

Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Sistem Multispeed pada Konveyor Mesin Crusher

Giovanni Dimas Prenata¹, Ageng Prayoga²
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No 45 Surabaya
gprenata@untag-sby.ac.id¹, agengprayoga977@gmail.com²

Abstrak

Motor induksi 3 fasa merupakan mesin listrik yang paling umum digunakan sebagai alat penggerak. PT. Keramik Diamond Industri menggunakan motor induksi 3 fasa sebagai penggerak konveyor pengangkutan material khususnya batubara. Ketika motor induksi disuplai dengan tegangan konstan, motor tersebut beroperasi pada kecepatan konstan yang tak terkontrol. Oleh karena itu penggunaan Variable Frekuensi Drive (VFD) pada konveyor memungkinkan pengendalian kecepatan dengan merubah frekuensi kerja. Sistem ini dipadukan dengan sensor dan Programmable Logic Controller (PLC) untuk mengimplementasikan sistem multispeed. Penggunaan multispeed bertujuan untuk menstabilkan arus pada motor mesin Crusher untuk mencegah terjadinya arus berlebih akibat beban berlebih. Ketika arus motor koveyor dibawah/sama dengan 98 A, kecepatan motor koveyor bergerak naik menuju kecepatan maksimal 1500 RPM. Ketika arus motor diatas 98 A hingga 200 A, kecepatan motor konveyor menurun mendekati nol RPM

Kata Kunci — Motor induksi 3 fasa, PLC, VFD, Sensor Current Transducer dan Mesin Crusher.

Abstract

The 3-phase induction motor is the most commonly used electric machine as a driving force. PT. Industrial Diamond Ceramics uses a 3-phase induction motor to drive conveyors for transporting materials, especially coal. When an induction motor is supplied with a constant voltage, it operates at an uncontrolled constant speed. Therefore, the use of Variable Frequency Drive (VFD) on the conveyor allows speed control by changing the working frequency. This system is combined with sensors and a Programmable Logic Controller (PLC) to implement a multispeed system. The aim of using multispeed is to stabilize the current on the crusher motor to prevent excessive current due to overload. When the conveyor motor current is below/equal to 98 A, the conveyor motor speed moves up to a maximum speed of 1500 RPM. When the motor current is above 98 A to 200 A, the conveyor motor speed decreases to near zero RPM.

Keywords — 3 phase induction motor, Current Transducer Sensor, Crusher Machine, PLC and VFD.

I. PENDAHULUAN

Mesin *Crusher* merupakan mesin penghancur material. Mesin ini menghancurkan material besar sehingga menjadi material berukuran lebih kecil. Pada mesin *Crusher* terdapat *conveyor* yang membawa material yang akan dihancurkan sebagai bahan baku. Permasalahan yang selalu terjadi yaitu motor penggerak mesin *Crusher* sering terbakar dan rusak karena kegagalan sistem ketika memasok material pada mesin *Crusher*.

Motor penggerak *conveyor* bergerak dengan kecepatan tetap (*existing*). Tidak ada kendali yang mengatur kecepatan putaran motor konveyor untuk memperlambat/mempercepat pergerakan konveyor. Hal ini menyebabkan kondisi mesin *Crusher* tidak mampu mengimbangi pasokan material yang diangkut oleh konveyor. Padahal kondisi mesin *Crusher* cenderung lambat beroperasi untuk menghancurkan material.

Pada penelitian ini, peneliti merancang miniatur mesin *Crusher* beserta konveyor pengangkut materialnya. Ketika kondisi mesin *Crusher* dalam keadaan bekerja berat, maka kecepatan pergerakan/putaran motor konveyor melambat. Dan ketika nilai arus pada motor *Crusher* mencapai ambang batas, maka konveyor/motor penggerak konveyor akan berhenti. Hal ini akan mencegah penumpukan material pada mesin *Crusher* yang berpotensi merusak motor penggerak mesin *Crusher*. Berdasarkan spesifikasi motor untuk penggerak konveyor dan mesin *Crusher*, kecepatan maksimal yang bisa dicapai sebesar 1500 RPM. Kecepatan motor *Crusher* akan tetap 1500 RPM namun kecepatan motor konveyor akan berubah-ubah. Untuk mengatur kecepatan putaran motor penggerak konveyor, peneliti mempergunakan VFD (*Variable Frequency Drive*) yang mengubah frekuensi tegangan kerja motor sehingga menghasilkan kecepatan putaran motor yang berbeda-beda.

