

ANALISIS KINERJA MOTOR INDUKSI 3 FASA DARI ASPEK BESARAN DAYA DAN EFISIENSI MOTOR DALAM MENGERAKKAN MESIN (STUDI KASUS PADA MESIN JAW CRUSHER DI PT. ALAM TUNGGAL SEMESTA)

Muhammad Rayhan Pramana Rizqi^{1*}, Endah Komalasari², Noer Soedjarwanto³, Osea Zebua⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jalan Prof. Dr Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141

Received: 9 Juni 2024
Accepted: 31 Juli 2024
Published: 7 Agustus 2024

Keywords:

Motor Performance, Jaw Crusher, 3 phase Induction Motor, Power Amount and Efficiency.

Correspondent Email:

rayhanrizqi1@gmail.com

Abstrak. Penghancuran batu dalam dunia konstruksi untuk kebutuhan batu split membutuhkan alat yang bernama Crusher, salah satu jenis yang cukup sering digunakan adalah Jaw Crusher. Jaw Crusher di PT Alam Tunggal Semesta menggunakan motor Induksi 3 Fasa sebagai penggerakannya. Namun, motor induksi juga memiliki beberapa permasalahan terkait daya, efisiensi, dan torsi yang perlu diperhatikan. Dimana motor induksi 3 fasa tersebut dapat dihitung besarnya daya dan efisiensinya agar dapat mengetahui kinerja dari motor induksi tersebut. Hasil analisa perhitungan efisiensi dan daya saat motor starting, didapatkan efisiensi motor sebesar 8,72% - 31,85% dan pada daya tertinggi sebesar 73KW, sehingga efisiensi motor saat starting masih di bawah nilai nominal motor yaitu 92% dan untuk daya melebihi nilai nominal motor yaitu 37KW. Pada saat motor tanpa beban, efisiensi yang dihitung didapatkan sebesar 82-99% atau rata-rata 92,75% dan daya 8,49-9,74KW, sehingga efisiensi motor pada saat tanpa beban sudah sesuai dengan nilai nominal motor dan daya dibawah daya nominal motor. Pada saat ada beban, efisiensi motor yang dihitung sebesar 48-98% atau rata-rata 78,07% dan daya sebesar 6,8-10KW yang menandakan bahwa pada saat motor ada beban, efisiensi yang didapatkan dibawah nilai nominal motor dan daya masih dibawah daya nominal motor.

Abstract. Stone crushing in the construction world for the needs of split stone requires a tool called Crusher, one type that is quite often used is Jaw Crusher. The Jaw Crusher at PT Alam Tunggal Semesta uses a 3 Phase Induction motor as its drive. However, induction motors also have several problems related to power, efficiency, and torque that need to be considered. Where the 3-phase induction motor can be calculated the amount of power and efficiency in order to determine the performance of the induction motor. The results of the calculation analysis of the efficiency and power when the motor is starting obtained a motor efficiency of 8.72% - 31.85% and at the highest power of 73KW, so that the motor efficiency when starting is still below the nominal value of the motor which is 92% and for the power exceeds the nominal value of the motor which is 37KW. When the motor is no load, the calculated efficiency is 82-99% or an average of 92.75% is obtained and the power is 8.49-9.74KW, so the motor efficiency when there is no load is in accordance with the nominal value of the motor and the power is below the nominal power of the motor. When there is a load, the motor efficiency calculation is 48-98% or an average of 78.07% is obtained and the power is 6.8-10KW, which indicates that when the motor has a load, the efficiency obtained is below the nominal value of the motor and the power is still below the nominal power of the motor.

1. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dimana listrik yang diubah adalah listrik tiga fasa. Motor induksi 3 fasa banyak digunakan untuk menggerakkan peralatan-peralatan di dunia konstruksi, salah satunya yaitu pada kegiatan pemecahan batu split. Namun, motor ini juga memiliki beberapa masalah terkait daya, efisiensi, dan torsi yang perlu dipertimbangkan. Daya pada motor induksi 3 fasa merupakan besaran yang menunjukkan energi listrik yang diubah menjadi energi mekanik oleh motor. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi daya motor induksi 3 fasa antara lain: tegangan, beban, faktor daya dan efisiensi. Penurunan tegangan dapat menyebabkan penurunan daya motor. Semakin besar beban yang dikenakan pada motor, semakin besar daya yang dikonsumsi. Faktor daya yang tinggi akan meningkatkan efisiensi motor dan mengurangi daya yang dikonsumsi. Efisiensi motor yang tinggi akan menghasilkan daya mekanik yang lebih besar dengan daya listrik yang sama. Torsi pada motor induksi 3 fasa merupakan gaya putar yang dihasilkan oleh motor untuk menggerakkan beban. Torsi ini dihasilkan oleh interaksi antara medan magnet stator yang berputar dan arus induksi pada rotor. Karakteristik torsi motor induksi 3 fasa umumnya berbentuk kurva S. Pada saat *starting*, torsi motor relatif rendah. Torsi motor kemudian meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan putaran hingga mencapai torsi maksimum pada kecepatan sinkron. Setelah kecepatan sinkron, torsi motor mulai menurun. Ketika kecepatan meningkat torsi harus menurun agar daya tetap konstan, karena daya adalah produk dari torsi dan kecepatan. Penurunan tegangan juga dapat menyebabkan penurunan torsi motor. Semakin besar beban yang dikenakan pada motor, semakin besar torsi yang dihasilkan. Desain motor, seperti jumlah lilitan kumparan stator dan desain rotor, dapat mempengaruhi torsi motor. Ketika motor induksi tidak ada beban, beberapa perubahan akan terjadi pada kinerja motor, seperti peningkatan kecepatan, penurunan arus, dan peningkatan faktor daya. Namun, operasi tanpa beban dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko kerusakan

motor. Oleh karena itu, penting untuk menghindari mengoperasikan motor induksi tanpa beban selama waktu yang lama [1]-[5].

