

ANALISA PENGASUTAN MOTOR INDUKSI 3 FASA 2500 KW SEBAGAI PENGGERAK FAN PADA BAG FILTER

Budi Yanto Husodo Habibul Irsyad

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650

Email: budi_yanto@mercubuana.ac.id habibulirsyad@gmail.com

Abstrak -- Salah satu persoalan yang timbul pada pengoperasian motor induksi adalah arus pengasutan yang tinggi yang nilainya bisa mencapai sepuluh kali arus nominal. Arus pengasutan yang besar ini mengakibatkan penurunan tegangan sesaat (sag) pada sistem jaringan. Selain itu juga menyebabkan tingginya pemakaian daya hingga sebesar 1,5 - 2,5 kali daya nominal, yang berakibat pada tingginya energi pemakaian pada saat pengasutan. Metode pengasutan diperlukan untuk mengurangi arus pengasutan dan pemakaian energi yang besar tersebut. Pada makalah ini dilakukan perbandingan tiga metode pengasutan motor induksi yaitu berupa: autotrafo, reaktor dan rangkaian star-delta. Dengan menggunakan software ETAP, pengujian dilakukan pada motor induksi 6 kV, 279 A, 2500 kW, dan faktor daya sebesar 0,879, sebagai penggerak fan pada bag filter. Hasil simulasi menunjukkan bahwa autotrafo memberikan penurunan arus pengasutan yang paling besar yaitu 73,82% dari arus pengasutan motor tanpa bantuan alat pengasutan. Sedangkan konsumsi energi yang paling kecil didapatkan dengan menggunakan pengasutan reaktor, di mana energi pemakaian berkurang dari 31,102 kWh tanpa pengasutan menjadi 17,676 kWh atau setara dengan 43,17%.

Kata kunci: Motor induksi, Pengasutan motor, Arus pengasutan, Konsumsi energi.

Abstract -- High starting current is one of the problem appears in starting the induction motors. The current can reach ten times the nominal current. This high starting current results in sag in the power system voltage and high-power consumption, which can reach 1.5 – 2.5 times nominal power, leads to high energy consumption during starting. Starting devices have to be used to reduce starting current. In this paper, three starting methods are compared. They are autotransformer, reactor, and start-delta winding. These starting methods are implemented in a 6 kV, 279 A, 2500 kW induction motor with 0.879 power factor used to drive bag filter fan. The systems are then simulated one by one using ETAP software. The simulation results show that autotransformer gives the highest starting current reduced i.e 73.82% of starting current without starting device. Meanwhile, the lowest energy consumption is achieved by reactor which can reduce energy consumption of the induction motor without starting device from 31.102 kWh to 17.676 kWh, equivalent to 43.17%.

Keynotes: Induction motor, Motor starting, Starting current, Energy consumption.

PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Arus rotor motor ini bukan diperoleh dari suatu sumber listrik, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (Chapman, 2011).

Dalam pengoperasian motor induksi sangatlah penting untuk memperhatikan arus awal pada saat motor dijalankan. Pengasutan tegangan penuh yang dilakukan dengan beban yang tinggi pada motor-motor yang besar menyebabkan motor akan menarik arus yang sangat besar, dimana hal ini akan mengakibatkan *voltage dip* pada beban-beban yang lain (Pawawoi, 2009). Di samping itu arus yang besar ini juga dapat merusak motor itu sendiri (Kadir, 1981).

Pada motor *bag filter* diperlukan pengoperasian motor yang tepat, guna kelancaran dalam melakukan penyedotan debu yang dihasilkan dari proses produksi. Di samping itu, pengoperasian motor juga harus seefisien mungkin sehingga penggunaan energi listrik oleh motor dapat diturunkan. Salah satu metode untuk menurunkan arus pengasutan dan penggunaan energi listrik oleh motor induksi adalah dengan menggunakan peralatan pengasutan tertentu (Prasetya, Hamid, & Nakhoda, 2012), di mana pada waktu pengasutan motor tidak langsung dihubungkan dengan tegangan penuh. Metode ini disebut metode pengasutan dengan tegangan diturunkan (*reduced voltage starting*).