Permasalahan yang mendasari penelitian ini untuk merancang bangun perangkat pengatur kecepatan motor adalah kegagalan mesin *Crusher*. Kegagalan mesin *Crusher* berdampak besar bagi PT. Keramik Diamond Industry. Motor

induksi 3 fasa sebagai penggerak mesin *Crusher* sering terbakar karena terjadi *over current*, *over heat* dan *over load*. Belum ada penelitian terkait untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, selain mengganti motor induksi 3 fasa yang rusak akibat *over heat*, *over load* dan *over current*.

Pada penelitian ini, peneliti mempergunakan PLC sebagai pengolah input sensor *Current Transducer* yang selanjutnya menghasilkan *output* sebagai *input* bagi VFD. Implementasi PLC di dunia industri, diantaranya dilakukan oleh Firdaus dan Mia yang mempergunakan PLC untuk mengendalikan *starting motor* induksi, dan berhasil mengimplementasikan metode *starting star-delta* dengan PLC [1]. Latief, Silwardono, dan Muchlishah menerapkan PLC pada konveyor pemilah barang, sehingga barang di konveyor dapat dipilah berdasarkan kriteria tinggi, jenis material, dan berat [2].

Peneliti juga mempergunakan VFD untuk mengatur kecepatan putar motor penggerak konveyor. Adapun penelitian terkait yaitu yang dilakukan oleh Dimas, Basuki dan Budi mempergunakan VFD sebagai *monitoring* dan kontrol kecepatan motor konveyor berhasil dengan baik [3]. Arifin dan Umar melakukan perbandingan arus *starting motor* yang menggunakan rangkaian star delta dan VDF, dan didapat arus VFD lebih kecil (1,47 A) sedangkan rangkaian star delta (1,84 A) [4]. Aswad, Rasmondo, Fitriati, Syahrul dan Mukhlisin menganalisa pengaruh perubahan frekuensi pada pengendali kecepatan motor induksi berbasis VFD terhadap arus kumparan motor. Hasil penelitian tersebut yaitu perubahan frekuensi berbanding lurus dengan perubahan kecepatan motor [5].

Perancangan miniatur mesin *Crusher* dan konveyor ini belum mempergunakan kecerdasan buatan dalam implementasinya. Seharusnya hal tersebut bisa diterapkan pada pengolah hasil pembacaan arus pada sensor *Current Transducer*. Lalu data tersebut diklasifikasi menjadi beberapa kondisi sebagai masukan untuk mengatur kecepatan putaran motor. Seperti yang dilakukan oleh Prenata dalam mengklasifikasikan kehandalam dalam jaringan distribusi listrik [6] [7]. Dengan adanya miniatur mesin *Crusher* ini diharapkan bisa memberi ilustrasi pada pihak PT. Keramik Diamond untuk menyelesaikan permasalahan kerusakan motor penggerak mesin *Crusher* akibat *over heat*, *over load* dan *over current*.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi menggunakan prinsip medan magnet agar bisa merubah energi listrik menjadi energi kinetik. Ketika kumparan stator dialiri arus listrik maka medan magnet timbul sehingga menggerakkan rotor. Untuk menghitung kecepatan putar rotor/kecepatan sinkron (N_s) bisa mempergunakan rumus :

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (1)$$

Dimana f merupakan frekuensi arus listrik (Hertz/Hz), P adalah jumlah kutub motor dan N_s adalah Kecepatan Sinkron (RPM). Kecepatan sinkron adalah kecepatan maksimal yang dapat dicapai oleh medan putar stator jika rotor bergerak tanpa slip. Dalam satu siklus, medan magnet berputar 360° . Untuk motor dengan P kutub, setiap pasang kutub berputar 360° sehingga :

$$\text{Jumlah putaran per detik} = \frac{f}{\frac{P}{2}} = \frac{2f}{P}$$

Untuk mengubah putaran per detik menjadi putaran per menit :

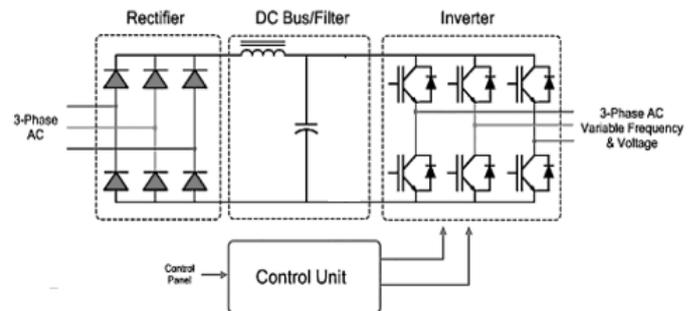
$$N_s = \left(\frac{2f}{p}\right) \times 60 = \frac{120f}{P}$$

Slip merupakan perbedaan antara kecepatan stator dan kecepatan rotor.