Pemecahan split dalam proyek konstruksi sangatlah penting. Batu split seperti batu dan kerikil yang dipakai dalam proyek konstruksi pada umumnya berasal dari batuan yang berukuran besar yang ada di gunung batu andesit, sehingga batuan tersebut masih harus melalui proses penghancuran untuk mendapatkan gradasi dan bentuk butir yang sesuai dengan kebutuhan material proyek. Dibutuhkan sebuah alat pemecah batu (*crusher*) untuk mencapai hasil dari proses tersebut. Terdapat beberapa jenis *crusher* yang digunakan dalam dunia konstruksi, salah satu jenis *crusher* yang cukup banyak digunakan yaitu *Jaw Crusher* yang merupakan salah satu jenis mesin yang menggunakan motor induksi 3 fasa sebagai penggerakannya.

Jaw Crusher merupakan alat penghancur dengan sistem operasional paling sederhana. Prinsip kerjanya secara awam mirip seperti rahang, material akan masuk dan mengalami proses penghancuran seperti dikunyah untuk diubah menjadi lebih kecil. Di dalam mesin tersebut, terdapat dua lempengan yang berfungsi melakukan penggilaan atau pengunyahan tersebut. Kemampuan mesin *Jaw Crusher* cukup baik dalam menekan dan menghancurkan jenis batuan yang keras. Kinerja mesin *Jaw Crusher* sangat ditentukan oleh faktor kekuatan *shaft* dan ukuran *fly wheel* nya. Namun, Mesin *Jaw Crusher* termasuk mesin yang cukup sederhana sehingga masih terdapat kelemahan dari mesin *Jaw Crusher* ini yaitu keterbatasan dalam menghancurkan ukuran batu split yang terlalu besar sehingga ini menjadi permasalahan yang membuat pekerjaan yang dilakukan oleh *Jaw Crusher* menjadi terbatas [6].

PT. Alam Tunggal Semesta merupakan salah satu perusahaan pertambangan yang terletak di Kota Baru Selatan, Martapura, Kabupaten Ogan Komering Ulu Timur, Sumatera Selatan. PT. Alam Tunggal Semesta juga menggunakan alat *Jaw Crusher* dalam melakukan pemecahan batu. Pada penelitian ini, dalam menganalisis kinerja motor induksi 3 fasa pada mesin *Jaw Crusher* yang digunakan oleh PT. Alam Tunggal Semesta, akan dilakukan perhitungan untuk besaran

daya, dan efisiensi motor dari motor induksi 3 fasa tersebut. Implementasi dari hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat menjadi acuan dan pedoman bagi pihak perusahaan dalam menggunakan mesin yang tepat untuk dalam mengelola industri konstruksi khususnya pada kebutuhan mesin pemecah batu split.

Penelitian ini bertujuan menganalisis besaran daya yang terpakai dan efisiensi pada motoric indiksi 3 fasa selama proses produksi perusahaan pada mesin *Jaw Crusher* pada PT. Alam Tunggal Semesta.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Motor induksi merupakan motor yang bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor induksi bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi dari arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator Pada umumnya motor induksi digunakan pada kecepatan putaran tetap. Berdasarkan survei, konsumsi daya pada motor dengan kecepatan konstan lebih besar dibanding dengan motor kecepatan variabel untuk berbagai beban.

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas dan umum digunakan dalam era modern seperti sekarang ini. Penamaan tersebut berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas yang besar [1],[7]

Motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan motor

listrik jenis lainnya. Motor induksi tiga fasa memiliki dua bagian utama, yaitu stator yang merupakan bagian yang diam, dan rotor sebagai bagian yang berputar. Antara bagian stator dan rotor dipisahkan oleh celah udara yang sempit, dengan jarak berkisar dari 0,4 mm sampai 4 mm. Bagian lainnya dalam motor tiga fasa adalah kipas sebagai pendingin motor dan bearing seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut [1],[7],[8].

Efisiensi sangat erat kaitannya dengan Daya keluar (*Pout*), dimana hubungannya adalah berbanding lurus, sedangkan efisiensi berbanding terbalik dengan Daya masuk (*Pin*). Maka dapat disimpulkan bahwa efisiensi dapat ditingkatkan dengan menambah daya keluaran (*Pout*). Untuk dapat meningkatkan daya keluaran motor dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah meningkatkan torka motor [2],[10].

Torka atau torsi didefinisikan sebagai besarnya momen putar yang terjadi pada poros output mesin akibat adanya pembebanan dengan sejumlah massa (kg). Pengukuran torka dapat dilakukan dengan meletakkan mesin yang akan diukur torkanya pada engine testbed dan poros keluaran dihubungkan dengan rotor dynamometer.

Kecepatan mengukur jarak yang ditempuh dalam satuan waktu. Hubungan antara torsi dan kecepatan berbanding terbalik satu sama lain. Torsi suatu benda yang berputar secara matematis dapat ditulis sebagai perbandingan daya dan kecepatan sudut.

Mesin penghancur batu atau (*stone crusher*) terdiri dari macam-macam tipe yaitu: *Jaw Crusher* yang menggunakan rahang, *impact crusher* yang menggunakan sistem rotary dan lain-lain. Cara kerja *Jaw Crusher* cukup sederhana karena hanya motor listrik yang memutar *flywheel* dan *flywheel* itu memutar poros eksentris yang akan menggerakkan rahang (*jaw*). Cara kerja dari *Impact Crusher* dimana motor listrik memutar rotor sehingga batu yang dimasukkan akan bertumbukan dengan dinding *impact crusher*. Akan tetapi, di dalam penelitian ini akan dibahas yang lebih lanjut mengenai mesin pemecah batu tipe *Jaw Crusher*.