Ada beberapa metode pengasutan *reduced voltage* antara lain metode reaktor, metode resistor, metode autotrafo, metode star-delta, metode soft-starter (*solid state*) (Bruce, Graefe,

Lutz, & Panlener, 1984), (Abbas, Majeed, Kassas, & Ahmad, 2011), (Huang, Yuan, & Chang, 2016). Di samping itu juga dapat digunakan metode pengasutan dengan variabel frekuensi (Liang, Laughy, & Liu, 2007), (Pinaryoga, Facta, & Handoko, 2015).

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pada salah satu unit motor 3 fasa dengan kapasitas sebesar 2500 kW sebagai penggerak bag filter di PT Krakatau Posco - Blast Furnace Plant, untuk kondisi sebelum maupun sesudah pemasangan alat bantu pengasutan. Metode pengasutan yang akan dianalisis adalah metode autotrafo, metode reaktor, dan metode star-delta. Ketiga metode pengasutan ini dipilih untuk dianalisa karena lebih murah dan lebih sederhana dalam investasi dan instalasinya dibandingkan metode soft stater dan metode variabel frekuensi. Sedangkan metode resistor tidak dipilih karena menyebabkan tambahan rugi daya yang cukup besar (Bruce et al., 1984).

Pengujian dilakukan dengan metode simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Dari simulasi yang dijalankan akan dievaluasi besar arus start dan konsumsi energi sistem penggerak motor induksi untuk setiap metode pengasutan. Hasilnya digunakan sebagai dasar pertimbangan pemilihan metode pengasutan motor induksi yang akan dipakai.

TINJAUAN PUSTAKA

Pemakaian arus pengasutan yang besar sekali hingga sepuluh kali kondisi normal pada waktu pengasutan motor akan menarik daya yang besar yang dapat berlangsung beberapa detik hingga beberapa menit sampai motor mencapai kecepatan nominalnya (Bollen, 1995). Hal ini menimbulkan kerugian pada industri yang memakai motor induksi tersebut, karena dapat mengakibatkan gangguan penurunan nilai tegangan pada bus-bus disekitar motor yang melakukan pengasutan. Gangguan penurunan pada kualitas daya ini dinamakan *voltage sag* atau *voltage dip*. Jika penurunan tegangan yang terjadi cukup besar maka akan berakibat buruk pada sistem tersebut yaitu motor akan berhenti berputar karena kekurangan suplai tegangan, penurunan usia peralatan listrik hingga merusak peralatan tersebut.

Sistem DOL (*Diret On Line*)

Pengertian *direct on line* (pengasutan secara langsung) ialah motor yang akan dijalankan langsung di *swich-on* ke sumber tegangan jala-jala sesuai dengan besar tegangan nominal motor. Jika motor dengan kapasitas yang sangat besar di-*asut* dengan *direct-on-line*, tegangan sistem akan terganggu (terjadi *voltage*

dip pada jaringan suplai) karena adanya arus pengasutan yang sangat besar (Chapman, 2011). Gangguan tegangan ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronis yang lain yang terhubung dengan sumber. Itulah sebabnya metoda DOL ini biasanya digunakan untuk motor-motor induksi yang mempunyai kapasitas daya yang kecil. Metode pengasutan DOL ini memberikan arus pengasutan yang terbesar. Demikian pula, torsi yang dihasilkan pada waktu pengasutan sangat besar (Abbas et al., 2011).

Sistem Autotrafo

Metode pengasutan ini digunakan untuk menjalankan motor rotor sangkar tiga fasa dengan cara memperkecil tegangan masuk ke motor melalui *autotrafo*. *Autotrafo* memiliki beberapa tap yang dapat digunakan untuk memberikan tegangan motor yang lebih rendah pada waktu pengasutan. Aksi transformator ini mengakibatkan arus jaringan lebih kecil daripada arus motor sehingga tidak terjadi *voltage dip* pada jaringan (Abbas et al., 2011). Pada pengasutan dengan metode autotrafo, motor induksi dihubungkan seri dengan *autotrafo* melalui tap pada belitan sekundernya. Metode pengasutan dengan *autotrafo* ini memberikan torsi pengasutan yang besar (Abbas et al., 2011).

