

Analisis Variasi Frekuensi Dan Pembebanan Terhadap Efisiensi Motor Induksi 3-Fasa

Irfan Kristiawan

PT. Hisamitsu Pharma Indonesia
Alamat : Jl. HR. Moch. Mangundiprojo, Buduran, Banjarkemantren, Kec. Buduran,
Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61252
irfan.kristiawan99@gmail.com

Received: January 2026; Accepted: April 2026; Published: May 2026

DOI: 10.30649/je.v7i2.151

Abstrak

Di era industri modern, diperlukan pengaturan atau pengendalian dalam mengoperasikan motor induksi 3 fasa. Pengaturan atau pengendalian motor induksi 3 fasa tersebut untuk membantu kegiatan produksi pada industri, sehingga kegiatan produksi dapat berjalan sesuai dengan fungsi atau tujuan perusahaan. Terdapat dua cara untuk mengatur kecepatan putar motor induksi 3 fasa. Cara yang pertama yaitu dengan mengubah jumlah kutub pada motor induksi. Kemudian cara yang kedua dengan memanfaatkan fungsi *Variable Frequency Drive* (VFD). Cara ini cukup efektif dan banyak dilakukan di industri modern karena cara pengaturan kecepatan motor dapat dikendalikan sesuai kebutuhan yang diperlukan dengan mengatur besar frekuensi yang masuk ke motor induksi 3 fasa. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perubahan frekuensi dan juga perubahan pembebanan terhadap efisiensi motor induksi 3 fasa. Hasil dari penelitian akan dapat dijadikan pedoman atau rekomendasi teknis untuk mengatur besaran frekuensi yang ideal pada motor induksi 3 fasa di mesin embossing PT. Hisamitsu Pharma Indonesia, sehingga mesin dapat beroperasi dengan efektif dan efisien. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen langsung dan analisa data.

Kata kunci: Motor Induksi 3 Fasa, *Variable Frequency Drive*, Frekuensi, Efisiensi

Abstract

In the modern industrial era, regulation or control is required in operating 3-phase induction motors. Regulation or control of 3-phase induction motors is to assist production activities in the industry, so that production activities can run according to the company's functions or objectives. There are two ways to regulate the rotational speed of a 3-phase induction motor. The first way is by changing the number of poles on the induction motor. Then the second way is by utilizing the Variable Frequency Drive (VFD) function. This method is quite effective and widely used in modern industries because the motor speed can be controlled according to the required needs by adjusting the frequency input to the 3-phase induction motor. This study aims to determine the effect of changes in frequency and also changes in loading on the efficiency of 3-phase induction motors. The results of the study will be used as guidelines or technical recommendations to regulate the ideal frequency of the 3-phase induction motor in the embossing machine of PT. Hisamitsu Pharma Indonesia, so that the machine can operate effectively and efficiently. The methods used in this study are direct experiments and data analysis.

Key words: 3 Phase Induction Motor, *Variable Frequency Drive*, Frequency, Efficiency

I. PENDAHULUAN

Dalam era industri *modern*, keandalan sistem produksi menjadi aspek yang sangat krusial dalam menjaga daya saing dan produktivitas perusahaan. Salah satu komponen vital dalam sistem produksi industri adalah motor induksi tiga fasa, yang banyak digunakan karena konstruksinya yang sederhana, biaya perawatan yang rendah, dan daya tahan tinggi. Namun, dalam implementasinya, motor induksi sangat dipengaruhi oleh parameter operasional, terutama frekuensi catu dayanya, yang secara langsung mempengaruhi kecepatan putar dan performa motor.

Penggunaan sistem pengendalian kecepatan berbasis *Variable Frequency Drive (VFD)* menjadi solusi umum untuk mengatur kecepatan motor induksi sesuai kebutuhan proses. Salah satu penerapan pentingnya terdapat pada mesin embossing di PT. Hisamitsu Pharma Indonesia, di mana presisi kecepatan motor sangat memengaruhi kualitas produk. Namun, perubahan frekuensi dalam jangka waktu tertentu dapat memberikan dampak terhadap karakteristik termal dan efisiensi motor, yang pada akhirnya memengaruhi umur pakai dari sistem tersebut [1].