Komponen utama dari mesin *Jaw Crusher* ini adalah dua plat rahang yang dipasang secara miring dan membentuk V dimana bagian pembukaan yang lebar dan pengeluaran yang sempit. Pada mesin ini, salah satu plat rahang (*jaw plate*) dipasang secara statis (*stationary jaw*) dan plat rahang yang lain dapat bergerak (disebut sebagai *swing jaw*). *Swing jaw* ini terhubung dengan poros eksentris yang berputar akibat putaran motor sehingga apabila dioperasikan, *swing jaw* akan bergerak maju mundur. Saat mesin dioperasikan, bahan baku dimasukkan pada pembukaan atas yang lebar. Lalu, *swing jaw* akan bergerak dan menghancurkan bahan baku dengan menumbukkan nya dengan plat rahang statis yang membuat ukuran bahan baku semakin kecil dengan bantuan gravitasi.

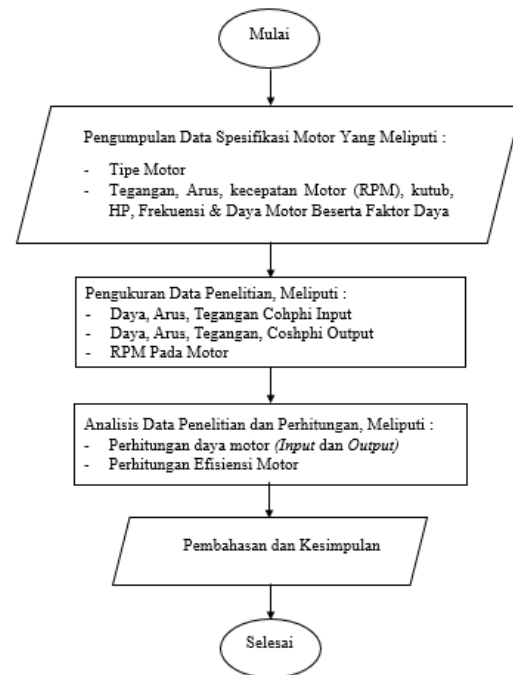
3. METODE PENELITIAN

3.1.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat pengukuran yakni sebagai berikut : Perangkat keras yang digunakan : 1) motor listrik 3 fasa; 2) Kamera *Handphone*; 3) *Jaw Crusher*. Perangkat pengukuran yang digunakan meliputi: 1) *AC Tester*; 2) *Tachometer Strobocsopet CEM AT-8*.

3.1.2 Metode Penelitian

Berikut merupakan metode penelitian yang digunakan, meliputi: 1) pengumpulan data spesifikasi motor; 2) pengukuran data penelitian; 3) analisis data penelitian dan perhitungan; 4) pembahasan dan kesimpulan. Gambar langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:



3.1.3 Motor Induksi saat starting

Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 4 sampai 8 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor yang berdaya besar tentu arus pengasutan juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengandaya besar tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung [4], [13], [14].

Saat motor induksi dijalankan maka akan membutuhkan arus mula yang besar, hal ini dikarenakan frekuensi dan reaktansi yang tinggi dalam kondisi start yaitu dengan slip seratus persen. Jadi dalam rangkaian rotor yang sangat reaktif, arus rotor tertinggal terhadap ggl rotor dengan sudut yang besar. Hal ini berarti bahwa aliran arus maksimum terjadi dalam konduktor rotor pada suatu waktu setelah kerapatan fluksi maksimum stator melewati konduktor tersebut. Sehingga kondisi ini menghasilkan arus mula yang besar dengan factor daya yang rendah dan menghasilkan torsi mula yang rendah. Jika rotor melakukan percepatan, frekuensi rotor menjadi berkurang dikarenakan nilai slip yang berkurang, hal ini berarti nilai reaktansi

rotornya berkurang sehingga menyebabkan nilai torsi naik ke harga maksimumnya. Jika motor mempercepat lebih lanjut, torsi akan turun sesuai dengan harga yang diperlukan untuk memutar beban dengan kecepatan konstan [13], [14].

4.1.1 Pengambilan Data Motor

Pengambilan data menggunakan ac tester yang di ukur pada *input* dan *output* motor . Berikut merupakan data hasil pengukuran motor yang telah dilakukan. Berikut tabel besaran daya dan efisiensi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