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \quad (2)$$

S = Slip
 N_s = Medan Stator
 N_r = Medan Rotor

B. Variable Frequency Drive (VFD)



Gambar 1. VFD

VFD merupakan alat kendali kecepatan putaran motor listrik. VFD mempunyai prinsip kerja mengubah frekuensi kerja tegangan untuk merubah kecepatan putaran motor [8].

C. Programmable Logic Controller (PLC)



Gambar 2. PLC

PLC adalah kendali elektronik untuk mengotomatiskan serangkaian proses yang umumnya dipergunakan di industri modern [9] [10] [11]. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan PLC sebagai pengolah data dari *Current*

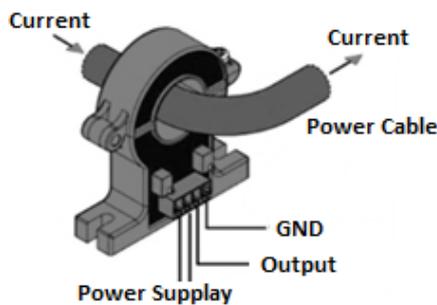
Transducer (input) dan outputnya dipergunakan oleh VFD untuk mengontrol kecepatan putaran motor.

D. Sensor Current Transducer

Sensor ini merupakan sensor pengukur arus pada suatu penghantar. Dengan adanya sensor ini memungkinkan proses realtime monitoring arus yang mengalir dan pengambilan tindakan secara cepat jika ada kondisi tertentu dengan syarat sensor ini dirangkai pada suatu kendali [12].

Tabel 1. Spesifikasi sensor Current Transducer

Power Supply	24 VDC
Signal Analog Output	4 - 20 mA
Ratio Current	0 - 30 A
Input Range	0 - 200 VAC
Hole Diameter	22 mm



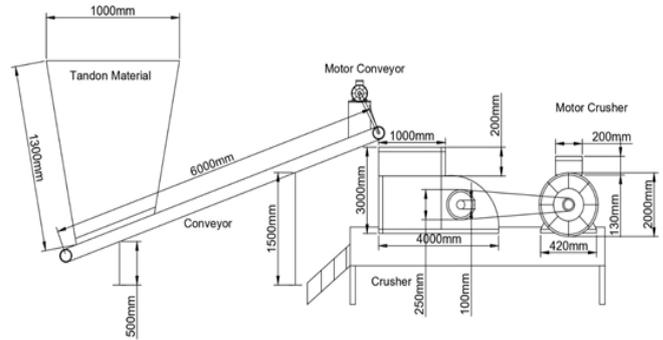
Gambar 3. Sensor Current Transducer

III. METODE DAN ANALISA PEMBAHASAN

Pada penelitian rancang bangun ini, tahapan pertama dimulai dengan eksplorasi beberapa komponen yang dipergunakan. Eksplorasi meliputi cara kerja, cara penggunaan, cara konfigurasi dan pengambilan data. Komponen tersebut diantaranya PLC, motor induksi 3 fasa, *sensor Current Transducer* dan VFD.