Selain frekuensi, tingkat pembebanan juga menjadi faktor penting yang menentukan efisiensi motor induksi. Pada kondisi beban ringan, efisiensi cenderung rendah karena rugi-rugi tetap lebih dominan, sedangkan pada beban nominal efisiensi biasanya mencapai nilai tertinggi. Sebaliknya, jika motor dipaksa bekerja melebihi kapasitas beban, maka efisiensi akan menurun dan risiko kerusakan meningkat. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pengaruh variasi frekuensi dan pembebanan terhadap efisiensi motor sangat penting dalam mendukung operasional mesin embossing yang efektif dan berkelanjutan.

Efisiensi motor induksi sangat bergantung pada kondisi operasi, termasuk

nilai beban, slip, tegangan, dan frekuensi. Pengaturan frekuensi yang tepat memungkinkan motor beroperasi mendekati titik efisiensi maksimumnya. Namun, jika pengaturan frekuensi dilakukan tanpa mempertimbangkan karakteristik beban dan profil motor, efisiensi dapat menurun. [2]

Pada frekuensi tinggi, rugi-rugi *switching* dari inverter meningkat. Sedangkan pada frekuensi rendah, rugi-rugi tembaga dan saturasi fluks meningkat, yang mengakibatkan menurunnya efisiensi. Oleh karena itu, penting untuk menjaga keseimbangan antara frekuensi, tegangan, dan beban untuk mendapatkan efisiensi optimal [3]. Efisiensi yang tinggi umumnya dicapai saat motor bekerja mendekati beban penuh dan pada frekuensi nominal. Operasi pada frekuensi rendah menyebabkan rugi-rugi tambahan, seperti peningkatan rugi tembaga dan rugi inti, yang mengakibatkan penurunan efisiensi [4]. Oleh karena itu, pengaturan frekuensi harus mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan kecepatan dan dampaknya terhadap parameter teknis motor.

Pembebanan merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi efisiensi kerja motor induksi tiga fasa. Beban motor didefinisikan sebagai daya mekanis yang dihasilkan motor dibandingkan dengan daya nominalnya. Pada kondisi beban rendah, efisiensi motor cenderung rendah karena rugi-rugi tetap seperti rugi inti dan rugi mekanis lebih dominan dibandingkan daya keluaran. Seiring bertambahnya beban hingga mendekati beban nominal, efisiensi motor akan meningkat dan umumnya mencapai nilai maksimum pada kisaran 75–100% beban nominal. Namun, jika motor dipaksa bekerja melebihi kapasitas nominalnya, arus akan meningkat, slip bertambah, serta temperatur naik sehingga efisiensi kembali menurun dan risiko kerusakan motor meningkat [5].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental dan kuantitatif pengaruh variasi frekuensi dan variasi

pembebanan terhadap efisiensi motor induksi tiga fasa pada mesin embossing di PT Hisamitsu Pharma Indonesia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai kombinasi frekuensi dan pembebanan yang ideal sehingga motor dapat beroperasi dengan efisiensi tinggi serta memiliki umur pakai lebih panjang.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan untuk menganalisis pengaruh variasi frekuensi dan pembebanan terhadap efisiensi motor induksi tiga fasa yang digunakan pada mesin embossing di PT Hisamitsu Pharma Indonesia. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui serangkaian tahapan yang meliputi pengumpulan data teknis motor, pengukuran langsung parameter kelistrikan, serta analisis data menggunakan pendekatan kuantitatif dan statistik.

Seluruh proses pengambilan data dilakukan pada kondisi operasi aktual mesin dengan memanfaatkan alat ukur pendukung seperti clamp meter, tachometer, dan instrumen pencatat lainnya. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk melakukan perhitungan efisiensi, visualisasi hubungan antar variabel, serta pengujian statistik guna memastikan signifikansi pengaruh frekuensi dan pembebanan. Metodologi penelitian ini disusun secara sistematis agar mampu menghasilkan temuan yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Metodologi penelitian ini disusun secara sistematis agar mampu menghasilkan temuan yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini berfokus pada motor induksi tiga fasa yang berperan sebagai objek utama pengamatan. Motor ini digunakan sebagai penggerak pada mesin embossing di PT Hisamitsu

Pharma Indonesia dan dipilih karena karakteristiknya yang banyak diaplikasikan di industri, memiliki konstruksi sederhana, handal, serta umum dioperasikan menggunakan *inverter* atau *Variable Frequency Drive (VFD)*.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis untuk memperoleh data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Data dikumpulkan melalui tiga metode utama, yaitu studi literatur, pengumpulan data teknis motor meliputi daya motor, tegangan nominal, frekuensi nominal, kecepatan nominal, arus nominal, faktor daya dan selanjutnya adalah pengukuran langsung di lapangan dengan langkah sebagai berikut menentukan variasi frekuensi melalui VFD dimulai dari frekuensi 25 Hz, 30 Hz, 35 Hz, 40 Hz, 45 Hz, 50 Hz, 55 Hz dan 60 Hz dan menentukan juga pembebanan dengan mengatur variasi gulungan kertas meliputi 0%, 25%, 50% dan 60%.

