

STUDI TRANSIEN MOTOR INDUKSI 3 FASA ROTOR SANGKAR KAPASITAS 2300V 700 HP PADA PT. PERTAMINA RU IV CILACAP

Busyairi Majid¹, Sapto Nisworo², Agung Trihasto³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Email: majidbusyairi2@gmail.com¹, saptonisworo@untidar.ac.id², agungtrihasto@gmail.com³

ABSTRAK

Motor induksi 3-fasa memiliki arus *start* yang tinggi mencapai 5-7 kali arus nominalnya. Sehingga motor induksi akan mengalami kondisi transien sebelum akhirnya mencapai keadaan tunak (*steady state*). Penelitian ini akan mengetahui kondisi transien yang dilihat dari perubahan nilai torsi, kecepatan, arus stator dan rotor pada motor induksi 3-fasa rotor sangkar saat *starting* dan diberi beban yang ditampilkan secara grafis menggunakan MATLAB-Simulink. Hasilnya menunjukkan saat motor induksi *distarting* dan pembebanan 25%, 50%, dan 100% terjadi tanggapan sinyal transien yang bervariasi sesuai dengan bertambahnya beban. Kondisi motor saat beban penuh mengalami kenaikan arus sebesar 112A dengan lama 0.4 detik, ini menunjukkan *inrush current* dan lama transien pada motor induksi 3-fasa rotor sangkar 2300V 700HP ini masih memenuhi standar yaitu *inrush current* tidak melebihi 189.83A dengan waktu transien dibawah 1 detik.

Kata kunci: motor induksi 3-fasa, *starting*, transien

ABSTRACT

The 3-phase induction motor has a high starting current reaching 5-7 times its nominal current. So that the induction motor will experience a transient state before finally reaching a steady state. This study will determine the transient conditions seen from changes in the value of torque, speed, stator and rotor currents on a caged 3-phase induction motor when starting and given a load that is displayed graphically using MATLAB-Simulink. The results show that when the induction motor is started and the loading is 25%, 50%, and 100% there is a transient signal that vibrates according to the increase in load. The condition of the motor at full load has an increase in current of 112A with a duration of 0.4 seconds, this shows the inrush current and transient length of the 2300V 700HP 3-phase induction motor still meets the standard, namely the inrush current does not exceed 189.83A with a transient time of under 1 second.

Keyword: motor induction 3-phase, *starting*, transient

I. PENDAHULUAN

Hampir 90% aplikasi motor pada industri menggunakan jenis motor induksi 3-fasa. Sama halnya pada PT. Pertamina RU IV Cilacap disemua sektor termasuk untuk menggerakkan pompa menggunakan motor induksi 3-fasa. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, dan harganya murah, serta perawatannya yang relatif mudah, dan andal. Sehingga motor induksi menggeser penggunaan motor DC di dunia industri. Sebagian motor induksi yang dayanya sama dengan atau lebih dari 1 HP biasanya berupa motor induksi 3-fasa [1].

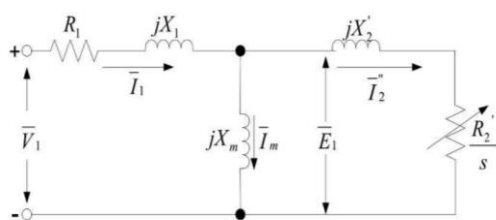
Saat beroperasi motor induksi akan mengalami perubahan perilaku yang disebabkan oleh sumber tegangan yang berubah, beban atau mesin itu sendiri sehingga mesin induksi akan beroperasi dalam kondisi transien sebelum mencapai keadaan mantap (*steady state*). Transien dapat dijumpai pada motor induksi mulai dijalankan (*starting*), pembebanan yang dilakukan secara mendadak, pemutusan beban dengan mendadak, dan terjadinya hubung singkat. Perubahan perilaku tersebut terlihat dari nilai arus dan torka pada motor induksi tersebut [2].

Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui berapa perubahan nilai torsi, kecepatan, arus rotor dan stator serta berapa lama kondisi transien pada motor induksi 3-fasa rotor sangkar saat pengoprasian dan berbeban 25%, 50% dan 100% sebelum akhirnya mencapai keadaan tunak (*steady state*) yang ditampilkan secara grafis menggunakan Simulink - MATLAB. Berdasarkan tanggapan yang divisualisasikan dapat dilakukan analisis untuk mengetahui kinerja motor induksi 3-fasa rotor sangkar tersebut. Hasil analisis yang telah dilakukan dapat dirancang alat-alat proteksi, sehingga terhindar dari resiko yang dapat mengganggu kerja sistem peralatan lain dan dapat digunakan sebagai landasan untuk operasi kerja motor induksi 3-fasa rotor sangkar pada PT. Pertamina RU IV Cilacap.

II. LANDASAN TEORI

Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas penggunaannya. Kerja motor induksi ini dimulai dari listrik mengalir ke stator yang kemudian akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini bergerak dengan kecepatan sinkron di area rotor. Arus rotor ini kemudian menghasilkan arus kedua, yang berusaha

melawan medan magnet stator, fenomena ini menyebabkan rotor berputar.



Rangka motor induksi 3-fasa rotor sangkar terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini yang menentukan kecepatan berputarnya medan magnet stator yang kemudian diinduksikan ke rotor. Semakin banyak jumlah kutub akan mengakibatkan kecilnya medan pada stator dan sebaliknya.

fasa, maka akan timbul medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron (Ns), ini tidak dapat diukur dengan alat ukur tetapi bisa dihitung secara teoritis menggunakan rumus sebagai berikut:

$$N_s = \frac{120f}{p} \text{ (RPM)}$$

Keterangan:

- Ns = kecepatan putaran medan stator (RPM);
- f = frekuensi jala-jalan (Hz);
- p = jumlah kutub.

Saat keadaan motor masih diam, medan putar pada stator akan memotong batang konduktor pada rotor. Mengakibatkan timbul tegangan induksi (GGL) pada kumparan rotor. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka GGL tersebut akan menghasilkan arus (I). Adanya I dalam kumparan rotor menimbulkan medan magnet pada rotor. Medan magnet rotor berinteraksi dengan medan putar stator yang menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel awal yang dihasilkan F cukup besar untuk memikul beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. Putaran rotor akan semakin meningkat hingga mendekati kecepatan sinkron. Perbedaan kecepatan sinkron medan putar stator (Ns) dengan kecepatan rotor (Nr) disebut Slip (S). Representasi matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} 100\%$$

Adanya fenomena tak serempak motor tak serempak ini disebut dengan motor asinkron. Harga Slip bisa berubah-ubah sesuai dengan beban yang dipikul yaitu dari 100% saat start sampai keadaan diam 0% (Nr=Ns).

Motor induksi merupakan mesin dengan konstruksi yang terdiri dari lilitan-lilitan dan inti besi yang memiliki resistansi dan induktansi. Motor induksi operasinya hampir sama dengan operasi

transformer, sehingga rangkaian ekuivalen motor induksi pada dasarnya juga sama dengan rangkaian ekuivalen transformer. Sedangkan untuk menganalisis motor dalam kondisi transien, perlu dibuat suatu pemodelan. Prinsip pemodelan adalah mengganti parameter rangkaian motor dengan rangkaian ekuivalen atau dengan cara mentransformasikan parameter rangkaian motor kedalam sistem rujukan tertentu. Pemodelan parameter rangkaian motor bertujuan untuk mengembangkan model matematis supaya perilaku motor dapat dianalisis dan disimulasikan.

\bar{V}_1 = tegangan terminal stator (volt)

\bar{I} = arus stator (ampere)

R1 = tahanan efektif stator (ohm)

\bar{E}_1 = gg lawan yang dihasilkan fluks celah udara resultan (volt)

jX1 = reaktansi bocor stator (ohm)

A. Arus

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan besar daya yang diperlukan motor induksi saat starting:

$$S_{start} = S_{rated} \times (\text{latter code factor})$$

Keterangan:

S_{start} = daya yang diperlukan untuk start motor (KVA)

S_{rated} = Daya nominal motor (HP)

$\text{latter code factor}$ = fator pengali (KVA/HP)

$$I_{start} = \frac{S_{start}}{\sqrt{3}V_{nominal}}$$

Keterangan:

I_{start} = arus starting motor (Ampere)

$V_{nominal}$ = tegangan nominal motor (volt)

Kemudian untuk menentukan tegangan motor saat starting motor induksi menggunakan persamaan berikut:

$$V_s = \frac{Z_m \times V_t}{\sqrt{(R_m + R_s)^2 + \sqrt{X_m + X_s^2}}}$$

Keterangan:

V_s = tegangan saat start

V_t = tegangan nominal motor

Z_m = impedansi motor

$R_m = Z_m \cdot \cos\phi_m$

$X_m = Z_m \cdot \sin\phi_m$

$\cos\phi_m$ = power faktor motor

R_s = Resistansi total antara motor sampai pada titik dimana tegangan dapat diasumsikan konstan

X_s = reaktansi total antara motor sampai pada titik dimana tegangan diasumsikan konstan.

B. Torsi

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan motor untuk memutar beban. Torsi merupakan kekuatan yang menghasilkan rotasi. Torsi berhubungan dengan kemampuan motor untuk mensuplai beban mekanik. Torsi (T) secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$T = \frac{P_m}{\omega_r}$$

Keterangan:

ω_r = kecepatan sudut (mekanik) motor

P_m = daya mekanik

Jika daya mekanik (P_m) dianggap konstan maka besarnya torsi tergantung dari kecepatan sudutnya (ω_r). Apabila putaran rotor dipercepat, maka torsi yang dihasilkan kecil, dan sebaliknya jika torsi besar maka kecepatannya lambat.

Pada beban penuh motor induksi berputar pada kecepatan (N_n). Saat beban mekanik meningkat, kecepatan motor induksi akan turun sampai torsi maksimum sama dengan torsi beban. Jika torsi beban melebihi (T_m), maka motor akan berhenti.

C. Transien

Perubahan arus dan tegangan diantara kondisi awal dengan kondisi akhir disebut transien [3]. Kejadian transien ini terjadi dalam waktu yang singkat dan magnitudnya sangat berpengaruh terhadap komponen-komponen yang ada dalam satu sistem tersebut. Gejala transien yang terjadi dalam waktu yang sangat singkat dapat mempengaruhi peralatan-peralatan yang ada disekitarnya. Saat terjadi gejala transien, peralatan-peralatan mengalami tekanan yang sangat besar berupa tegangan dan arus yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan tersebut [4].

Gejala transien pada motor dapat terjadi adanya perubahan beban mendadak yang menyebabkan mesin kehilangan sinkronisme karena gangguan tersebut. Transien juga dapat terjadi akibat adanya proses hubung singkat (*switching*), dan peralatan atau sirkuit tiba-tiba terputus dari suplai [5].

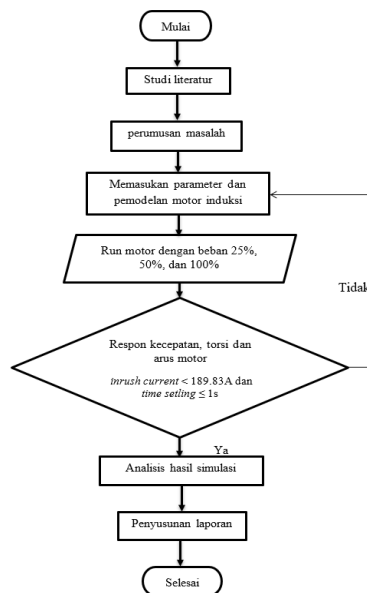
Perubahan arus, tegangan dan yang lain selama transien tidak berlangsung seketika (*instant*) dan membutuhkan waktu, walaupun perubahan ini terjadi secara cepat dalam hitungan milidetik atau bahkan mikrodetik. Perubahan yang sangat cepat ini bagaimanapun juga tidak dapat terjadi secara seketika karena proses transien dicapai melalui pertukaran energi yang biasanya tersimpan dalam medan magnet dari induktansi dan atau medan listrik dari kapasitansi. Perubahan energi tidak dapat terjadi secara mendadak karena akan menghasilkan daya yang tidak terbatas (daya adalah turunan dari energi, $P = \frac{dW}{dt}$), yang tidak mungkin terjadi dalam keadaan sesungguhnya.