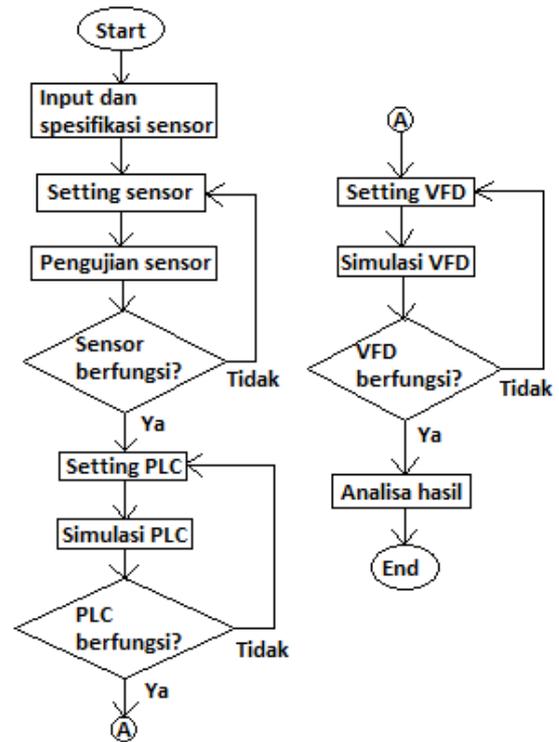
Selanjutnya merancang miniatur mesin *Crusher*, yang dimulai dengan tahapan menggambar bentuk miniatur mesin *Crusher*. Hal ini terdiri dari membuat konveyor, membuat corong untuk memasukkan material, penempatan VFD, PLC, motor, sensor, kontaktor, kabel dan lain sebagainya.

Setelah miniatur sudah jadi dan semua komponen sudah terpasang selanjutnya melakukan proses uji coba miniatur mesin *Crusher*. Ketika performa mesin *Crusher* dinilai kurang sesuai maka dilakukan evaluasi dan perbaikan. Hal tersebut seperti peletakkan ulang posisi sensor, mensetting konveyor, menata instalasi kabel dan lain sebagainya.



Gambar 4. Layout mesin *Crusher*

Ketika performa miniatur mesin *Crusher* sudah sesuai, maka dibuat laporan kinerja dan analisa. Tahap selanjutnya bisa ditambah dengan pemolesan/pengecatan agar secara estetika tampilan mesin *Crusher* lebih menarik.