Sistem Star-Delta

Pengasutan dengan metode *star-delta* ini memanfaatkan penurunan tegangan yang dicatu ke motor saat stator motor terhubung dalam rangkaian star. Pada waktu pengasutan, yakni saat stator berada pada rangkaian bintang, arus motor hanya mengambil sepertiga (30%) dari arus motor jika motor diasut dengan metode DOL. Berhubung torsi motor berbanding lurus dengan arus, maka torsi motor pada rangkaian bintang juga hanya sepertiga dari torsi pada rangkaian delta (Abbas et al., 2011). Ketika motor sudah mencapai kecepatan nominalnya maka hubungan belitan stator daripada motor diubah menjadi delta. Karena itu, metode ini hanya dapat digunakan untuk motor yang belitan statornya terhubung delta pada kondisi normal. Di samping itu, metode ini digunakan untuk aplikasi di mana torsi beban pada waktu pengasutan sangat rendah. Motor yang memikul beban lebih besar daripada 50% torsi nominal motor tidak dapat menggunakan metode ini (Osborn & Richins, 1999)

Sistem Reaktor

Metode pengasutan dengan *reactor* (Chapman, 2011) dilakukan dengan cara menghubungkan kumparan dengan inti besi (reaktor) secara seri dengan setiap belitan motor

selama pengasutan. Maka arus akan dibatasi secara proporsional dengan tegangan. Reaktor dapat dipilih sehingga besar tegangan yang diberikan kepada motor selama proses pengasutan dapat dipilih antara 35% hingga 95% tegangan nominal motor. Torsi selama pengasutan akan berkurang sehingga cocok untuk aplikasi yang tidak memerlukan torsi awal yang besar. Keuntungan dari metode ini adalah rangkaiannya yang sangat sederhana dan biaya yang rendah dibandingkan dengan metode lain (Bruce *et al.*, 1984).

METODOLOGI

Deskripsi Sistem

Spesifikasi motor induksi tiga fasa yang digunakan pada pengujian dalam penelitian ini diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi motor

Besaran	Nilai	Satuan
Daya	2500	kW
Tegangan	6000	V
Kecepatan	995	RPM
Faktor Daya	0,879	
Frekuensi	50	Hz
Arus Pengasutan	1670	A
Arus Beban Penuh	279	A

Diagram segaris (*single line diagram*) untuk analisa sistem pengasutan motor induksi pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 nampak bahwa bagian produksi di PT Krakatau Posco disuplai melalui dua buah trafo 23 MVA yang menurunkan tegangan dari 30 kV menjadi 6 kV. Pada sistem ini terdapat dua buah motor bag filter, satu di penyulang pertama dan satu di penyulang kedua. Keduanya merupakan motor induksi dengan kapasitas daya 2500 kW yang bekerja pada tegangan 6 kV. Fungsi daripada motor bag filter ini adalah untuk mengisap debu yang dihasilkan dari proses produksi. Motor bag filter A beroperasi terus menerus selama 24 jam/hari sedangkan motor bag filter B hanya dioperasikan 8 jam/hari.

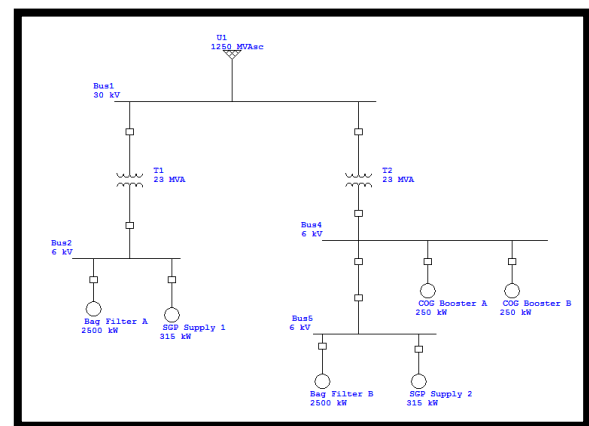
Langkah-langkah Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut. Pertama: *membuat diagram segaris daripada sistem pada perangkat lunak ETAP*. Sistem yang akan diuji akan disimulasikan dengan perangkat lunak ETAP. Oleh karena itu langkah pertama adalah membuat diagram segaris sistem pada perangkat lunak ETAP.

Kemudian, *melakukan simulasi operasi pengasutan motor induksi penggerak bag filter*. Simulasi pengasutan dilakukan dengan 4 metode yang berbeda, yaitu metode DOL, metode

autotrafo, metode reaktor, dan metode *star-delta*. Pengujian dilakukan pada motor bag filter B, sedangkan motor bag filter A tidak dilakukan simulasi operasi pengasutan karena motor A beroperasi terus menerus selama 24 jam dalam sehari.

