

STUDI PENGARUH PEMASANGAN *SOFT STATER* MOTOR INDUKSI TIGA PHASA PADA *TISU MACHINE* DI PT. PINDO DELI PERAWANG

Hendri Naldi¹, Elvira Zondra^{2*}, Hazra Yuwendius³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

Jl. Yos Sudarso Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email : kingryen86@gmail.com, elviraz@unilak.ac.id, hazra_yuwendius@unilak.ac.id

ABSTRAK

Motor induksi yang langsung dihidupkan tanpa menggunakan metode-metode pengasutan akan menarik arus 5 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan akan menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus yang besar akan mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga dapat mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran tersebut. Untuk motor yang berdaya besar khususnya motor induksi tiga fasa akan membutuhkan arus *starting* yang besar seiring dengan motor yang berdaya besar, sehingga dengan daya motor dengan kapasitas besar dari 22kW tidak dianjurkan untuk menghidupkan motor secara langsung tanpa menggunakan metode-metode pengasutan. Pengaruh pemasangan *Soft Starter* dapat dilihat dari karakteristik arus dan torsi *starting* yang dihasilkan motor induksi sebelum dan sesudah pemasangan, dari hasil perhitungan menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) diketahui nilai *starting* arus *line* (*inrush*) motor adalah sebesar 4,266 kA atau sebesar 7,4 kali arus nominal motor, sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter*, nilai *starting* arus *line* (*inrush*) motor adalah sebesar 2238,23 Amp atau sebesar 3,9 kali arus nominal motor. Pada saat menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) nilai arus *starting* motor adalah sebesar 4507,06 Amp, sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter* nilai arus *starting* motor adalah sebesar 2253,49 Amp. Nilai Torsi *starting* elektromagnetik motor dengan menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) adalah sebesar 8095,85 Nm, sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter* Nilai Torsi *starting* elektromagnetik motor adalah sebesar 2023,89 Nm. Nilai Torsi *starting* mekanik motor dengan menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) adalah sebesar 4851,2 Nm, sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter* Nilai Torsi *starting* mekanik motor adalah sebesar 887,76 Nm

Kata kunci : Motor induksi Tiga fasa, Pengasutan, *Soft Starter*, *Direct Online* (DOL).

ABSTRACT

*An induction motor that is turned on immediately without using any starting methods will draw 5 to 7 times the full load current and will produce a torque of 1,5 to 2,5 times the full load torque. A large current will cause a voltage drop on the line so that it can interfere with other equipment connected to the line. For high-power motors, especially three-phase induction motors, it will require a large current starting along with a high-powered motor, so with a motor power with a large capacity of 22 kW it is not recommended to start the motor directly without using starting methods. The effect of installing a *Soft Starter* can be seen from the characteristics of the current and torque starting generated by the induction motor before and after installation, from the results of calculations using the method, it is *Dirrect Online* (DOL) known that the starting current line (*inrush*) value of the motor is 4,266 kA or 7,4 times. Motor nominal current, whereas when using the *Soft Starter*, value of the starting the current line (*inrush*) amounted to 2238,23 Amp motors or by 3,9 times the nominal current of the motor. When using themethod, *Dirrect Online* (DOL) the current value starting motor was 4507,06 Amp, while when using the *Soft Starter* the current value starting motor was 2253,49 Amp. The torque value of the starting electromagnetic motor using the method *Dirrect Online* (DOL) is 8095,85 Nm, while when using a *Soft Starter* the torque value starting electromagnetic motor is 2023,89 Nm. The torque value starting mechanical of the motor using the *Dirrect Online* (DOL) method was 4851,2 Nm, while when using a soft starter, the motor starting torque value was 887,76 Nm.*

Keywords: *Motor Induction Three phase, Shrinkage, Soft Starter, Direct Online (DOL).*