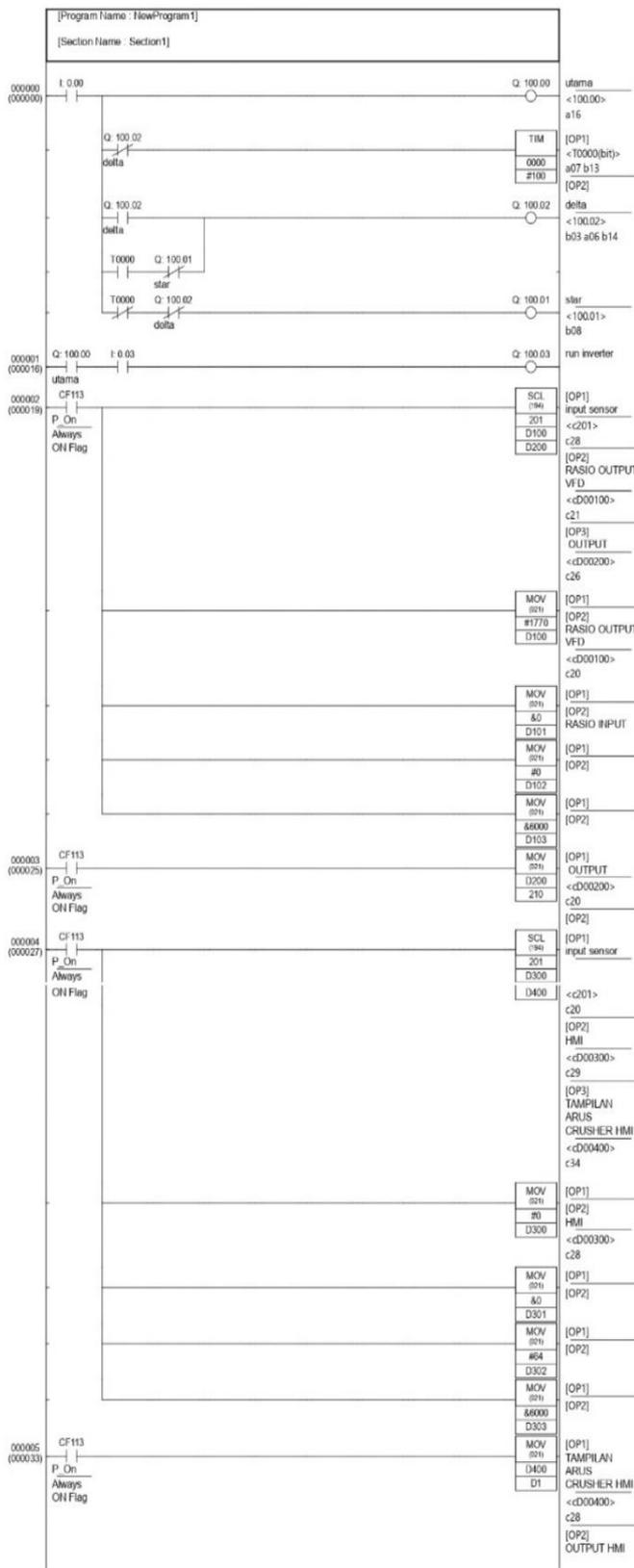


Gambar 5. Diagram alir penelitian

A. Ladder Diagram PLC

Untuk mensimulasikan urutan proses pada PLC, ladder diagram disimulasikan pada software CX-Programmer





Gambar 6. Ladder diagram

Tampak pada ladder diagram diatas, PLC Omron CP1H digunakan untuk rangkaian star-delta sebagai starting motor *crusher* yang bertujuan untuk mengurangi lonjakan arus saat *starting motor*. Program ini juga berfungsi sebagai pengaman untuk motor *conveyor* jika arus berlebih pada mesin *crusher* agar motor *conveyor* berhenti. Selanjutnya, motor *conveyor* hanya dapat dijalankan setelah motor *crusher* diaktifkan kembali.

Ladder diagram berikutnya merupakan instruksi scaling untuk perhitungan perbandingan dan mov untuk memindahkan data parameter pada input analog masuk ke CIO 200 pada PLC dari *sensor* dengan sinyal *output* 4-20 mA. Instruksi mov digunakan untuk menetapkan batas input dan *output scaling*. Setelah nilai scaling dan *mov* ditetapkan, data dihitung untuk D200 dan dipindahkan ke CIO 210 sebagai *output analog* untuk VFD. Scaling kedua digunakan untuk memonitor arus motor *crusher*, dengan nilai D400 ditampilkan pada HMI melalui pengaturan data *memory*.

B. Perhitungan arus, kecepatan putaran motor dan frekuensi input motor

- Arus motor konveyor

Perhitungan dengan menggunakan rumus daya:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \quad (3)$$

$$I = \frac{2200 \text{ watt}}{380 \times 0.86 \times \sqrt{3}}$$

$$I = 3,9 \text{ A}$$

- Kecepatan putaran motor konveyor

Perhitungan dengan menggunakan rumus kecepatan:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (4)$$

$$N_s = \frac{120 \cdot 50\text{hz}}{4}$$

$$N_s = 1500 \text{ RPM}$$

- Arus motor *crusher*

Perhitungan dengan menggunakan rumus daya:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \quad (5)$$

$$I = \frac{55.000 \text{ watt}}{380 \times 0.86 \times \sqrt{3}}$$

$$I = 98,42 \text{ A}$$

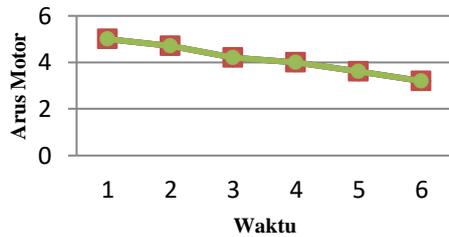
- Pengujian starting Motor *Conveyor* Tanpa VFD

Hasil pengujian arus motor *conveyor* tanpa menggunakan VFD dalam waktu 6 detik, kondisi arus dalam keadaan stabil. Sedangkan pada 1 detik pertama terjadi lonjakan arus sebesar 5 A. Arus pada motor *crusher* terus meningkat berbanding lurus dengan jumlah material yang diangkut oleh *conveyor* dan masuk ke *crusher*.

Tabel 2. Pengujian Arus Motor Tanpa VFD

Waktu	Arus Conveyor	Arus Crusher
1	5A	57A
2	4,7A	62A
3	4,2A	70A
4	4A	76A
5	3,6A	82A
6	3,2A	97A

Pada starting motor AC dengan metode DOL (*Direct On Line*) terjadi lonjakan arus starting hingga sebesar 7x nominal [13], sehingga pada detik ke-1 nilai arus lebih besar dibanding detik ke-6.