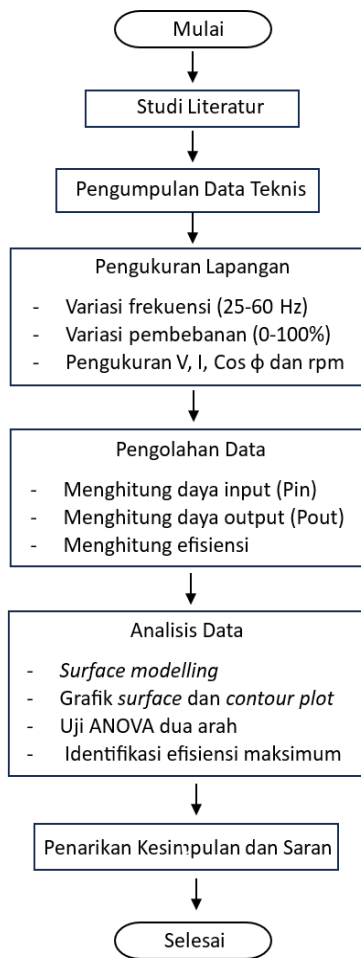
Selanjutnya adalah mengukur parameter listrik motor induksi untuk setiap kombinasi frekuensi dan pembebanan. Pengukuran dilakukan secara berulang untuk memastikan reliabilitas dan stabilitas data. Data mentah kemudian diolah menggunakan Microsoft Excel dan dianalisis lebih lanjut menggunakan MATLAB. Teknik pengumpulan data ini memungkinkan diperolehnya data yang objektif, komprehensif, dan memiliki tingkat validitas tinggi untuk digunakan dalam analisis efisiensi motor induksi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengukuran, perhitungan, dan analisis yang diperoleh dari penelitian mengenai pengaruh variasi frekuensi dan pembebanan terhadap efisiensi motor induksi tiga fasa pada mesin embossing di PT Hisamitsu Pharma Indonesia. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan

diolah secara kuantitatif menggunakan perhitungan teoritis dan dianalisis dengan bantuan perangkat lunak MATLAB.

Analisis dilakukan untuk mengetahui bagaimana perubahan frekuensi dan tingkat pembebanan memengaruhi kinerja motor, khususnya dari segi efisiensi kerja. Selain itu, pada bagian ini juga disajikan hasil visualisasi data dalam bentuk grafik, *contour plot*, dan analisis statistik menggunakan uji ANOVA untuk memastikan signifikansi pengaruh masing-masing variabel. Pembahasan dilakukan secara sistematis dengan mengaitkan hasil pengujian terhadap teori-teori dasar motor induksi, sehingga dapat diperoleh kesimpulan yang valid dan relevan dengan kondisi operasional mesin embossing di lapangan.



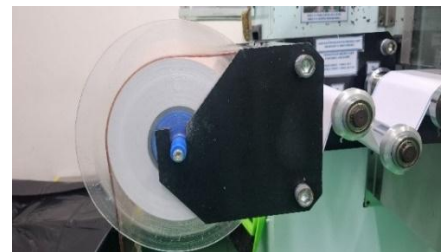
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Motor Penggerak Mesin Embossing



Gambar 3. Pengaturan Frekuensi Menggunakan VFD



Gambar 4. Pengaturan Pembebanan

Pengambilan data dilakukan secara langsung pada mesin embossing di area produksi PT Hisamitsu Pharma Indonesia. Motor induksi 3-fasa dioperasikan melalui *Variable Frequency Drive (VFD)* dengan pengaturan frekuensi yang divariasikan dari 25 Hz hingga 60 Hz.

Pada setiap nilai frekuensi, dilakukan pula pengujian terhadap empat tingkat pembebanan, yaitu 25%, 50%, 60%. Pembebanan ditetapkan berdasarkan persentase arus stator terhadap arus nominal motor,

yaitu kondisi tanpa beban (0%), beban parsial, dan beban maksimum aktual yang dapat dicapai pada sistem mesin embossing yang direpresentasikan berdasarkan gulungan roll.