Semua perubahan parameter saat transien yang disebut juga respon transien kemudian menghilang, dan akan muncul keadaan tunak baru. Dalam hal ini, transien dapat didefinisikan sebagai perilaku rangkaian diantara dua keadaan tunak yaitu keadaan tunak yang lama (sebelum perubahan) dan keadaan tunak yang baru.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui gejala transien pada motor induksi 3-fasa ini bersifat pengujian simulasi. Untuk menentukan parameter motor dilakukan pengujian motor dengan nol beban. Simulink sebagai

simulator yang menggunakan *software* Matlab. Dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini, ada beberapa tahapan yang harus dilakukan yang dapat dilihat pada gambar 3. 1 diagram alir berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir

Berikut ini merupakan *name plate* motor induksi yang diperlukan dalam proses penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3. 2 berikut:



Gambar 3. 2 Name plate motor induksi

Pemodelan

Berdasarkan data di atas dapat dicari persamaan matematis yang dibutuhkan untuk memodelkan motor induksi 3-fasa.

Menentukan nilai base

Mencari *Power faktor*

$$FLA = \frac{746 \times Hp}{E \times 1.732 \times Eff \times PF}$$

$$PF = \frac{746 \times Hp}{E \times 1.732 \times Eff \times FLA}$$

$$PF = \frac{746 \times 700}{2300 \times 1.732 \times 0.95 \times 149}$$

$$PF = \frac{563878.58}{522200}$$

$$PF = 0.926$$

$$\text{Base kVA} = 532824 \text{ VA}$$

Base kV

$$V_a = \frac{V_{nominal}}{\sqrt{3}}$$

$$V_a = \frac{2300 V}{\sqrt{3}}$$

$$V_a = 1327.9 V$$

Frekuensi base = 60 Hz

Menghitung arus stator tiap fasa

$$I_a = \frac{Daya\ semu}{\sqrt{3} \times V_{nominal}}$$

$$I_a = \frac{532824 VA}{\sqrt{3} \times 2300 V}$$

$$I_a = 133.75 A$$

Menentukan arus puncak stator

$$I_{a\ peak} = \sqrt{2} \frac{Daya\ semu}{\sqrt{3} \times V_a}$$

$$I_{a\ peak} = 189.151 A$$

Menentukan stator base impedansi (Z_{base})

$$Z_{base} = \frac{V_{phase}}{I_{phase}}$$

$$Z_{base} = \frac{1327.9 V}{133.75 A}$$

$$Z_{base} = 9.928\ ohm$$

Menentukan tegangan *per-phase peak*

$$V_{Phase\ peak} = \sqrt{2} \frac{V_{terminal}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{Phase\ peak} = 1876.66 V$$

Menghitung torsi motor

$$T = \frac{5250 \times Hp}{n}$$

$$T = \frac{5250 \times 700}{3576}$$

$$T = 1027.6 Nm$$

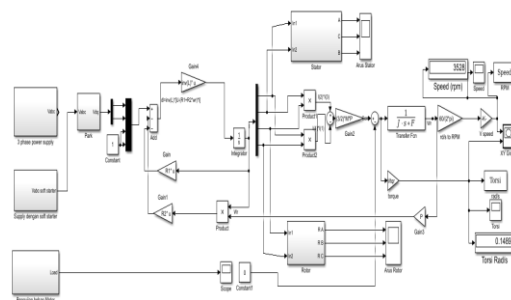
Beban maksimal yang dapat digerakkan motor adalah senilai 1027.6 Nm, dalam pengujian simulasi ini akan digunakan 3 beban yaitu 25% beban senilai 256.9 Nm, 50% beban senilai 512.8 dan yang terakhir 100% beban senilai dengan

1027.6 Nm sebagai parameter analisis transien pada motor.

Menentukan matrix transformasi

Agar mendapatkan model matematis motor induksi digunakan metoda Park d-q. Metoda ini mentransformasikan sistem 3 fasa menjadi 2 fasa, kemudian sistem 2 fasa ditransformasikan ke dalam sumbu d (direct) dan sumbu q (quadrature). Setelah ditransformasikan akan diperoleh persamaan dalam bentuk matrik.

