh dari tanggal 17 Juli 2023 hingga 21 Juli 2023.



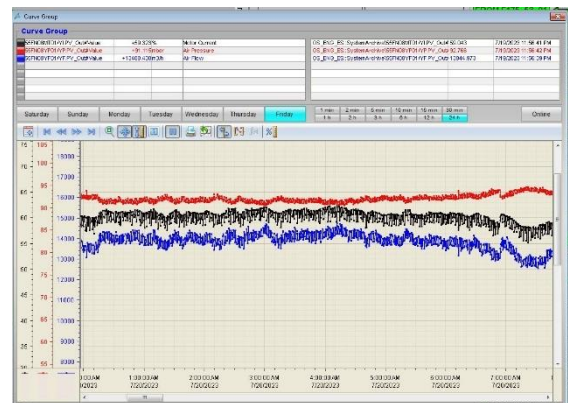
Gambar 8. Grafik trending *air pressure*, *air flow*, dan *motor current* tanggal 17-07-2023



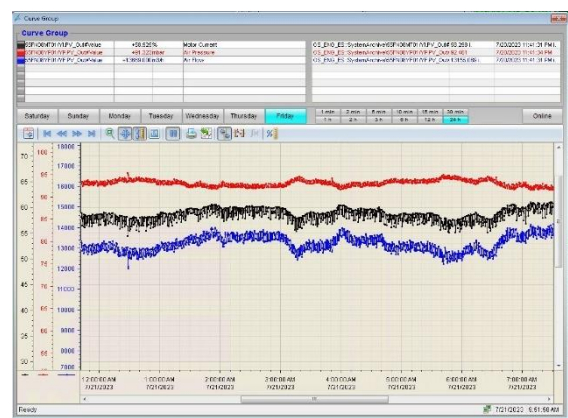
Gambar 9. Grafik trending *air pressure*, *air flow*, dan *motor current* tanggal 18-07-2023



Gambar 10. Grafik trending *air pressure*, *air flow*, dan *motor current* tanggal 19-07-2023



Gambar 11. Grafik trending *air pressure*, *air flow*, dan *motor current* tanggal 20-07-2023



Gambar 12. Grafik trending *air pressure*, *air flow*, dan *motor current* tanggal 21-07-2023

Berdasarkan sampel grafik trending diatas, diperoleh bahwa parameter air pressure akan mempengaruhi parameter air flow dan motor current. Hasil pengukuran respon air pressure ditunjukkan dengan plot trend warna merah, air flow ditunjukkan dengan warna biru, dan motor current ditunjukkan dengan warna hitam. Terlihat bahwa laju aliran udara selalu dijaga pada nilai set point-nya yaitu ± 13.500 m³/h. Sedangkan tekanan udara berubah-ubah diakibatkan karena ketebalan material klinker di atas grate. Nilai arus motor akan berubah-ubah bergantung pada kecepatan motor saat menggerakkan cooler fan, dimana kecepatan dan laju aliran udara berbanding lurus, jadi bila air flow semakin tinggi, maka kecepatan motor akan tinggi dan mengakibatkan arus motor juga tinggi.

Nilai air pressure dipengaruhi oleh ketebalan material klinker diatas grate dan nilai air flow berubah-ubah mengikuti nilai air pressure guna mempertahankan nilai laju aliran udara yang diinginkan. Hubungan antara air flow dan air

pressure adalah berbanding terbalik, yaitu jika nilai air pressure naik, maka nilai air flow dan motor current akan turun. Begitu pula sebaliknya, jika nilai air pressure turun, maka nilai air flow dan motor current akan naik. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan sistem pengendalian sudah bekerja dengan baik.

5. KESIMPULAN

- a. Pengontrolan motor cooler fan 55FN08MT01 pada Grate Cooler Clinker menggunakan Variable Frequency Drive dilakukan dengan cara memberikan set point pada unit pengendali DCS sehingga motor akan berputar sesuai dengan set point yang diberikan.
- b. Sistem pengendalian motor cooler fan 55FN08MT01 pada grate cooler clinker pendingin menggunakan mekanisme closed loop control dengan feedback dari sensor differential pressure, pengendali berupa DCS controller dan Variable Frequency Drive (VFD), serta aktuator berupa motor cooler fan 55FN08MT01.
- c. Berdasarkan sampel grafik trend yang diambil, terlihat bahwa laju aliran udara selalu dijaga pada nilai set point-nya yaitu sekitar 13.500 m³/h walaupun tekanan udara pada undergrate selalu berubah-ubah. Sehingga dapat dikatakan sistem pengendaliannya sudah bekerja dengan baik.
- d. Berdasarkan grafik trend yang diambil, dapat diketahui bahwa hubungan antara nilai air flow dan nilai air pressure adalah berbanding terbalik, karena semakin tinggi tekanan udara pada undergrate maka aliran udara akan semakin turun, begitu pula sebaliknya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap kerja praktik ini, sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal tanpa ada halangan sedikitpun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Setiyana, "Analisis Unjuk Kerja *Grate Clinker Cooler* Pada Proses Produksi Semen," J. Rotasi, vol. 9, no. 3, pp. 19–26, 2007.
- [2] K. Anwar, "Analisis Perpindahan Panas Pada *Grate Cooler* Industri Semen," Maj. Ilm. Mektek, vol. IV, no. 2, pp. 45–49, 2011.
- [3] H. Haryanto, "Kendali Proses *Grate Cooler Plant 8 Grate 1*, PT. Indocement Tunggul Prakarsa Tbk," Tek. J. Sains dan Teknol., vol. 13, no. 1, p. 51, 2017, doi: 10.36055/tjst.v13i1.5847.
- [4] Holderbank 2000, "Cement Seminar Process Technology."
- [5] Durapulse, "AC drive with PID control loop." pp. 1–13.
- [6] Zuhail, Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya, 6th ed. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2000.
- [7] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals: Induction Motors. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [8] R. Saidur, S. Mekhilef, M. B. Ali, A. Safari, and H. A. Mohammed, "Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 16, no. 1, pp. 543–550, 2012, doi: 10.1016/j.rser.2011.08.020.
- [9] A. Syed, S. U. Ahmed, H. Khan, S. Faizan, and M. K. Siddiqi, "Power Saving Using Variable Frequency Drive," Int. J. Sci. Res. Eng. Trends, vol. 6, no. 4, pp. 2395–566, 2020.
- [10] K. N. Oo, M. Naing, and H. Myo Tun, "Implementation Of Distributed Control System In Process Control Management Using MATLAB," Int. J. Sci. Technol. Res., vol. 3, no. 6, pp. 149–154, 2014, [Online]. Available: www.ijstr.org.
- [11] M. Anderson, "What is DCS? (Distributed Control System)," REALPARS, 2019.
- [12] A. D. Auliyaa, "Studi Sistem Kendali dan Instrumentasi Water Level (56-LC-001 A/B) pada Cooling Tower Utility (Unit 56) di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit VI Balongan, Indramayu," Universitas Indonesia, 2018.