Parameter yang diukur secara langsung di lapangan meliputi:

1. Tegangan antar fasa (V)
2. Arus fasa (I)
3. Faktor daya ($\cos \phi$)
4. Kecepatan putar (n)

Sedangkan parameter turunan yang dihitung dari hasil pengukuran tersebut adalah:

1. Daya *input* (P_{in}), dihitung menggunakan rumus:

$$P_{in} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

2. Daya *output* (P_{out}), diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan pendekatan daya nominal motor karena pengukuran torsi (T) secara langsung tidak dilakukan akibat keterbatasan alat ukur torsi meter. Torsi dihitung secara tidak langsung menggunakan torsi nominal motor (T_{rated}) dari data nameplate.

3. Efisiensi (η), dihitung dari perbandingan daya *output* terhadap daya *input* menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Parameter Motor 3-Fasa Mesin Embossing

Frekuensi (Hz)	Beban (%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Rpm	Faktor Daya
25	0	280	0,27	732	0,946
25	25	280	0,43	728	0,946
25	50	280	0,58	720	0,946
25	60	280	0,74	712	0,946
30	0	313	0,27	855	0,946
30	25	313	0,41	855	0,946
30	50	313	0,58	851	0,946
30	60	313	0,73	848	0,946
35	0	337	0,28	1001	0,946
35	25	337	0,41	997	0,946
35	50	337	0,57	994	0,946
35	60	337	0,72	990	0,946
40	0	362	0,28	1154	0,946
40	25	362	0,4	1142	0,946
40	50	362	0,57	1135	0,946
40	60	362	0,69	1130	0,946
45	0	384	0,28	1295	0,946
45	25	384	0,4	1282	0,946
45	50	384	0,56	1273	0,946
45	60	384	0,69	1270	0,946
50	0	406	0,28	1434	0,946
50	25	406	0,4	1428	0,946
50	50	406	0,56	1419	0,946
50	60	406	0,71	1413	0,946
55	0	433	0,29	1543	0,946

Frekuensi (Hz)	Beban (%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Rpm	Faktor Daya
55	25	433	0,39	1534	0,946
55	50	433	0,55	1528	0,946
55	60	433	0,69	1520	0,946
60	0	460	0,29	1774	0,946
60	25	460	0,43	1760	0,946
60	50	460	0,62	1754	0,946
60	60	460	0,81	1750	0,946

Data hasil pengukuran yang telah diperoleh dari lapangan kemudian diolah untuk menghitung daya *input* (P_{in}), daya *output* (P_{out}), dan efisiensi motor (η). Perhitungan dilakukan menggunakan rumus dasar kelistrikan tiga fasa, serta disesuaikan dengan kondisi pengujian motor induksi yang dikendalikan oleh *Variable Frequency Drive* (VFD).

Hasil perhitungan pada setiap variasi frekuensi dan pembebanan menggunakan rumus sesuai perhitungan dan dilakukan menggunakan bantuan *microsoft excel* untuk memudahkan perhitungan dan tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Hasil perhitungan daya *input*, daya *output*, dan efisiensi untuk seluruh kombinasi frekuensi dan pembebanan disajikan pada tabel berikut:

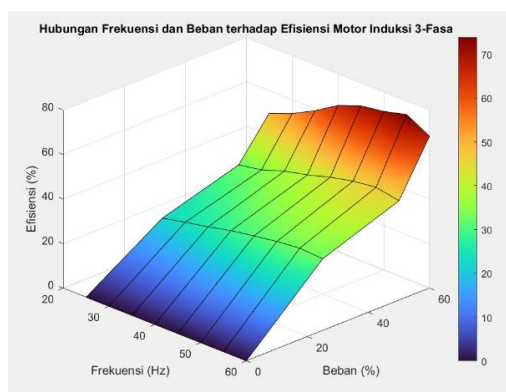
Tabel 2. Hasil Perhitungan Daya Input, Daya Output, dan Efisiensi