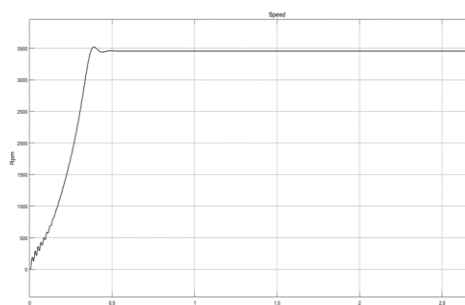
Berdasarkan data yang telah ada dan juga persamaan yang telah disusun maka, motor induksi 3-fasa 700 HP yang dimodelkan dengan simulink ditunjukkan



Gambar 3. 3 Model motor induksi 3-fasa

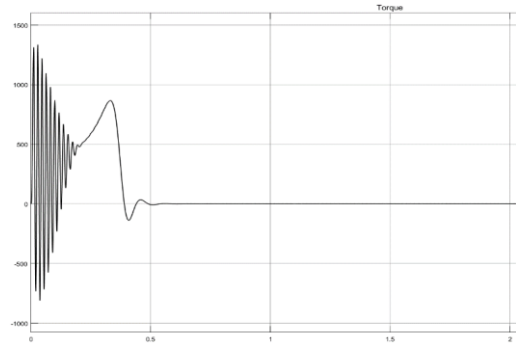
Hasil

Tanggapan yang digunakan sebagai analisis *starting* merupakan tanggapan yang diuji dengan 0% beban, hal ini bertujuan untuk melihat waktu yang diperlukan motor untuk mencapai nilai nominalnya. Motor yang dioperasikan tanpa beban akan memiliki nilai kecepatan (*speed*) yang besar dengan torsi yang kecil, serta *inrush current* diawal yang perlu diketahui nilainya untuk menganalisis transien yang terjadi pada motor saat *starting* dengan metode yang berbeda dimana yang menjadi tolak ukur adalah waktu transien dan *inrush current*

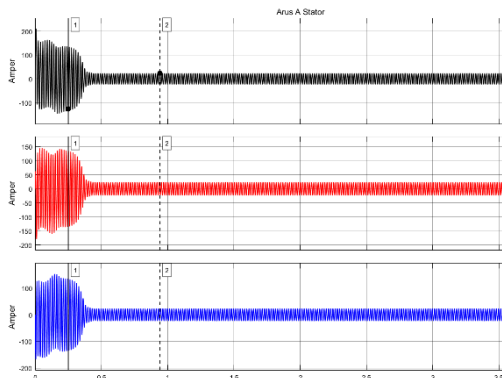


yang terjadi.

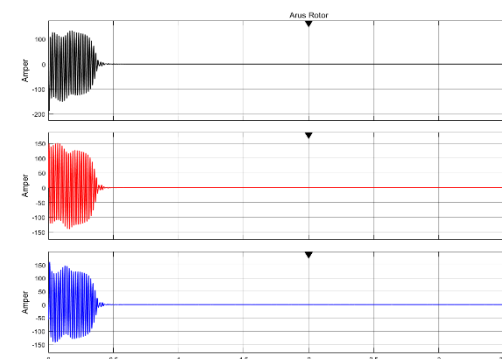
Gambar 3. 4 Tanggapan kecepatan



Gambar 3. 5 Tanggapan torsi



Gambar 3. 7 Tanggapan arus stator



Gambar 3. 8 Tanggapan arus rotor

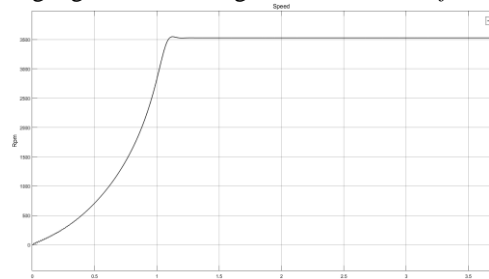
Kurva yang ditunjukkan pada gambar 3. 4 merupakan bentuk dari tanggapan kecepatan motor dalam keadaan *start* tanpa beban, sumbu vertikal menunjukkan perubahan rpm dan sumbu horizontal menunjukkan perubahan waktu. Motor mencapai kecepatan nominalnya pada waktu 0.5 detik dengan catu daya secara langsung.