1. PENDAHULUAN

Penghasutan motor dengan tegangan penuh menyebabkan transisi arus dari nol ke nilai arus rotor ditahan / *Locked Rotor Current* (LRC) pada saat penutupan kontaktor. LRC biasanya antara lima sampai sepuluh kali arus beban penuh / *Full Load Current* (FLC) motor [1]–[3]. Transien arus naik

dengan cepat dan menginduksi transien tegangan suplai yang dapat menyebabkan defleksi tegangan enam hingga sembilan kali lipat dari yang diharapkan dalam kondisi beban penuh. Penghasutan dengan tegangan penuh juga menyebabkan transien torsi dari nol ke nilai torsi rotor terkunci / *Locked Roter Torque* (LRT) pada saat penutupan kontaktor. Penerapan torsi sesaat menyebabkan kejutan mekanis yang dapat

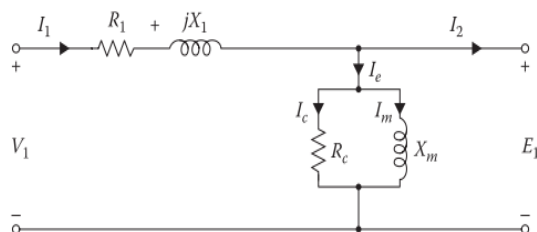
mengakibatkan kerusakan pada motor, sistem penggerak, dan mesin. Kerusakan yang diakibatkan oleh torsi transien lebih parah daripada kerusakan akibat amplitudo torsi maksimum. sehingga dibutuhkan adanya berbagai macam metode-metode pengasutan. Macam-macam metode pengasutan pada motor induksi diantaranya yaitu metode *Dirrect Online* (DOL), *Star-Delta*, *Autotransformer*, *Soft Starting*, dan *Inverter* [4]–[9].

Metode *Soft Starting* (pengasutan lembut) yaitu pengaturan untuk motor induksi agar sewaktu motor dijalankan tidak mengakibatkan arus *start* yang besar dan memperhalus *start* dari motor tersebut, diharapkan tegangan dan arus dari sumber tenaga dapat mengalir masuk ke dalam motor secara bertahap, sehingga motor tidak menarik arus *starting* yang terlalu besar [10]–[12]. *Soft Starter* bertujuan untuk mendapatkan *start* dan *stop* yang terkendali dan terproteksi dengan sehalus mungkin lalu mencapai kecepatan nominal yang konstan pada aplikasi dengan torsi awal atau *start* rendah sehingga diharapkan motor akan aman dan berumur lebih lama [13]–[15].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemasangan dilihat dari karakteristik yang dihasilkan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) dan *Soft Starter*, menghitung nilai besaran karakteristik yang dihasilkan motor induksi tiga fasa dengan menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) dan *Soft Starter* berdasarkan nilai arus dan torsi.

2. METODE PENELITIAN

Dengan mengasumsikan bahwa motor induksi jenis rotor gulungan tiga fasa memiliki koneksi wye yang seimbang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 Jika arus mengalir baik di belitan stator maupun rotor, akan ada medan magnet yang berputar di celah udara. Karena medan magnet ini berputar dengan kecepatan yang sama di celah udara maka medan magnet tersebut akan menghasilkan medan celah udara yang berputar dengan kecepatan sinkron. Karena medan celah udara ini, tegangan akan diinduksikan pada belitan stator pada frekuensi suplai f_1 dan pada belitan rotor pada frekuensi slip f_2 . Seperti transformator polifasa yang seimbang, hanya satu fasa dari model rangkaian yang perlu dipertimbangkan.



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen stator

Gambar 1 menunjukkan rangkaian ekuivalen stator. Tegangan terminal stator berbeda dari tegangan yang diinduksi (yaitu, *counter-emf*) pada belitan stator karena penurunan tegangan pada stator akibat kebocoran impedansi, yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut [16] :

$$V_1 = E_1 + I_1 \times (R_1 + jX_1) \tag{1}$$

Keterangan :

V_1 =Tegangan terminal perphasa (V)

E_1 =Tegangan induktansi perphasa pada belitan stator (V)

I_1 =Arus Stator (A)

R_1 =Resistansi stator perphasa (Ω)

X_1 =Kebocoran Reaktansi stator perphasa (H)