Frekuensi (Hz)	Beban (%)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
25	0	123,868	0,000	0,000
25	25	197,272	43,204	21,901
25	50	266,088	85,684	32,202
25	60	339,491	169,438	49,909
30	0	138,467	0,000	0,000
30	25	210,265	50,741	24,132
30	50	297,448	101,274	34,048
30	60	374,374	201,802	53,904
35	0	154,606	0,000	0,000
35	25	226,388	59,168	26,136
35	50	314,734	118,292	37,585
35	60	397,559	235,595	59,260
40	0	166,076	0,000	0,000
40	25	237,251	67,773	28,566
40	50	338,082	135,072	39,952
40	60	409,258	268,911	65,707
45	0	176,169	0,000	0,000
45	25	251,669	76,082	30,231
45	50	352,337	151,495	42,997
45	60	434,130	302,228	69,617
50	0	186,261	0,000	0,000
50	25	266,088	84,746	31,849
50	50	372,523	168,870	45,331
50	60	472,306	336,258	71,195

Frekuensi (Hz)	Beban (%)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
55	0	205,743	0,000	0,000
55	25	276,689	91,037	32,902
55	50	390,202	181,841	46,602
55	60	489,526	361,721	73,892
60	0	218,572	0,000	0,000
60	25	324,090	104,449	32,228
60	50	467,292	208,737	44,669
60	60	610,495	416,455	68,216

Setelah data hasil perhitungan diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan visualisasi untuk mempermudah pemahaman terhadap hubungan antara frekuensi kerja, tingkat pembebanan, dan efisiensi motor. Visualisasi ini dibuat menggunakan perangkat lunak MATLAB, yang mampu menampilkan hubungan antar variabel dalam bentuk grafik tiga dimensi (*surface plot*) dan peta kontur (*contour plot*).

Grafik *surface plot* menggambarkan hubungan tiga variabel sekaligus, yaitu frekuensi (sumbu X), pembebanan (sumbu Y), dan efisiensi motor (sumbu Z). Grafik ini divisualisasikan dalam bentuk permukaan berwarna, di mana warna menunjukkan nilai efisiensi dari biru (rendah) hingga merah (tinggi).

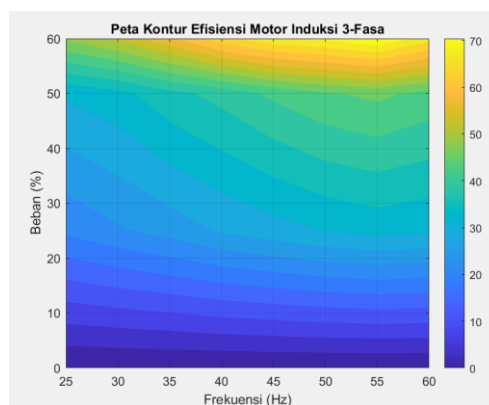


Gambar 5. Grafik Surface Plot Hubungan Frekuensi dan Pembebanan terhadap Efisiensi Motor

Berdasarkan hasil visualisasi MATLAB, dapat dilihat bahwa:

1. Efisiensi meningkat secara signifikan ketika frekuensi dinaikkan dari 25 Hz menuju 50 Hz.
2. Efisiensi juga meningkat seiring bertambahnya pembebanan dari 25% hingga 60%.
3. Nilai efisiensi maksimum terjadi pada area frekuensi 50-55 Hz dengan pembebanan 60%, yang menunjukkan kondisi motor bekerja mendekati titik operasi nominalnya.

Selain *surface plot*, visualisasi juga dilakukan dalam bentuk *contour plot* untuk melihat pola perubahan efisiensi dalam bidang dua dimensi. *Contour plot* memperlihatkan garis-garis dengan nilai efisiensi yang sama (*isoefficiency curves*) dalam kombinasi antara frekuensi dan pembebanan.



Gambar 6. Contour Plot Efisiensi Motor

Berdasarkan hasil grafik kontur, diperoleh pola sebagai berikut:

1. Area berwarna kuning gelap menunjukkan zona efisiensi tinggi ($\eta > 70\%$).

2. Area biru muda hingga hijau menunjukkan zona efisiensi sedang menuju rendah ($\eta = 50\text{--}70\%$).
3. Area biru tua menunjukkan zona efisiensi rendah ($\eta < 50\%$).