Setelah itu, *menghitung konsumsi energi total motor selama sebulan*. Konsumsi energi total kedua motor merupakan salah satu pertimbangan dalam menentukan metode pengasutan yang akan dipilih. Karena itu pada penelitian ini dilakukan perhitungan konsumsi energi total kedua motor selama sebulan (30 hari kerja) baik dalam kondisi pengasutan maupun kondisi operasi normal.



Gambar 1. *Single line diagram* bagian produksi di PT Krakatau Posco

HASIL DAN ANALISA

Pengujian Sistem *Direct On-Line (DOL)*

Pada pengujian ini, didapatkan hasil arus starting sebesar 1510,5 A atau setara dengan 5,41 kali arus nominal dengan waktu pengasutan 1,2 detik kemudian turun pada kondisi normal sebesar 258,5 A seperti pada Gambar 2. Hal ini dikarenakan pada saat pengasutan, impedansi total bernilai kecil, sementara impedansi berbanding terbalik dengan nilai arus, sehingga menyebabkan nilai arusnya naik. Lonjakan arus pada saat pengasutan dengan metode DOL ini masih dapat ditoleransi karena masih dibawah nilai standar arus pengasutan nominal motor sebesar 1670 A (terlihat pada Tabel 1).

Daya awal yang dihasilkan melebihi dari daya nominal motor sebesar 2500 kW, yakni didapatkan daya awal sebesar 2.872 kW seperti pada Gambar 3. Hal ini dikarenakan nilai daya yang berbanding lurus dengan nilai arus pengasutan motor.

Pengujian Sistem *Autotrafo*

Pada pengujian pengasutan menggunakan metode autotrafo, tegangan terminal motor

diturunkan menjadi 50%-80% dari tegangan penuh trafo. Hal ini dimaksudkan untuk membuat arus pengasutan kecil. Setelah kecepatan motor induksi stabil, transformator tegangan diputuskan. Pada pengujian kali ini tap yang digunakan adalah sebesar 50%, karena dengan menggunakan tap sebesar 50% ini akan dihasilkan arus pengasutan yang paling kecil.

Pada metode pengasutan menggunakan autotrafo dengan tap sebesar 50% dan *switch off* pada $t = 2$ detik, didapatkan arus pengasutan yang lebih rendah dibandingkan menggunakan metode DOL. Arus yang dihasilkan sebesar 395,3 A dengan waktu pengasutan sebesar 2,76 detik. Arus yang dihasilkan setara dengan 1,42 kali arus nominal. Namun pada saat *switch off*, arus awal mengalami kenaikan sebesar 1410,7 A atau sebesar 5.45 kali arus nominal selama 0,76 detik, seperti terlihat pada Gambar 4. Kondisi transien arus ini masih bisa ditoleransi karena masih dibawah nilai standar arus pengasutan nominal motor sebesar 1670 A.

Daya awal yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar 787 kW, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.

Pengujian Sistem Reaktor

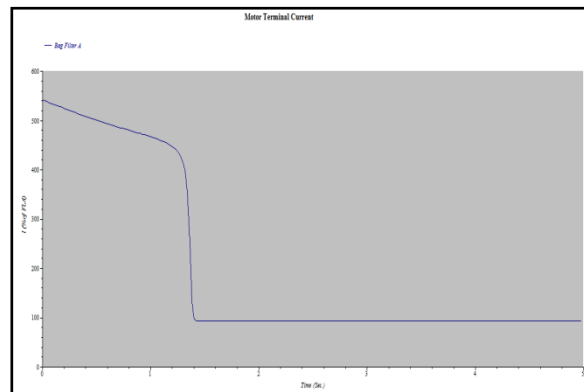
Hasil simulasi pengasutan motor bag filter menggunakan metode pengasutan reaktor dengan tap sebesar 50% dan *switch off* pada $t = 2$ detik ditunjukkan pada Gambar 6. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6, didapatkan arus pengasutan sebesar 778,8 A atau sekitar 2,62 kali arus nominal dengan waktu pengasutan 2,78 detik. Namun pada saat *switch off*, arus awal mengalami kenaikan sebesar 1413,6 A atau sebesar 5.45 kali arus nominal selama 0,78 detik. Kondisi transien arus ini masih bisa ditoleransi karena masih dibawah nilai standar arus pengasutan nominal motor sebesar 1670 A.