Kurva yang ditunjukkan pada gambar 3. 5 merupakan bentuk dari tanggapan perubahan torsi motor dalam keadaan *start* tanpa beban, sumbu vertikal menunjukkan perubahan torsi dan sumbu horizontal menunjukkan perubahan waktu. Torsi menjadi bernilai 0 saat motor mencapai kecepatan nominalnya pada waktu 0.5 detik dengan catu daya secara langsung, hal ini dikarenakan semakin besar rpm motor maka nilai dari torsi akan semakin berkurang.

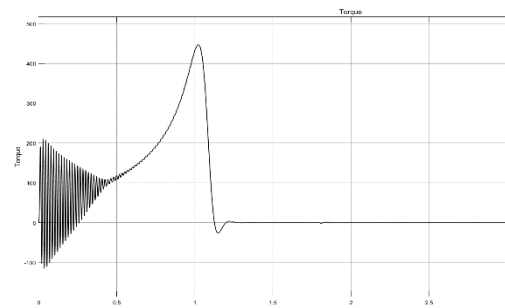
Berdasarkan tanggapan sinyal arus stator yang ditunjukkan pada Gambar 3. 6 terjadinya *inrush current* pada awal *starting* motor. Besarnya nilai *inrush current* mencapai 200 A yang melebihi batas arus puncak tiap fasa dari stator motor, walaupun hanya berlangsung kurang dari 0.5 detik yang kemudian arus stabil pada nilai 18.97 A. Arus menjadi stabil atau konstan setelah 0.5 detik, dimana waktu tersebut merupakan saat motor mencapai kecepatan nominalnya.

Berdasarkan tanggapan sinyal arus rotor yang ditunjukkan pada Gambar 3. 7 terjadinya *inrush current* pada awal *starting* motor. Besarnya nilai *inrush current* mencapai 150 A yang berlangsung dalam waktu 0.46 detik kemudian arus stabil pada nilai 0 A.

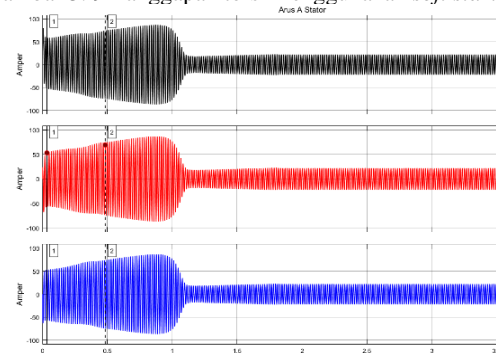
Hasil simulasi yang ditunjukkan pada grafik *torque*, *speed*, dan arus untuk melihat tanggapan *transient* setelah menggunakan pengendalian tegangan oleh rangkaian modul *soft starting*.



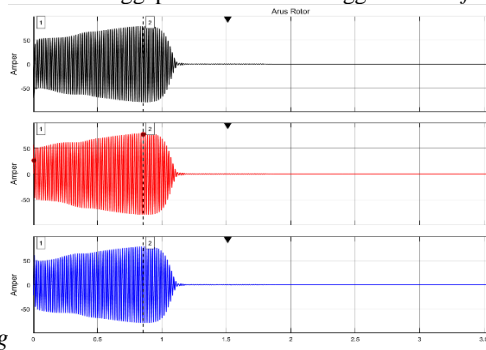
Gambar 3. 8 Tanggapan kecepatan menggunakan *soft starting*



Gambar 3. 9 Tanggapan torsi menggunakan *soft starting*



Gambar 3. 10 Tanggapan arus stator menggunakan *soft*



starting

Gambar 3. 11 Tanggapan arus rotor menggunakan *soft starting*

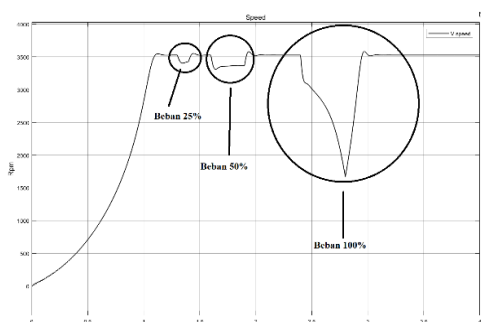
Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3. 8 merupakan bentuk dari tanggapan kecepatan motor dalam keadaan *start* dan tanpa beban, sumbu vertikal menunjukkan perubahan rpm dan sumbu horizontal menunjukkan perubahan waktu. Motor mencapai kecepatan nominalnya pada waktu 1.22 detik dengan catu daya secara bertahap dari sumber.

Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 merupakan bentuk dari tanggapan perubahan torsi motor dalam keadaan *start* dan tanpa beban, sumbu vertikal menunjukkan perubahan torsi dan sumbu horizontal menunjukkan perubahan waktu. Torsi menjadi bernilai 0 saat motor mencapai kecepatan nominalnya pada waktu 1.26 detik dengan catu daya secara bertahap dari *soft starting*.

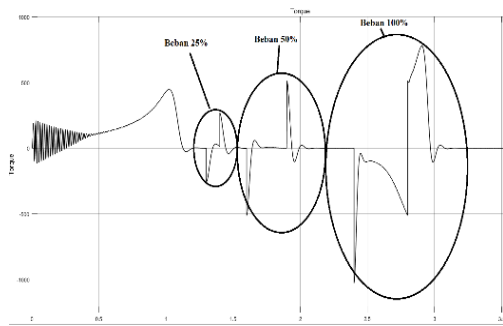
Berdasarkan tanggapan sinyal arus stator yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 terjadinya *inrush current* pada awal *starting* motor. Besarnya nilai *inrush current* mencapai 85.7 A yang berlangsung kurang dari 1.1 detik yang kemudian arus stabil pada nilai 20 A.

Berdasarkan tanggapan sinyal arus rotor yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 terjadinya *inrush current* pada awal *starting* motor dengan nilai *inrush current* mencapai 76.7 A yang berlangsung dalam waktu 1.12 detik kemudian arus stabil pada nilai 0 A.

Simulasi dengan Beban

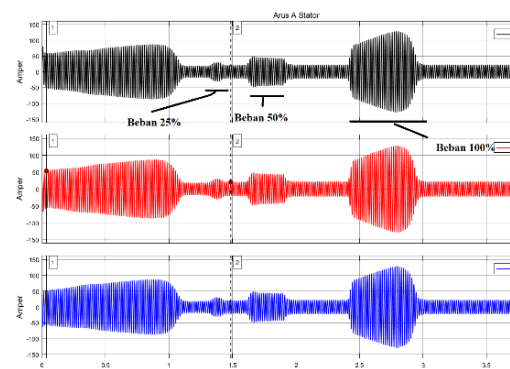


Gambar 3. 12 Tanggapan transien pada kecepatan motor

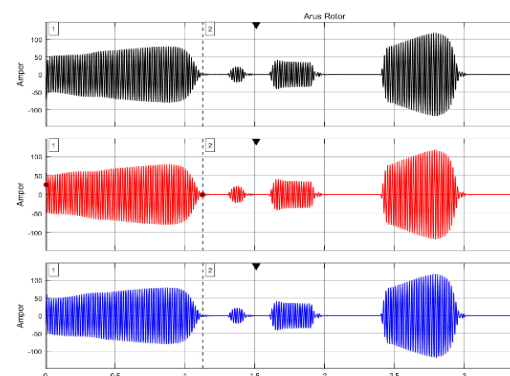


menggunakan pembebanan

Gambar 3. 13 Tanggapan transien pada torsi menggunakan beban



Gambar 3. 14 Tanggapan transien pada arus stator menggunakan beban



Gambar 3. 15 Tanggapan transien pada arus rotor menggunakan beban

Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3.12 merupakan bentuk dari tanggapan kecepatan motor dalam keadaan *start* tanpa beban kemudian dibebankan pada nilai 25%, 50% dan 100%. Waktu terjadinya transien waktu pembebanan cukup singkat sehingga respon terbilang cepat dengan sumbu vertikal menunjukkan perubahan rpm dan sumbu horizontal menunjukkan perubahan waktu. Motor berbeban terjadi penurunan kecepatan yang bervariasi sesuai dengan besarnya beban, pada beban 25% kecepatan motor turun menjadi 3400 Rpm, sedangkan pada beban 50% kecepatan motor turun menjadi 3300 Rpm dan pada beban 100%

kecepatan motor menurun menjadi 1721 Rpm. Waktu respon transien menunjukkan semakin besar beban maka semakin lama mencapai keadaan stabil.

Kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 merupakan bentuk dari tanggapan kecepatan motor dalam keadaan start tanpa beban kemudian dibebankan pada nilai 25%, 50% dan 100%. Sumbu vertikal menunjukkan perubahan torsi dan sumbu horisontal menunjukkan perubahan waktu. Tanggapan torsi saat motor dibebani terjadi penurunan kecepatan yang bervariasi sesuai dengan besarnya beban, penurunan kecepatan motor ini berbanding terbalik dengan torsi dimana tanggapan transien sinyal torsi mengalami kenaikan dengan pembebanan yang terjadi. Kenaikan yang terjadi pada beban 25% torsi motor naik menjadi 251 Nm, sedangkan pada beban 50% torsi motor naik menjadi 494 Nm dan pada beban 100% torsi motor naik menjadi 769 Nm. Waktu respon transien menunjukkan semakin besar beban maka semakin lama mencapai keadaan stabil. Hasil simulasi dapat dilihat saat motor dijalankan menggunakan metode *start* langsung (DOL) sampai motor dalam keadaan tunak, memiliki nilai torsi yang tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan *soft starting*.

Tanggapan arus stator dan rotor menunjukkan saat motor dibebani terjadi kenaikan arus yang bervariasi sesuai dengan besarnya beban, waktu yang transien menjadi semakin lama seiring dengan kenaikan jumlah beban. Standar untuk transien berbeda tergantung jenis dan spesifikasi motor tersebut, dalam motor yang digunakan ini *inrush current* dan transient dengan metode *start soft starting* menunjukkan tanggapan yang memenuhi standar yaitu *inrush current* tidak melebihi 189.83 A pada beban penuh dengan waktu transien dibawah 1 detik. Hasil simulasi juga dapat dilihat saat motor dijalankan menggunakan metode *start* langsung (DOL) sampai motor dalam keadaan tunak, memiliki nilai arus stator dan rotor yang tinggi jika dibandingkan dengan menggunakan *soft starting*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisis data transien motor induksi 3-fasa rotor sangkar yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, tanggapan transien pada kecepatan saat *starting* dan pembebanan 25%, 50%, dan 100% semakin beban bertambah kecepatan turun dan semakin beban bertambah maka semakin lama mencapai keadaan stabil. Tanggapan transien pada torsi saat *starting* dan pembebanan 25%, 50%, dan 100% semakin beban bertambah torsi motor mengalami kenaikan dan semakin beban bertambah semakin lama motor mencapai keadaan stabil. Tanggapan transien arus stator dan rotor saat *starting* dan pembebanan 25%, 50%, dan 100% terjadi kenaikan arus yang bervariasi sesuai dengan besarnya beban, waktu transien menjadi semakin lama seiring bertambahnya beban. Kondisi motor saat beban penuh atau 100% mengalami kenaikan arus sebesar 112A dengan lama 0.4 detik, itu menunjukkan *inrush current* dan transien pada motor induksi 3-fasa rotor sangkar 2300V 700HP ini masih memenuhi standar yaitu *inrush current* tidak melebihi 189.83 A pada beban penuh dengan waktu transien dibawah 1 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans, S. D., & James, B. (2003). "Mesin-mesin Listrik" (Edisi Keempat). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [2] Ahyanuardi, 2008, *Pemodelan Perilaku Dinamik Motor Induksi Tiga Fasa*, No. 1, SAINSTEK Vol. XI, UNP.
- [3] Theraja, B. L., dan Theraja, A. K., 2005, *Electrical Technology*, S. Chand & Company Ltd, New Delhi.
- [4] Prayitno, A., A., Suhendar., dan Herudin. 2013. Analisis Arus dan Tegangan lebih Transien. *Jurnal Teknik Elektro*. ISSN 2301-4652 Vol 2, No 1. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [5] Sen, Paresh Chandra. *Principles of electric machines and power electronics*. John Wiley & Sons, 200.