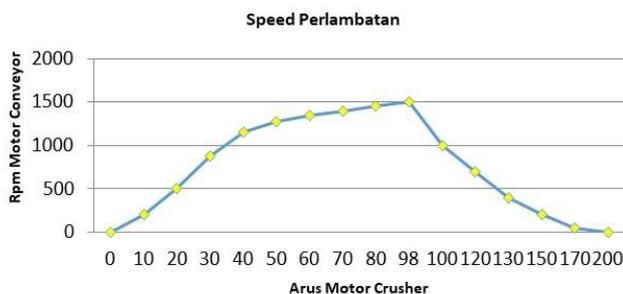
Grafik 1. Penguujian Arus starting Motor Tanpa VFD

C. Penguujian motor konveyor menggunakan VFD

Hasil penguujian motor konveyor sesudah menggunakan VFD dalam keadaan normal dan perlambatan. Keadaan normal terjadi ketika arus pada motor konveyor sama dengan atau dibawah 98 A, kecepatan maksimal motor konveyor 1500 RPM. Sedangkan ketika arus diatas 98 A, kecepatan motor konveyor menurun mendekati nol RPM. Ketika arus motor konveyor menyentuh 200 A, kecepatan motor konveyor menjadi 0 RPM.

Tabel 3. Penguujian Arus Motor konveyor menggunakan VFD

Arus motor konveyor (A)	Kecepatan motor konveyor (RPM)
0	0
10	200
20	500
30	880
40	1150
50	1275
60	1350
70	1400
80	1450
98	1498
100	1000
120	700
130	400
150	200
170	50
200	0



Grafik 2. Penguujian Arus Motor konveyor menggunakan VFD

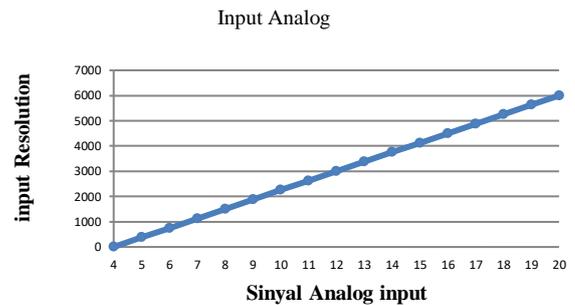
D. Simulasi program analog

Pada simulasi kali ini menggunakan Pulse Generator sebagai keluaran signal Analog (4 – 20 mA).



Gambar 7. Pulse Generator

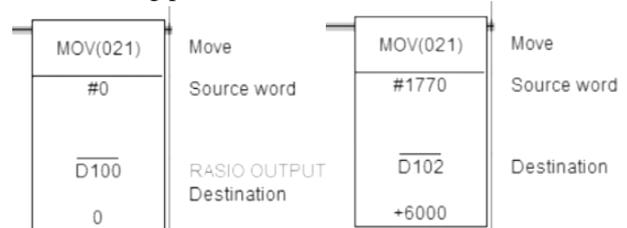
Simulasi ini menguji keluaran sinyal *analog* yang keluar pada PLC yang dipergunakan untuk mengatur nilai kecepatan motor conveyor.



Grafik 3. Sinyal Input Analog

E. Scalling Analog Output (VFD)

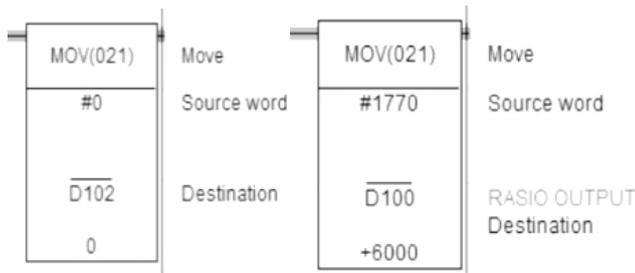
Gambar dibawah merupakan penguujian membalik hasil keluaran nilai input dan *output* berdasarkan nilai parameters instruksi scalling pada instruksi *mov*.



Gambar 8. Instruksi mov normal

Instruksi *mov* normal bernilai first parameters pada D100 bernilai #0 yang dimaksud sebagai rasio batas bawah sedangkan pada D102 bernilai #1770 yang dimaksud sebagai rasio batas atas. Untuk nilai #1770 adalah nilai bilangan Hexa yang artinya bernilai 6000 desimal.