Daya awal yang dihasilkan juga mengalami penurunan sebesar sebesar 763 kW, seperti pada Gambar 7.

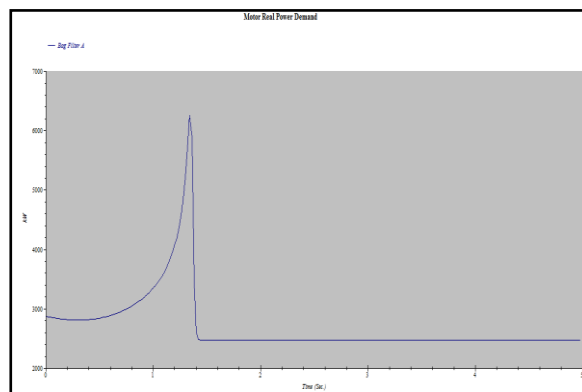
Pengujian Sistem Star-Delta

Dengan menggunakan metode pengasutan *star-delta* menggunakan pengaturan waktu *switch off* selama 2 detik, tegangan pada terminal motor mengalami penurunan sebesar 3,39 kV atau sekitar 43,5% dan didapatkan hasil arus pengasutan sebesar 847,8 A atau setara dengan 3,28 kali arus nominal motor. Namun pada saat perubahan dari *star* ke *delta*, arus awal mengalami kenaikan sebesar 1352,9 A atau sebesar 5,23 kali arus nominal selama 0,64 detik. Kondisi transien arus ini masih bisa ditoleransi karena masih dibawah nilai standar arus pengasutan nominal motor sebesar 1670 A seperti

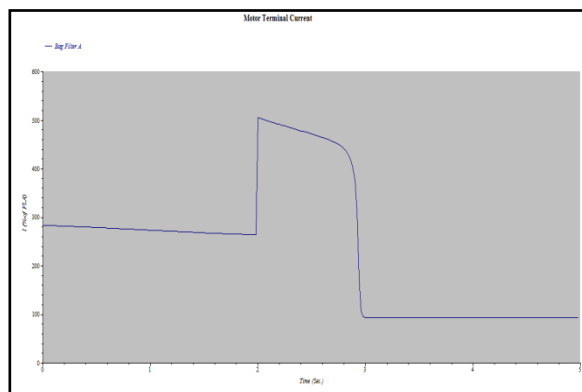
terlihat pada Gambar 8. Daya awal yang dihasilkan juga mengalami penurunan sebesar sebesar 1038 kW, seperti pada Gambar 9.



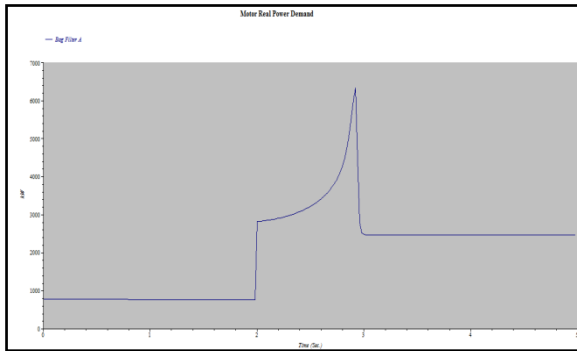
Gambar 2. Profil arus pengasutan menggunakan DOL



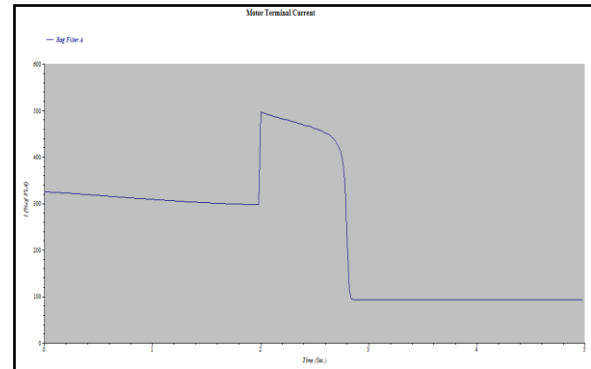
Gambar 3. Profil daya motor saat pengasutan menggunakan DOL