Sehingga dapat dengan mudah mengamati bahwa rangkaian ekuivalen belitan stator sama dengan rangkaian ekuivalen belitan transformator. Seperti halnya pada model transformator, arus stator (I_1) dapat dipisah menjadi dua komponen, yaitu komponen beban (I_2) dan komponen eksitasi (I_e). Di sini, komponen beban I_2 menghasilkan ggl yang persis melawan ggl arus rotor. Komponen eksitasi yaitu arus stator tambahan yang diperlukan untuk menciptakan fluks celah udara yang dihasilkan. Dalam model cabang shunt, R_c dan X_m masing-masing mewakili resistansi rugi-inti stator perphasa dan reaktansi magnetisasi stator perphasa, seperti dalam teori transformator. Namun, besaran parameternya sangat berbeda. Misalnya, mesin induksi jauh lebih besar karena adanya celah udara. besaran parameternya bisa mencapai 30% -50% dari arus pengenal dalam mesin induksi dibandingkan dengan transformator yang yaitu sekitar 1-5%. Karena celah udara, nilai reaktansi magnetisasi (X_m) relatif kecil dibandingkan dengan transformator; tetapi reaktansi bocor (X_1) lebih besar dari reaktansi magnetisasi dibandingkan transformator. Alasan lainnya adalah karena belitan stator dan rotor didistribusikan di sepanjang pinggiran celah udara berbeda dengan transformator yang dipusatkan pada inti seperti pada transformator.

Model Rangkaian Rotor

Gambar 2 menunjukkan rangkaian rotor aktual dari motor induksi yang beroperasi di bawah beban pada slip (s).

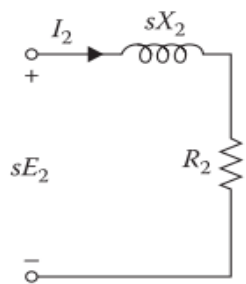
$$I_2 = \frac{s \times E_2}{R_2 + j(s \times X_2)} \tag{2}$$

Keterangan :

E_2 =Tegangan induktansi perphasa rotor dalam keadaan diam (V)

R_2 =Resistansi rangkaian rotor perphasa (Ω)

X_1 =Kebocoran Reaktansi induktif perphasa (H)



Gambar 2. Rangkaian rotor aktual

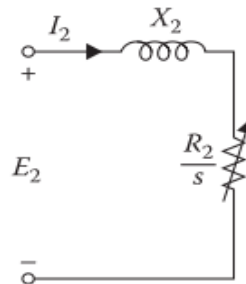
Gambar 2 mengilustrasikan bahwa I_2 adalah arus frekuensi-slip yang dihasilkan oleh ggl $s.E_2$ yang diinduksikan oleh frekuensi slip yang bekerja di rangkaian rotor dengan impedansi per fasa $R_2 + j(sX_2)$. Oleh karena itu, rugi-rugi total tembaga rotor dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [16] :

$$P_{2-cu} = 3 \times I_2^2 \times R_2 \quad (3)$$

Persamaan (3) dapat ditulis ulang dengan membagi pembilang dan penyebutnya dengan slip (s) sehingga :

$$I_2 = \frac{s \times E_2}{\left(\frac{R_2}{s}\right) + jX_2} \quad (4)$$

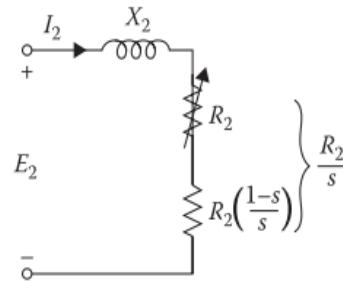
Persamaan (4) menunjukkan rangkaian ekuivalen rotor yang ditunjukkan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. rangkaian ekuivalen rotor

Karena mesin induksi dijalankan pada slip rendah, maka daya yang dihasilkan seperti pada Gambar 3 jauh lebih besar, Rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan oleh Gambar 3 berada pada frekuensi stator yang merupakan rangkaian ekuivalen rotor seperti yang terlihat dari stator. Jadi, daya yang ditentukan dengan menggunakan Persamaan adalah daya yang ditransfer melintasi celah udara (P_g) dari stator ke rotor yang meliputi rugi tembaga rotor serta daya mekanik yang dikembangkan sesuai dengan persamaan berikut [16] :