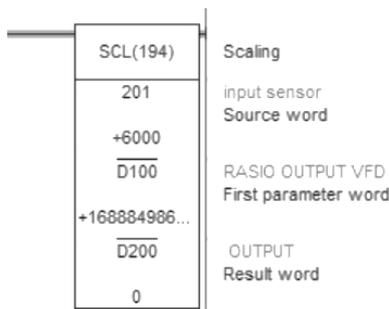




Gambar 9. instruksi mov berbanding terbalik

Pada nilai D100 intruksi mov bernilai #1770 yang merupakan nilai batas bawah untuk nilai perbandingan terbalik dari nilai input resolution dari sensor. Nilai #1770 hexa yang artinya nilai 6000 desimal dan nilai D102 bernilai 0.

Nilai D100 dan D102 merupakan nilai *range rasio output* yang diinginkan. Maka bisa kita lihat hasil nilai *output* yang dikeluarkan pada hasil *monitor* pada *CX Programmer*.



Gambar 10. Instruksi Scalling VFD

Hasil pengamatan dengan simulasi *CX Programmer Omron* percobaan pada nilai *input sensor* dengan intruksi *Scaling* menghasilkan nilai 0, yang artinya jika nilai input pada skala *resolution* bernilai 6000 maka nilai *output* akan bernilai 0.

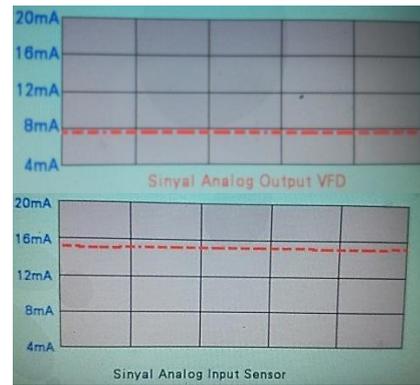
Scaling merupakan perbandingan sinyal *output* dan sinyal *input*. Perhitungan nilai *scaling* mengacu pada :

- Output sensor* : 4 - 20 mA
- Resolution pada PLC* : 0 - 6000 atau 12000
- Output sinyal* : 0 - 70 A

$$\text{Output} \times 6000 = \text{input}(\text{resolution}) \times \text{nilai}(\text{resolution})$$

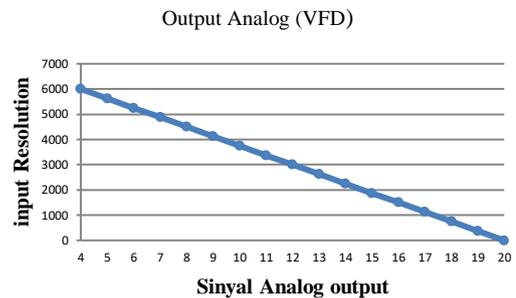
$$\text{Output} = \frac{\text{input}(\text{resolution}) \times 70}{6000}$$

Pada PLC tipe CP1H-XA40DT-D terdapat 2 nilai *resolution* yaitu 6000 dan 12000. Untuk nilai *output* sensor 4 mA maka nilai atau hasil *output* yang keluar sebesar 0 A dan jika nilai *output* sensor 20 mA maka nilai hasil *output* dari PLC yaitu 70 A. Pada penelitian ini membalik hasil perhitungan *output*. Jika nilai *input* bernilai 0 maka nilai *output* bernilai 70 A, sebaliknya jika nilai *input* bernilai 20 mA maka hasil *output* bernilai 0. Hal ini dilakukan untuk menjaga kestabilan arus pada mesin *crusher* yang sering terjadi *over current*.



Gambar 11. nilai input dan output berbanding terbalik

Gambar diatas merupakan hasil pengujian dengan instruksi *scalling* keluaran nilai *input* dan *output* berbanding terbalik, jika arus sinyal masuk pada masukan sensor maka nilai *output* akan semakin rendah, dan sebaliknya jika nilai *input* lebih rendah maka nilai *output* akan lebih tinggi.



Grafik 4. Sinyal *output* Analog (VFD)

Pada garafik diatas nilai *resolution* masukkan semakin tinggi ketika nilai keluaran sinyal *output analog* semakin rendah. Hal ini dikarenakan perubahan pada nilai parameter instruksi *scalling* pada PLC yang dapat membalikan nilai keluaran sinyal *output* dari suatu *input* berdasarkan perhitungan nilai parameter.