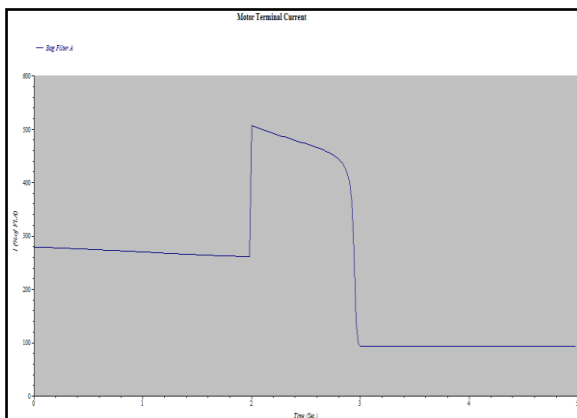
Gambar 4. Profil arus pengasutan menggunakan autotrafo



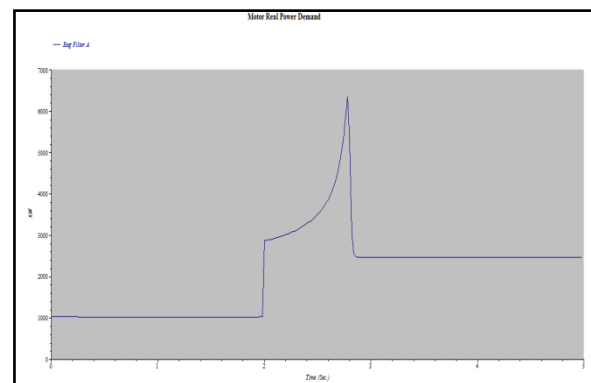
Gambar 5. Profil daya motor saat pengasutan menggunakan autotrafo



Gambar 8. Profil arus pengasutan menggunakan star-delta dengan $t = 2$ detik



Gambar 6. Profil arus pengasutan menggunakan reaktor



Gambar 9. Profil daya pengasutan menggunakan star-delta dengan $t = 2$ detik

Tabulasi dari hasil keseluruhan simulasi operasi pengasutan untuk keempat metode di atas diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil simulasi operasi pengasutan

Metode Pengasutan	I_{asut} (A)	V_t (kV)	T_{asut} (%)	P_{asut} (kW)	W_{asut} (kWh)
DOL	1510,5	5,639	76	2871	31,102
Autotrafo	395,3	2,951	22	787	18,101
Reaktor	778,8	2,907	20	763	17,676
Star-delta	847,8	3,39	28	1038	22,836

Perhitungan Konsumsi Energi

Jadwal pengoperasian kedua motor tidak sama yaitu:

- Motor A = 24 jam/hari
- Motor B = 8 jam/hari

Motor A yang dioperasikan non-stop selama 24 jam/hari tidak memerlukan operasi pengasutan karena hanya diasut sekali ketika awal mula dioperasikan, sehingga energi pengasutannya (W_{asut}) sama dengan nol. Sedangkan motor B setiap hari diasut pada pagi hari, sehingga diperhitungkan baik energi pengasutan maupun energi operasi normal (W_{normal}) selama 8 jam/hari. Maka konsumsi energi totalnya adalah:

$$W_{total} = W_{asut} + W_{normal} \quad (1)$$

Perhitungan pemakaian energi motor dengan metode DOL, metode autotrafo, metode reaktor, dan metode star-delta disajikan berturut-turut pada Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Tabel 3. Pemakaian energi metode DOL

Motor Bag Filter	W_{asut} (kWh)	W_{normal} (kWh)	W_{total} (kWh)	Lama Operasi (jam/hari)
A	0	1.800.000	1.800.000	24
B	31,102	600.000	600.031,102	8
Total pemakaian sebulan			2.400.031,102	

Tabel 4. Pemakaian energi metode autotrafo

Motor Bag Filter	W_{asut} (kWh)	W_{normal} (kWh)	W_{total} (kWh)	Lama Operasi (jam/hari)
A	0	1.800.000	1.800.000	24
B	18,101	600.000	600.018,101	8
Total pemakaian sebulan			2.400.018,101	