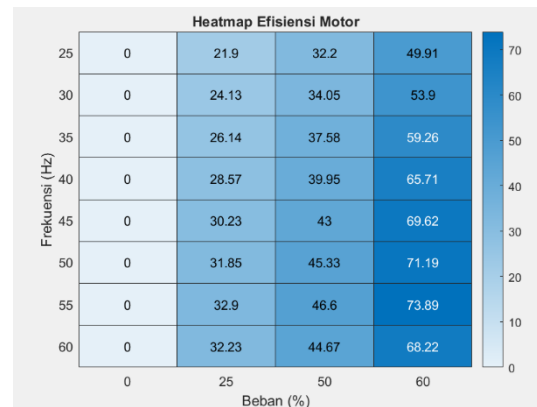
Dari hasil tersebut terlihat bahwa daerah operasi yang paling efisien berada di frekuensi 50–55 Hz dan pembebanan sebesar 60%. Sementara itu, pada frekuensi rendah dengan beban ringan (25%), efisiensi cenderung menurun karena proporsi rugi-rugi daya terhadap daya keluaran menjadi besar. Dari hasil kedua grafik di atas, dapat disimpulkan beberapa hal penting :

1. Efisiensi motor sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu frekuensi operasi dan pembebanan.
2. Peningkatan frekuensi menyebabkan torsi elektromagnetik yang lebih stabil dan slip yang lebih kecil, sehingga efisiensi meningkat.
3. Pada beban rendah, rugi-rugi magnetik dan mekanik menjadi dominan, menyebabkan efisiensi menurun meskipun frekuensi dinaikkan.

Dengan demikian, hasil visualisasi ini tidak hanya menjelaskan perilaku motor secara ilmiah, tetapi juga memberikan panduan teknis langsung untuk pengoperasian mesin embossing agar efisien, stabil, dan memiliki umur pakai lebih panjang.

Berbeda dengan *surface plot* yang divisualisasikan dalam bentuk tiga dimensi, heatmap menyajikan data dalam format matriks berwarna sehingga pola perubahan efisiensi dapat dilihat secara lebih sederhana, jelas, dan intuitif. Setiap warna pada heatmap merepresentasikan besaran efisiensi, dengan gradasi warna tertentu yang memudahkan identifikasi area efisiensi tinggi maupun rendah. Pada penelitian ini, nilai efisiensi hasil perhitungan disusun dalam bentuk matriks dengan sumbu horizontal sebagai variasi pembebanan (25%, 50%, 60%) dan sumbu vertikal sebagai variasi frekuensi (25–60 Hz). *Heatmap* kemudian dibuat

menggunakan MATLAB untuk memetakan nilai efisiensi pada setiap kombinasi frekuensi dan pembebanan.



Gambar 7. Heatmap Efisiensi Motor

Berdasarkan visualisasi *heatmap*, terlihat bahwa efisiensi motor tidak menyebar secara homogen pada seluruh area frekuensi dan beban. Warna yang lebih gelap (atau warna bernilai tinggi) cenderung muncul pada kombinasi frekuensi menengah hingga tinggi serta pembebanan mendekati nominal. Hal ini menunjukkan bahwa motor induksi bekerja pada kondisi paling efisien ketika motor menerima beban sedang hingga penuh dan frekuensi mendekati frekuensi kerja normalnya (50–55 Hz). Sebaliknya, kombinasi frekuensi rendah dan beban ringan memperlihatkan warna yang lebih terang, menandakan efisiensi rendah akibat dominasi rugi-rugi tetap pada kondisi ini.

Visualisasi heatmap ini memberikan dukungan tambahan terhadap hasil grafik *surface* dan *contour* sebelumnya. Selain itu, heatmap membantu mengidentifikasi pola efisiensi secara lebih cepat dan jelas, sehingga sangat bermanfaat dalam menentukan rentang frekuensi operasi yang layak diterapkan pada mesin embossing dalam kondisi beban tertentu. Dengan demikian, heatmap tidak hanya berfungsi sebagai alat ilustratif, tetapi juga sebagai dasar pendukung dalam penentuan keputusan teknis terkait pengaturan frekuensi motor melalui *VFD*.

Untuk memperkuat hasil analisis visual dan memastikan bahwa variasi frekuensi serta pembebanan benar-benar memberikan pengaruh signifikan terhadap efisiensi motor induksi 3-fasa, dilakukan analisis statistik menggunakan metode ANOVA (*Analysis of Variance*). Metode ini digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan rata-rata antar kelompok data, dalam hal ini antara variasi frekuensi dan tingkat pembebanan.

Rasio antara variasi antar kelompok terhadap variasi dalam kelompok dinyatakan dalam bentuk nilai F (*F-ratio*). Kriteria pengujian ANOVA ditentukan sebagai berikut:

1. Jika $p\text{-value} < 0,05$, maka faktor yang diuji berpengaruh signifikan terhadap variabel respon (efisiensi).
2. Jika $p\text{-value} > 0,05$, maka faktor tersebut tidak memiliki pengaruh signifikan.