No	V_{in} (Volt)	I_{in} (A)	$\cos\phi I_n$ (PF)	P_{in} (W)	V_{out} (Volt)	I_{out} (A)	$\cos\phi O_{ut}$ (PF)	P_{out} (W)	Efisiensi (%)
1	399	119	0.89	73193.16	402	120	0.08	6684.33	9.13%
2	404	109	0.9	68645.33	402	113	0.09	7081.21	10.32%
3	407	103	0.9	65348.37	403	102	0.08	5695.81	8.72%
4	317	71.8	0.75	29566.89	403	103	0.09	6470.61	21.88%
5	408	66.2	0.84	39296.88	405	79.8	0.07	3918.47	9.97%
6	384	25.5	0.5	8480.12	411	27.1	0.14	2700.85	31.85%
7	401	19.3	0.68	9115.31	398	32.2	0.4	8878.91	97.41%
8	402	19.5	0.68	9232.73	398	32.1	0.4	8851.33	95.87%
9	406	20	0.68	9563.69	402	32.6	0.4	9079.55	94.94%
10	402	19.4	0.68	9185.38	398	32.2	0.41	9100.88	99.08%
11	405	19.7	0.68	9397.03	402	32.9	0.41	9392.18	99.95%
12	411	20.4	0.69	10020.32	408	33.8	0.41	9793.13	97.73%
13	409	20.8	0.64	9430.34	405	34	0.38	9063.13	96.11%
14	399	19.2	0.69	9155.54	397	31.9	0.4	8774.08	95.83%
15	404	19.7	0.69	9511.68	400	32.8	0.4	9089.80	95.56%
16	401	19.4	0.69	9297.28	399	32.3	0.4	8928.86	96.04%
17	409	20.4	0.69	9971.56	407	33.9	0.4	9559.05	95.86%
18	407	20.1	0.69	9776.88	404	33.3	0.4	9320.65	95.33%
19	406	20	0.7	9844.98	404	33.2	0.4	9292.66	94.39%
20	406	19.8	0.7	9746.53	403	32.9	0.4	9185.90	94.25%
21	405	19.7	0.7	9673.42	402	32.9	0.4	9163.10	94.72%
22	405	19.8	0.7	9722.52	402	32.9	0.4	9163.10	94.25%
23	405	19.7	0.7	9673.42	402	32.9	0.4	9163.10	94.72%
24	405	19.8	0.7	9722.52	402	32.9	0.4	9163.10	94.25%
25	404	19.7	0.7	9649.53	402	32.8	0.4	9135.25	94.67%
26	403	19.6	0.69	9439.97	399	32.5	0.39	8759.54	92.79%
27	403	20.6	0.61	8771.28	401	34.6	0.25	6007.88	68.49%
28	404	21.4	0.56	8385.79	402	34.9	0.29	7047.09	84.04%
29	404	21.5	0.56	8424.97	402	34.7	0.24	5798.66	68.83%
30	404	21.1	0.58	8563.52	402	34.6	0.28	6745.60	78.77%
31	405	21.2	0.59	8774.12	402	34.6	0.26	6263.77	71.39%
32	405	20.6	0.62	8959.31	402	33.5	0.33	7697.42	85.92%
33	405	20.2	0.65	9210.44	402	33.5	0.33	7697.42	83.57%
34	405	20.6	0.62	8959.31	402	34.9	0.31	7533.10	84.08%
35	404	21.5	0.56	8424.97	402	35	0.23	5605.09	66.53%
36	404	21.1	0.58	8563.52	402	34.8	0.24	5815.37	67.91%
37	405	21.2	0.59	8774.12	402	34.6	0.26	6263.77	71.39%
38	405	20.6	0.62	8959.31	402	33.5	0.33	7697.42	85.92%
39	405	20	0.67	9399.84	402	33.5	0.33	7697.42	81.89%
40	405	20.6	0.62	8959.31	402	33.9	0.31	7317.25	81.67%
41	405	20	0.67	9399.84	402	33.1	0.36	8296.93	88.27%
42	405	19.8	0.68	9444.73	402	32.9	0.38	8704.95	92.17%
43	405	19.7	0.69	9535.23	402	32.8	0.39	8906.87	93.41%
44	405	19.8	0.66	9166.95	402	32.9	0.39	8934.03	97.46%

45	405	20	0.69	9680.43	402	33.3	0.35	8115.19	83.83%
46	405	19.8	0.69	9583.63	403	33.1	0.37	8548.61	89.20%
47	405	20	0.67	9399.84	402	33.9	0.39	9205.58	97.93%
48	405	21.9	0.55	8449.33	402	35.1	0.28	6843.08	80.99%
49	404	21.6	0.55	8313.01	402	36.2	0.18	4536.99	54.58%
50	405	21.3	0.57	8516.68	402	35.1	0.21	5132.31	60.26%
51	404	21.6	0.55	8313.01	402	36.2	0.18	4536.99	54.58%
52	405	21.3	0.57	8516.68	402	35.1	0.21	5132.31	60.26%
53	405	21.5	0.57	8596.64	402	35.7	0.2	4971.47	57.83%
54	401	19.6	0.7	9529.26	400	32.7	0.38	8608.99	90.34%
55	403	20	0.65	9074.21	401	33.1	0.34	7816.49	86.14%
56	402	20.1	0.64	8957.00	400	32.8	0.32	7271.84	81.19%
57	403	21.1	0.58	8542.33	401	34.9	0.24	5817.57	68.10%
58	404	20.5	0.63	9037.25	402	33.6	0.31	7252.50	80.25%
59	404	20	0.66	9236.68	402	33.1	0.34	7835.98	84.84%
60	404	19.7	0.69	9511.68	401	32.8	0.38	8656.90	91.01%
61	404	20	0.65	9096.73	401	33.2	0.31	7148.33	78.58%
62	403	20.9	0.59	8607.24	401	34.5	0.25	5990.51	69.60%
63	403	21.1	0.58	8542.33	401	34.2	0.25	5938.42	69.52%
64	403	20.3	0.63	8926.93	401	33.4	0.31	7191.40	80.56%
65	399	19.5	0.63	8490.02	396	32.6	0.32	7155.23	84.28%
66	398	19.2	0.66	8735.52	395	32.2	0.34	7490.18	85.74%
67	396	20.3	0.55	7657.99	393	32.9	0.27	6046.62	78.96%
68	396	20	0.58	7956.35	393	33.3	0.25	5666.79	71.22%
69	399	19.2	0.66	8757.47	396	32.3	0.36	7975.55	91.07%
70	398	19	0.68	8906.48	396	32.1	0.38	8366.51	93.94%
71	399	18.9	0.69	9012.48	396	32.1	0.38	8366.51	92.83%
72	399	19	0.69	9060.17	396	32.2	0.38	8392.58	92.63%
73	400	19.4	0.67	9005.28	397	32.4	0.38	8466.03	94.01%
74	402	19.6	0.68	9280.08	398	32.6	0.36	8090.28	87.18%
75	401	19.2	0.68	9068.08	398	32.4	0.38	8487.35	93.60%
76	401	19.3	0.68	9115.31	398	32.6	0.36	8090.28	88.75%
77	403	19.7	0.69	9488.14	401	32.8	0.39	8884.71	93.64%
78	404	20.6	0.6	8648.89	402	35.89	0.3	7496.89	86.68%
79	404	22.6	0.5	7907.16	402	37.5	0.15	3916.60	49.53%
80	404	24.2	0.44	7450.92	401	39.7	0.19	5239.01	70.31%
81	404	22.1	0.53	8196.15	401	35.7	0.25	6198.88	75.63%
82	404	20.2	0.64	9046.35	401	34.98	0.35	8503.40	94.00%
83	404	19.6	0.68	9326.25	402	33.85	0.37	8720.61	93.51%
84	403	20	0.64	8934.61	401	33.3	0.35	8095.01	90.60%
85	403	20.2	0.63	8882.96	401	33.9	0.37	8711.77	98.07%
86	403	19.6	0.68	9303.16	401	32.6	0.39	8830.54	94.92%
87	400	19.3	0.69	9226.29	399	33.2	0.38	8731.90	94.64%
88	402	19.6	0.67	9143.61	399	32.9	0.33	7503.15	82.06%
89	402	19.9	0.65	9006.44	400	32.8	0.35	7953.58	88.31%
90	403	19.5	0.69	9391.81	401	32.6	0.39	8830.54	94.02%
91	402	19.5	0.69	9368.51	400	32.4	0.38	8530.00	91.05%
92	402	19.6	0.65	8870.66	400	33.9	0.35	8220.31	92.67%
93	403	20	0.64	8934.61	400	33	0.35	8002.07	89.56%
94	400	19.3	0.67	8958.86	398	32.9	0.38	8618.33	96.20%
95	400	19.9	0.62	8548.02	398	33.9	0.31	6543.37	84.75%
96	397	21.5	0.51	7539.80	394	35.3	0.25	6022.43	79.88%
97	400	21.6	0.58	8679.65	398	34.1	0.23	5406.62	62.29%
98	401	20	0.53	7362.26	398	34.9	0.28	6736.39	91.50%
99	402	20.2	0.49	6891.82	400	36.8	0.13	3314.45	48.09%