IV. KESIMPULAN

Setelah kita mengetahui hasil dari pengujian kita bisa mendapatkan kesimpulan bahwa:

1. Penerapan *system Multispeed* dengan menggunakan *output analog sensor* 4 - 20mA yang masuk pada *Programmable Logic Controller (PLC)* kemudian diproses dengan intruksi *Scalling* dapat menghasilkan nilai *output* keluaran yang berbanding terbalik pada nilai *input*. Nilai keluaran *output* atau hasil keluaran sinyal *analog* dapat merubah nilai frekuensi pada VFD sehingga dapat mempengaruhi nilai kecepatan motor *conveyor*.
2. Hasil nilai *Scalling Analog Output* pada *display* menampilkan nilai *input resolution* sebesar 0 - 6000

sebanding dengan nilai resolution 0 – 100, yang artinya jika nilai *input* terbaca 6000 maka nilai yang akan ditampilkan pada displa bernilai 100 dan begitu juga sebaliknya.

REFERENSI

- [1] F. Y. Hartawan and M. Galina, "Implementasi Programmable Logic Control (Plc) Omron Cp1E Pada Sistem Kendali Motor Induksi Star-Delta Untuk Kebutuhan Industri," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 8, no. 2, p. 98, 2022, doi: 10.31884/jtt.v8i2.409.
- [2] A. N. Latief, "Implementasi Pemrograman Plc Pada Konveyor Pemilah Barang," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 9, pp. 30–37, 2024, [Online]. Available: [https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/13531/1/Halaman Identitas \(Bab1, Bab 5, Lampiran\).pdf](https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/13531/1/Halaman%20Identitas%20(Bab1,%20Bab5,%20Lampiran).pdf)
- [3] D. N. Prakoso, B. Winarno, and B. Triyono, "Monitoring Dan Sistem Kontrol Variable Speed Drive (Vsd) Sebagai Pengendali Motor 3 Fasa Pada Conveyor," *JEECAE (Journal ...)*, vol. 7, no. 1, pp. 41–45, 2022, [Online]. Available: <http://journal.pnm.ac.id/index.php/jeecae/article/view/303>
- [4] M. Arifin and U. Umar, "Analisis Perbandingan Arus Starting Motor Induksi 3 Fasa Rangkaian Star Delta dengan Variable Frequency Drive," *Pros. Simp. Nas. Rekayasa Apl. Peranc. dan Ind.*, no. 7, pp. 189–195, 2021, [Online]. Available: <https://proceedings.ums.ac.id/index.php/rapi/article/view/159>
- [5] M. M. Aswad Alfian, A. Fitriati, and S. Mustafa, "Pengaruh Perubahan Frekuensi Dalam Sistem Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Variable Frequency Drive (Vfd) Terhadap Arus Kumparan Motor," *J. Electr. Enginering*, vol. 4, no. 2, pp. 43–49, 2023.
- [6] G. D. Prenata, "Klasifikasi Keandalan Sistim Distrbusi Tenaga Listrik Di Pt. Pln (Persero) Up3 Surabaya Selatan Menggunakan Metode K-Nearest Neighbor (Knn)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 3s1, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3397.
- [7] J. Vocational, T. Elektronika, A. Kehandalan, F. Modes, and E. Analysis, "VoteTEKNIKA," vol. 12, no. 1, 2024.
- [8] C. Corporation, "Variable Frequency," *New York*, no. October, p. 11, 2005.
- [9] I. Pranowo, *Panduan Belajar*. 2016.
- [10] G. Good, "濟無 No Title No Title No Title," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., vol. 1, no. April, 2015.
- [11] S. Wi, "Mengenal Program Progammmable Logic Controller - PLC," *Univ. Negeri Malang*, pp. 1–23, 2016, [Online]. Available: <http://elektro.um.ac.id/wp-content/uploads/2016/04/Worskop-PLC-Jobsheet-1-6.pdf>
- [12] A. Domain, "Current Transducer IN 400-S," pp. 1–11, 2010.
- [13] M. Adjie Satria, S. Safaruddin, and A. D. Andre, "Analisa Sistem Starting Dol (Direct on Line) Pada Motor Listrik Pt. Semen Baturaja," *J. Multidisipliner Bharasumba*, vol. 1, no. 04, pp. 395–402, 2022, doi: 10.62668/bharasumba.v1i04.286.