Pada penelitian ini, analisis ANOVA dua arah dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB melalui fungsi *anova2()* dengan dua faktor bebas, yaitu frekuensi dan pembebanan. Berdasarkan hasil perhitungan MATLAB, diperoleh ringkasan hasil uji ANOVA dua arah sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Analisis ANOVA Dua Arah terhadap Efisiensi Motor

Sumber Variasi	Jumlah Kuadrat (<i>Sum of Squares</i>)	Derajat Bebas (DF)	Mean Square	F-Value	p-Value
Frekuensi	499.01	1	499.01	11.413	0,0020956
Pembebanan	16060	1	16060	367.31	$5,1953 \times 10^{-18}$
Error	1268	29	43.723	-	-

Dari tabel di atas terlihat bahwa:

1. Nilai $p\text{-value}$ untuk frekuensi = $0,0020956 < 0,05$, yang berarti frekuensi berpengaruh signifikan terhadap efisiensi.
2. Nilai $p\text{-value}$ untuk pembebanan = $5,1953 \times 10^{-18} < 0,05$, yang berarti pembebanan juga berpengaruh signifikan terhadap efisiensi.
3. Nilai F pembebanan (367.31) jauh lebih besar dibandingkan F frekuensi (11.413), yang menunjukkan bahwa pembebanan memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap efisiensi motor dibandingkan frekuensi.

Hasil penting dari uji statistic ANOVA ini adalah:

1. Frekuensi berpengaruh signifikan karena perubahan frekuensi mempengaruhi kecepatan sinkron motor, slip, dan rugi-rugi magnetisasi.
2. Pembebanan memiliki pengaruh paling dominan, karena besarnya beban menentukan proporsi rugi-rugi terhadap daya output. Pada beban

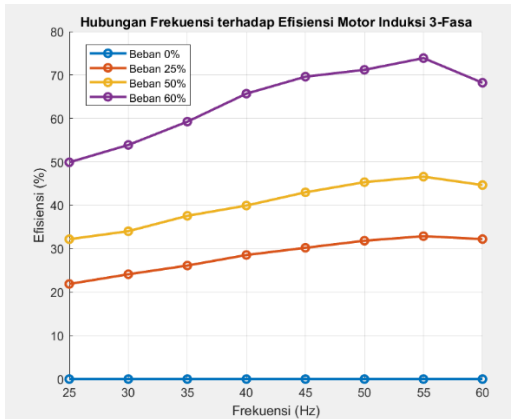
ringan, rugi-rugi tetap (seperti gesekan dan ventilasi) menjadi signifikan, sehingga efisiensi menurun.

3. Tidak ditemukan interaksi negatif antara frekuensi dan pembebanan, artinya peningkatan keduanya secara bersamaan memberikan efek positif terhadap efisiensi hingga mencapai titik optimum.

Dengan demikian, hasil uji ANOVA memperkuat hasil analisis visual sebelumnya bahwa kondisi kerja frekuensi tinggi (50–55 Hz) dan beban 60% atau gulungan penuh memberikan efisiensi tertinggi dan performa optimal bagi motor induksi pada mesin embossing.

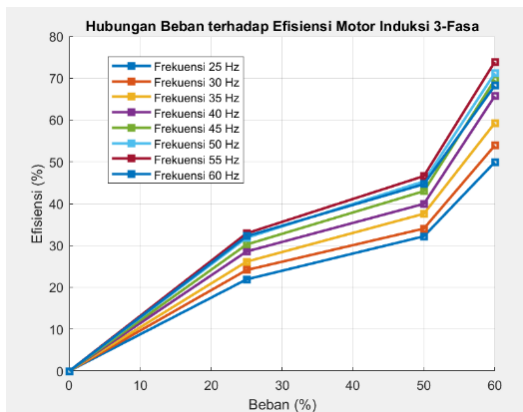
Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi secara umum menyebabkan kenaikan efisiensi motor. Pada frekuensi rendah (25–35 Hz), efisiensi motor cenderung menurun karena kecepatan putar motor berkurang, slip meningkat, dan rugi-rugi magnetisasi bertambah besar. Hal ini mengakibatkan sebagian besar daya listrik yang disuplai

terbuang sebagai panas pada stator dan rotor.