100	401	20.1	0.52	7266.68	398	37	0.17	4330.19	59.65%
$\bar{X}$	402	24	0.64	11261.80	401	37	0.31	7479.25	80.33%

Data tegangan, arus, cosphi *input* maupun *output* pada **Tabel 4.1** merupakan hasil dari pengukuran. Data pada daya *input* maupun *output* dan juga efisiensi dihitung menggunakan Persamaan 2.7 dan 2.12. Saat *starting*, motor dipengaruhi oleh tegangan, arus, cosphi (faktor daya), dan daya *input* maupun *output*. Tegangan *input* pada saat *starting* tidak stabil, hasil dari pengukuran didapatkan tegangan *input* yang bervariasi seperti pada tabel 4.1 no 1 – 6. Hal ini disebabkan oleh arus *starting* awal motor yang tinggi mencapai 119A atau hampir 2 kali arus nominal motor. Saat motor *starting*, rotor motor induksi dalam keadaan diam. Diperlukan torsi awal yang besar untuk mempercepat rotor dari diam hingga mencapai kecepatan kerja. Torsi ini dihasilkan oleh medan magnet yang berputar dalam kumparan stator. Semakin besar torsi yang dihasilkan, semakin besar pula arus yang dibutuhkan [2], [14]. Akibatnya cosphi *input* juga semakin besar yaitu 0.5 hingga 0.9pf. Kemudian, hal ini tentu memiliki hubungan berbanding lurus terhadap daya input yang digunakan yang juga semakin besar mencapai yang tertinggi 73193.16 watt atau 73 KW. Saat *starting* baik tegangan, arus, cosphi dan daya *input* melebihi nilai nominal motor. Nilai nominal daya dan arus pada nameplate motor hanya di 37KW dan 73.5A. Selain itu saat *starting* motor juga dipengaruhi oleh tegangan *output*, arus *output*, cosphi *output*, dan daya *output*. Tegangan *output* pada saat motor *starting* bervariasi seperti pada tabel 4.1 no. 1-6, arus *output* yang tertinggi 120A, daya *output* mencapai 7081.21 watt, cosphi *output* dari 0.08 hingga mencapai angka tertinggi 0.14. Maka dari itu saat *starting* berdampak pada efisien motor yang tidak stabil yang hanya sebesar 8.72%-31.85%. Saat motor *starting* efisiensi dari motor induksi 3 fasa yang ada di PT. Alam tunggal Semesta dibawah nilai nominal motornya yaitu 92%.

Selanjutnya pada saat tidak ada beban, arus *input* motor yang terbaca 19-19.9A, arus *output* motor 32.1-32.9A, dimana pada arus yang terbaca dibawah batas nominal motor yaitu sebesar 73.5A. Daya *input* pada saat motor tidak ada beban terhitung 8.49-9.74KW dan daya *output* 7.15-9.39KW, dimana pada