Tabel 5. Pemakaian energi metode reaktor

Motor Bag Filter	W_{asut} (kWh)	W_{normal} (kWh)	W_{total} (kWh)	Lama Operasi (jam/hari)
A	0	1.800.000	1.800.000	24
B	17,676	600.000	600.017,676	8
Total pemakaian sebulan			2.400.017,676	

Tabel 6. Pemakaian energi metode star-delta

Motor Bag Filter	W_{asut} (kWh)	W_{normal} (kWh)	W_{total} (kWh)	Lama Operasi (jam/hari)
A	0	1.800.000	1.800.000	24
B	22,836	600.000	600.022,836	8
Total pemakaian sebulan			2.400.022,836	

KESIMPULAN

Simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa semua metode pengasutan yang dievaluasi dapat menurunkan arus pengasutan lebih kecil dari arus pengasutan dengan metode DOL. Meskipun terjadi lonjakan arus pada waktu switch-off pada metode autotrafo dan metode reaktor namun besarnya arus masih lebih kecil dari arus pengasutan normal motor sebesar 1670 A. Hal yang sama juga berlaku ketika pemindahan dari hubungan bintang ke hubungan segitiga pada metode star-delta. Dari semua metode pengasutan ini, metode autotrafo menghasilkan arus pengasutan yang paling rendah, yaitu sebesar 1,2 kali arus nominal.

Sementara itu, dari perhitungan konsumsi energi total, metode pengasutan dengan reaktor memberikan konsumsi energi yang terkecil untuk pemakaian selama 30 hari kerja yaitu sebesar 2.400.017,676 kWh.

Berdasarkan temuan-temuan di atas maka

metode pengasutan yang dipilih untuk motor induksi 2500 kW sebagai penggerak fan pada bag filter di PT Krakatau Posco - Blast Furnace Plant adalah metode pengasutan dengan reaktor.

REFERENSI

Abbas, M., Majeed, M. A. A., Kassas, M., & Ahmad, F. Motor Starting Study For A Urea Manufacturing. In *Proceedings Of The 2011 International Conference On Power Engineering, Energy And Electrical Drives*. 2011; 1–6 .

Bollen, M. H. J. The Influence of Motor Reacceleration On Voltage Sags. *IEEE Transactions On Industry Applications*, 1995: 31 (4): 667-674.

Bruce, F. M., Graefe, R. J., Lutz, A., & Panlener, M. D. Reduced-Voltage Starting of Squirrel-Cage Induction Motors. *IEEE Transactions On Industry Applications*, 1984; 1 (1): 46-55.

Chapman, S. J. *Electric Machinery Fundamentals* (5th Ed.). New York: Mcgraw Hill. 2011.

Huang, W., Yuan, Y., & Chang, Y. A Novel Soft Start Method Based On Autotransformer And Magnetic Control. In *IEEE International Conference On Industrial Technology (ICIT)*. 2016; 5–10.

Kadir, A. *Mesin Tak Serempak*. Jakarta: Pt Djambatan.1981.

Liang, X., Laughy, R., & Liu, J. Investigation Of Induction Motors Starting And Operation With Variable Frequency Drives. In *Canadian Conference On Electrical And Computer Engineering*. 2007: 556–561.

Osborn, D., & Richins, R. Voltage Regulation System During Large Motor Starting And Operation. In *IEEE-Ind/Pca Cement Industry Technical Conference*. Conference. 1999: 109–119.

Pawawoi, A. Analisis Kedip Tegangan (Voltage Sags) Akibat Pengasutan Motor Induksi Dengan Berbagai Metode Pengasutan Studi Kasus Di PT. Abaisiat Raya. *Jurnal Teknik, Universitas Andalas*, 2009; 1(32): 49.

Pinaryoga, G., Facta, M., & Handoko, S. Analisis Pengaruh Variasi Metode Pengasutan Motor Terhadap Tegangan Dip Yang Terjadi Pada Jaringan Kelistrikan Pt Pertamina Ru Vi Dengan Menggunakan. *Transient*, 2015; 4(4): 1–8.

Prasetya, A. P., Hamid, A., & Nakhoda, Y. I. Analisis Perbandingan Sistem Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Sebagai Penggerak Pompa Pada Perusahaan Daerah Air Minum (Pdam) Wendit Malang. *Jurnal Elektro Eltek*, 2012; 3(1): .