Gambar 8. Grafik Hubungan Frekuensi terhadap Efisiensi Motor

Hasil analisis menunjukkan bahwa tingkat pembebanan memiliki pengaruh paling dominan terhadap efisiensi motor. Pada beban ringan (25–50%), efisiensi rendah karena sebagian besar daya listrik digunakan untuk menutupi rugi-rugi tetap, seperti rugi tembaga, rugi inti besi, rugi gesekan, dan ventilasi.



Gambar 9. Grafik Hubungan Pembebanan terhadap Efisiensi Motor

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap variasi frekuensi dan pembebanan pada motor induksi tiga fasa yang digunakan pada mesin embossing di PT

Hisamitsu Pharma Indonesia, serta analisis data menggunakan metode statistik ANOVA, dapat disimpulkan bahwa kedua variabel yaitu frekuensi dan pembebanan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi motor induksi tiga fasa.

Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa nilai *p-value* untuk faktor frekuensi sebesar $0.0020956 (< 0,05)$ dan faktor pembebanan sebesar $5,1953 \times 10^{-18} (< 0,05)$, yang berarti keduanya memiliki pengaruh nyata terhadap perubahan efisiensi motor. Selain itu, nilai *F*-hitung pembebanan yaitu sebesar 367,31 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *F*-hitung frekuensi yaitu sebesar 11,413, yang menandakan bahwa pembebanan memberikan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan frekuensi terhadap efisiensi motor.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa efisiensi motor lebih sensitif terhadap perubahan beban dibandingkan terhadap perubahan frekuensi kerja. Secara umum, hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi motor meningkat seiring bertambahnya frekuensi hingga mencapai titik optimum pada kisaran 50–55 Hz, kemudian menurun pada frekuensi di atas 55 Hz akibat peningkatan rugi-rugi magnetisasi dan penurunan faktor daya.

Dari sisi pembebanan, efisiensi meningkat signifikan ketika motor bekerja pada beban sedang hingga penuh yaitu beban 60%, karena rugi-rugi tetap dapat terdistribusi lebih merata terhadap daya keluaran motor. Kondisi operasi paling efisien diperoleh pada kombinasi frekuensi 50–55 Hz dengan pembebanan 60%, di mana motor bekerja stabil, konsumsi daya relatif rendah, dan kehilangan energi minimal.

Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan frekuensi melalui *Variable Frequency Drive (VFD)* berperan penting dalam menjaga motor bekerja pada titik efisiensi optimum meskipun tingkat pembebanan bersifat dinamis. Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan bahwa

variasi frekuensi dan pembebanan memiliki pengaruh yang signifikan dan terukur terhadap efisiensi motor induksi tiga fasa, dan hasilnya dapat dijadikan referensi teknis dalam optimasi pengoperasian mesin embossing di lingkungan industri.

- [10] A. Santoso. "Pengaruh Variasi Frekuensi Terhadap Temperatur Motor Induksi Pada Sistem VFD". *Jurnal Teknik Elektro*, 8(2), pp.45. 2020.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya institusi dan unit kerja terkait yang telah menyediakan fasilitas, data, serta dukungan teknis selama proses penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada pihak pendukung pendanaan yang telah memungkinkan penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

V. RUJUKAN

- [1] Baharudin. "*Mesin Listrik dan Aplikasinya*". Makassar: Penerbit Universitas Hasanuddin. 2016.
- [2] R. Krishnan. "*Electric Motor Drives: Modeling, Analysis, and Control*". Prentice Hall. 2001.
- [3] M.E Elbuluk. "*Adjustable Speed Drives. IEEE Industry Applications Magazine*", 6(1), pp.6–13. 2000.
- [4] Nasar. "*Electric Machines and Electromechanics*". New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2001.
- [5] M.H Rashid. "*Power Electronics Handbook*". 4th ed. Academic Press. 2017.
- [6] R. Saidur. "A Review On Electrical Motors Energy Use And Energy Savings". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (3), 877–898. 2010.
- [7] A.E Fitzgerald, C. Kingsley, Jr. & S.D Umans. "*Electric Machinery*". 6th ed. McGraw-Hill. 2003.
- [8] Hisamitsu Pharma Indonesia, P.T. *Dokumentasi Mesin Produksi Embossing*. 2025
- [9] P.C Sen. "*Principles of Electric Machines and Power Electronics*". 3rd ed. Wiley. 2013.