spesifikasi pada nameplate motor maksimal daya sebesar 37KW. Cosphi *input* pada saat tidak ada beban terbaca 0.66-0.7pf dan cosphi *output*nya terbaca 0.32-0.41pf. Hal ini yang mengakibatkan efisiensi motor pada saat tidak ada beban terhitung 82-99% atau didapatkan rata-ratanya 92.75% dimana itu sesuai pada nilai motor. Efisiensi pada motor saat tidak ada beban rata-rata 92,75% dikarenakan daya *input* motor dan daya *ouptut* hanya digunakan untuk melawan kerugian-kerugian pada motor, seperti rugi-rugi mekanik (gesekan dan angin), rugi-rugi besi (*histeresis*). Kerugian gesekan yang terjadi pada bantalan motor dan poros motor dapat dikurangi dengan menggunakan bantalan dan poros yang berkualitas baik. Kerugian *histeresis* yang terjadi pada inti besi motor dapat dikurangi dengan menggunakan inti besi yang berkualitas baik. Rugi-rugi besi terjadi pada rongga udara antara lilitan stator dan rotor dapat dikurangi dengan menggunakan lilitan stator dan rotor yang memiliki desain yang optimal [2]. Oleh karena itu, pada saat motor listrik tidak ada beban, efisiensi motor umumnya berada di atas 90% dan cosphi *input* lebih tinggi.

Kemudian pada saat motor ada beban, arus *input* motor yang terbaca 20-24.2A dan arus *output* motor 33-39.7A, dimana pada arus ketika ada beban yang terbaca masih dibawah batas nilai nominal motor yaitu sebesar 73.5A. Daya *input* pada saat ada beban terbaca antara 6.8-10KW dan daya *output* 3.3-9.7KW. Daya *input* maupun *output* ketika ada beban masih dibawah batas nilai nominal motor yang maksimal dayanya sebesar 37KW. Saat motor ada beban cosphi *input* terbaca diatas 0.4-07pf dan cosphi *output* terbaca 0.13-0.41pf. Efisiensi motor terhitung pada saat ada beban sebesar 48-98% atau didapatkan rata-ratanya 78.07% yang menandakan pada saat motor ada beban efisiensi yang didapatkan dibawah 92% atau dibawah nilai nominal motor. Hal ini dikarenakan daya pada motor digunakan untuk melawan beban motor, seperti beban gerak (*mechanical load*) dan beban listrik (*electrical load*). Beban listrik adalah beban yang menyebabkan motor menyerap arus listrik sehingga data pengukuran arus *input* motor yang terbaca di atas 20A dan arus *output* motor diatas 33.1A. Pada saat motor listrik ada

beban, daya motor juga digunakan untuk melawan rugi-rugi pada motor, seperti rugi-rugi mekanik (gesekan dan angin) dan rugi-rugi besi (*histeresis*), serta untuk meningkatkan torsi pada motor yakni untuk penggilingan/penghancuran batu [15].

Efisiensi motor listrik 3 phase dapat dijaga dan ditingkatkan dengan beberapa cara yaitu :

- Melakukan pemeliharaan motor secara rutin. Pemeliharaan motor listrik dapat mencegah kerusakan yang dapat menurunkan efisiensi motor.
- Monitoring Efisiensi Motor. Terus pantau efisiensi motor listrik secara berkala dan tindak lanjuti apabila ada penurunan efisiensi.
- Menggunakan motor listrik dengan ukuran sesuai dengan beban. Motor listrik yang terlalu besar akan bekerja tidak efisien.

Standar nilai minimum untuk faktor daya atau cos phi yang di tetapkan PLN berdasarkan peraturan SPLN70-1 adalah 0,85-1. Jadi untuk nilai faktor daya kurang dari 0.85 atau lebih dari 1 berarti faktor dayanya tidak baik. Dari tabel 4.1 rata-rata Coshphi yang dihasilkan masih di bawah 0.85 sehingga masih di bawah standar yang berlaku. Maka sesuai Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2011 dan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 09 Tahun 2011, bahwa jika faktor daya pemakai listrik rata-rata setiap bulan kurang dari 0.85, maka pemerintah hanya menetapkan denda berupa biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) pada Tarif Dasar Listrik (TDL) untuk keperluan pelayanan sosial, pelayanan bisnis, industri, kantor pemerintah dan penerangan jalan umum, traksi dan penjualan curah (*bulk*) [17].

Untuk menaikkan faktor daya (cos phi) menjadi 0.9 pf maka harus dipasang alat yaitu kapasitor bank. Untuk mengetahui spesifikasi kapasitor bank yang diperlukan perusahaan untuk meningkatkan coshphi dapat diperhitungkan sebagai berikut.

Sebelum pemasangan kapasitor diketahui dayanya ($P1 \& P2$) 11.3KW dan coshphinya ($Pf1$) 0.64, maka harus dicari daya semu dan daya reaktifnya.

$S1 \& Q1 = ?$

$$\begin{aligned} \bullet \quad S1 &= \frac{P1}{Pf1} = \frac{11,3}{0,64} \\ &= 17,6 \text{ KVA} \\ \bullet \quad Q1 &= \sqrt{(S1)^2 - (P1)^2} \\ &= \sqrt{(17,6)^2 - (11,3)^2} \\ &= 13,49 \text{ KVAr} \end{aligned}$$

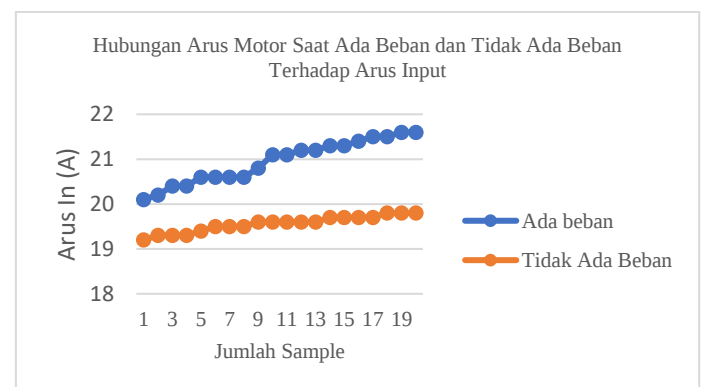
Perbaiki cosphi menjadi 0.9 pf, dimana diketahui dayanya $P1=P2= 11.3KW$ dan $Pf2= 0.9$ (menggunakan nilai perbaikan cosphi yang diinginkan) maka daya semu dan daya reaktifnya adalah

$$\begin{aligned} \bullet \quad S2 &= \frac{P2}{Pf2} = \frac{11,3}{0,9} \\ &= 12,5 \text{ KVA} \\ \bullet \quad Q2 &= \sqrt{(S2)^2 - (P2)^2} \\ &= \sqrt{(12,5)^2 - (11,3)^2} \\ &= 5,34 \text{ KVAr} \end{aligned}$$