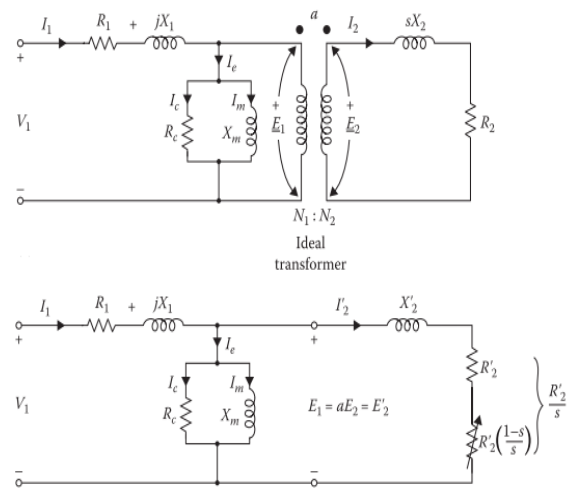
$$P = P_g = 3 \times I_2^2 \left(\frac{R_2}{2}\right) = 3 \times I_2^2 \left(R_2 \times \frac{R_2}{s} \times (1-s)\right) \quad (5)$$



Gambar 4. Rangkaian ekuivalen rotor yang dimodifikasi

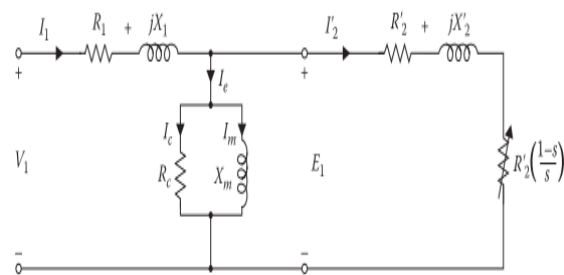
Model Rangkaian Ekuivalen Lengkap

Jika rangkaian ekuivalen stator seperti Gambar 1, rangkaian ekuivalen rotor seperti Gambar 3 dan rangkaian ekuivalen rotor yang dimodifikasi seperti Gambar 4 berada pada frekuensi jalur yang sama f_1 , rangkaian ekuivalen dapat digabungkan bersama. Namun, jika belitan pada belitan stator dan belitan rotor berbeda, maka E_1 dan E_2 bisa berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Karena itu, rasio putaran ($a=N_1/N_2$) perlu diperhitungkan.



Gambar 5. Model transformator motor induksi

Gambar 6 berikut menunjukkan bentuk alternatif dari rangkaian ekuivalen motor induksi.



Gambar 6. Bentuk alternatif dari rangkaian ekuivalen

Perhatikan bahwa bentuk rangkaian ekuivalen seperti itu identik dengan transformator dua belitan. Perhatikan juga bahwa notasi prima digunakan untuk menunjukkan besaran rotor yang mengacu pada stator sehingga [16]:

$$R'_2 = \alpha^2 \times R_2 \tag{6}$$

$$E_1 = \alpha \times E_2 = E'_2 \tag{7}$$

$$R'_2 = \alpha^2 \times R_2 \tag{8}$$

$$X'_2 = \alpha^2 \times X_2 \tag{9}$$

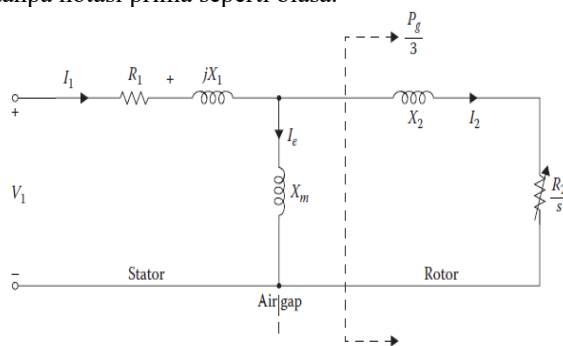
$$R_2 = \left(\frac{1-s}{s}\right) = \alpha^2 \times R_2 \left(\frac{1-s}{s}\right) \tag{10}$$