Dengan demikian besar kapasitor bank yang dibutuhkan untuk menaikkan faktor daya dari 0,64 menjadi 0.9 pf adalah $(Q1 - Q2) = (13,49KVAr - 5,34 \text{ KVAr}) = 8,15 \text{ KVAr}$. Sehingga spesifikasi kapasitor bank yang dipilih adalah 1 kapasitor bank 10 KVAr [16], [17].

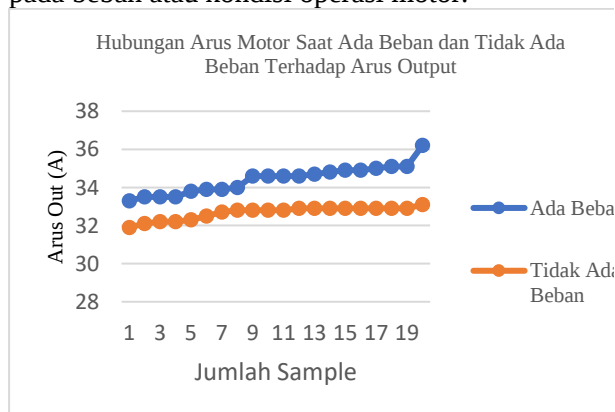
4.1.2 Hubungan Arus Motor Ada Beban Atau Tidak Ada Beban

Setelah dilakukan pengukuran yang tercantum pada tabel 4.1 maka berikut ini merupakan hubungan arus *input* motor listrik 3 fasa pada saat ada beban dan tidak ada beban. Beban yang dimasuk Ketika terjadinya proses pengilingan batu.



Grafik gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara arus *input* yang mengalir

pada motor (sumbu Y) dan jumlah sample yang digunakan (sumbu X) untuk dua kondisi yakni motor ada beban dan motor tidak ada beban. Motor tidak ada beban (garis merah), Arus motor mulai dari sekitar 19,2 A dan tetap relatif konstan sepanjang jumlah sample pengukuran. Ini menunjukkan bahwa kerugian-kerugian pada motor relatif kecil dan tidak berubah secara signifikan seiring dengan jumlah sample pengukuran. Motor ada beban (garis biru), Arus motor mulai dari sekitar 20,1 A dan meningkat secara bertahap hingga mencapai puncak sekitar 21,6 A setelah 17 sample pengukuran. Kemudian, arus motor berfluktuasi bertahap hingga mencapai titik tertinggi 21.6A hingga akhir pengukuran. Peningkatan arus ini menunjukkan bahwa motor bekerja melawan beban, yang menyebabkan arus tambahan mengalir untuk mengatasi gaya yang ditimbulkan oleh beban. Fluktuasi arus kecil setelah 20 sample pengukuran disebabkan oleh perubahan kecil pada beban atau kondisi operasi motor.



Pada grafik gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara hubungan arus motor yang memiliki beban dan karakteristik motor yang tidak memiliki beban terhadap arus output. Garis biru mewakili karakteristik motor saat ada beban, sedangkan garis merah mewakili karakteristik motor saat tidak memiliki beban.

Pada grafik tersebut, terlihat bahwa arus *output* motor yang memiliki beban lebih tinggi dari pada arus *output* motor yang tidak memiliki beban. Hal ini disebabkan oleh adanya beban yang berfungsi untuk meningkatkan torsi motor. Beban akan meningkatkan gaya dorong yang diberikan oleh motor pada beban, sehingga motor perlu menghasilkan arus yang lebih besar untuk menggerakkan beban tersebut. Dari grafik

tersebut, dapat dilihat bahwa arus output motor tertinggi terjadi pada saat beban motor mencapai puncaknya sebesar 36.2A dalam proses penggilingan batu.

Pada saat motor tidak ada beban, arus yang mengalir hanya digunakan untuk melawan kerugian-kerugian pada motor yang umumnya bersifat induktif, sehingga arus output yang mengalir sebesar 31.9A sampai dengan 33.1A

4.1.3 Hubungan Torka Dengan Kecepatan Motor

Setelah melakukan pengukuran terhadap kecepatan motor listrik 3 fasa pada saat motor *running* yang menggunakan tachometer maka terdapat hubungan kecepatan motor dengan torsi motor yang bisa di lihat pada grafik 4.3



Grafik gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara torka motor (sumbu Y) dan kecepatan motor (sumbu X) untuk motor induksi tiga fasa. Grafik tersebut menunjukkan bahwa torka motor meningkat secara linear seiring dengan peningkatan kecepatan motor hingga mencapai titik maksimum yang mana pada grafik diatas torka maksimum sebesar 1089.58Nm di rpm 314.4. Titik tersebut disebut sebagai titik torsi maksimum (*breakdown torque*), di mana torsi maksimum dapat dihasilkan. Setelah mencapai titik maksimum, torka motor mulai menurun seiring dengan peningkatan kecepatan motor hingga ke titik torsi minimum sebesar 236.67Nm di rpm 1447.4. Ketika kecepatan meningkat, torsi menurun karena hubungan antara torsi dan kecepatan adalah *invers*. Ini dapat dijelaskan menggunakan persamaan 2.14. Ketika kecepatan meningkat, torsi harus menurun agar daya tetap konstan, karena daya adalah produk dari torsi dan kecepatan. Ini juga berkaitan

dengan persamaan slip motor induksi. Nilai slip pada motor dapat diketahui dengan cara mengetahui nilai kecepatan RPM pada stator. Kecepatan stator pada motor induksi di perusahaan yaitu 1000 RPM. nilai tersebut didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.1, dimana diketahui nilai frekuensi pada motor 50Hz dan jumlah kutub 6. Ketika kecepatan rotor 980 atau berputar pada kecepatan nominal maka dapat diketahui nilai slipnya dengan cara menghitung menggunakan persamaan 2.2 yang didapatkan nilai slipnya sebesar 0.02 [3], [11], [15],[18].

Slip menunjukkan perbedaan kecepatan antara medan magnet stator yang berputar dan rotor. Ketika kecepatan rotor mendekati kecepatan sinkron, slip menurun, yang mengakibatkan penurunan torsi. Pada grafik tersebut bahwa kecepatan motor relative stabil antara 900-1200 RPM dengan torka motor antara 282-371Nm.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian diatas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Saat motor tidak ada beban daya terhitung 8.4-9.7KW dan saat ada beban daya terhitung 6.8-10KW yang menandakan pada saat motor tidak ada beban maupun ada beban masih dibawah nilai nominal daya motor yaitu 37KW.
- Efisiensi Motor Listrik 3 Fasa, pada saat tidak ada beban terhitung efisiensi sebesar 82-99% atau didapatkan rata-ratanya 92.75% dimana itu sesuai pada spesifikasi nameplate pada motor.
- Hubungan Antara Kecepatan dan Torsi Motor Listrik 3 Fasa adalah berbanding terbalik (*invers*). semakin besar kecepatan maka semakin kecil torsi yang dihasilkan oleh motor dan semakin kecil kecepatan maka semakin besar torsi motor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siswoyo. (2008). Teknik Listrik Industri Jilid 2. Jakarta: Direktorat Pembinaan.
- [2] Pratama, A. K., Zondra, E., & Yuvendius, H. (2020). Analisis efisiensi motor induksi tiga fasa akibat perubahan tegangan. SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), 5(1), 35-43.
- [3] Antonov, & Yeni Oktariani. (2016). Studi Pengaruh Torsi Beban Terhadap Kinerja Motor Induksi Tiga Fase. Jurnal Teknik Elektro, 5(1), 9-15.
- [4] Yandri. (2011, Juli). Penentuan parameter dan arus asut motor induksi tiga fasa. Jurnal ELKHA, 3(2), 39-44.
- [5] C. R. Harahap, R. A. Nasution, and F. X. A. Setyawan, "Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Sumber Panel Surya," Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, vol. 11, no. 3, Sep. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3.3424.
- [6] Azhar, B. (2015). *Jaw Crusher*. Artikel Online. Diakses pada <https://www.slideshare.net/slideshow/jaw-crusher-45563128/45563128>.
- [7] Nugroho, A. T. (2020). Motor Induksi Tiga Fasa Yang Dipergunakan Sebagai Generator Dengan Beban Steady State Dan Dinamik. *Undergraduated Thesis*. 22 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- [8] Invander, T. (2017). Motor 3 fasa. Artikel Online. Diakses pada <https://www.scribd.com/document/346163396/Motor-3-Fasa>.
- [9] Ichsan, M. Y. (2023). Pengaturan kecepatan perahu dengan motor ac 3 phase menggunakan metode pid (open loop) di wisata religi sayung. Tugas akhir.
- [10] Abdillah, M. S. I., dan Efrita, A. Z. (2018). *Analisa Kinerja Motor Induksi 3 Fasa Pada Pompa Sentrifugal Di Favehotel Rungkut Surabaya*. Jurnal Teknik Elektro. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- [11] Byju's. (2023). "Relation Between Torque and Speed" Artikel Online. Diakses pada <https://byjus.com/physics/relation-between-torque-and-speed/>.
- [12] Trikueni Dermanto. "Menghitung Arus, Daya, Kecepatan, dan Torsi Motor Listrik AC." Desain Sistem Kontrol, 8 September 2013. Blogspot. https://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2013/09/Menghitung-Arus-Motor-AC.html#google_vignette.
- [13] Mufidah. (2016). "Pengemudian Motor Listrik AC Starting Wye Delta". Artikel Online . Diakses pada <https://www.scribd.com/doc/306492799/Startin-g-Motor-Induksi-3-Fasa>.
- [14] Irfan, M., Irfan, I., & Fajar, M. (2023). Analisis pengaruh momen starting terhadap efisiensi motor listrik 3 fasa. Teknik Elektro, 15(1), 1-10.
- [15] Sartika, L., Prasetya, A. M., & Nicholas, I., E., N. (2023). Analisis pengaruh beban terhadap kinerja motor induksi 3 fasa scraper conveyor

- di PT. Citra Siwit Lestari. Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan, 10(1), 7-16
- [16] Rapid, T. Faktor Daya. *Artikel Online*. Diakses pada <https://www.rapidtables.org/id/electric/PowerFactor.html>
- [17] Arisaktiwardhana, D. (2012). Peningkatan faktor daya pada lampu swabalast untuk mengurangi energi dan emisi CO2 pada sektor rumah tangga di indonesia. Tugas Akhir.
- [18] Amir, M., & Saputra, I. (2019). Analisis torsi motor induksi tiga fasa akibat perubahan kecepatan. Jurnal Teknik Elektro, 14(1), 1-7.