Dimana slip (s) adalah

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \tag{11}$$

dengan s: slip dan ω_s , ω_r : kecepatan putar stator, rotor [17]

Karena adanya celah udara di mesin induksi, impedansi magnetisasi rendah dan sehingga arus penggerakannya tinggi (sekitar 30% -50% dari arus beban penuh). Reaktansi kebocoran X_1 juga tinggi. Rangkaian ekuivalen mesin induksi dapat disederhanakan dengan menghilangkan resistansi R_c dan menggabungkan rugi inti yang sesuai dengan rugi gesekan dan belitan. Oleh karena itu, jika rugi inti diasumsikan konstan, maka rangkaian ekuivalen seperti itu harus digunakan. Perhatikan bahwa semua besaran rotor yang mengacu pada stator ditampilkan tanpa notasi prima seperti biasa.



Gambar 7. Rangkaian ekuivalen dengan resistor rugi inti dihilangkan

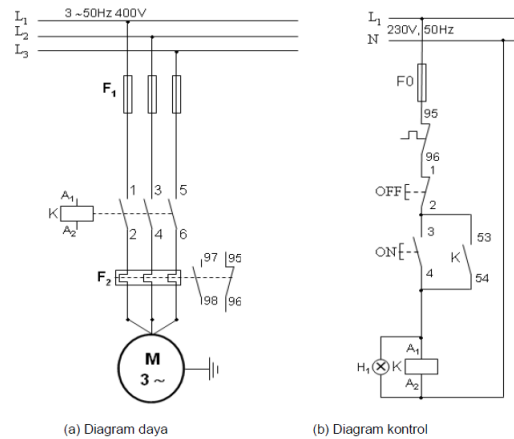
Pengasutan Motor Induksi

Masalah pengasutan motor induksi yang umum menjadi perhatian adalah pada motor induksi tiga fasa yang memiliki kapasitas yang besar. Pada waktu mengasut (*start*) motor induksi kapasitas besar, besar arus listriknya cenderung melonjak

dengan tinggi sekali yang biasa dikenal dengan *Inrush Current*, walaupun memakan waktu yang cukup singkat namun kejadian tersebut akan menimbulkan guncangan-guncangan dan sangat mengganggu stabilitas jaringan listrik secara keseluruhan, atau dapat pula menyebabkan pemutus daya terlepas (*trip*) [18].

Rangkaian Pengasutan Dirrect Online (DOL)

Rangkaian *Dirrect Online* (DOL) memiliki fungsi untuk melakukan *start* dan juga *stop* motor dengan menggunakan sebuah rangkaian kontrol. *Stater module* pada *Motor Control Centre* (MCC) sering ditemukan di bidang industri. Ada dua rangkaian yang bisa ditemukan di rangkaian *Dirrect Online* (DOL) tersebut, yaitu rangkaian daya dan rangkaian kontrol. Rangkaian daya mengalirkan daya dari sumber tegangan ke beban motor, sedangkan rangkaian kontrol mengatur aliran daya dan tegangan tersebut. Rangkaian kontrol menggunakan kontaktor, yang memutuskan dan mengalirkan daya di rangkaian tersebut dari sumber tegangan ke motor. Kondisi *Normally Open* (NO) sering digunakan di rangkaian tersebut [19]. Rangkaian daya dan rangkaian kontrol penghasutan motor induksi secara DOL dapat dilihat pada Gambar 8 berikut :



Gambar 8. Rangkaian Daya dan rangkaian kontrol penghasutan DOL

Sehingga daya *starting* untuk motor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut [20]:

$$S_{start} = \text{Rate Horse Power} \times \text{Code Letter Factor} \tag{12}$$

Dimana

$$1 \text{ Horse Power} = 0,746 \text{ kW} \tag{13}$$

Dan besarnya arus *starting* adalah :

$$I_L = \frac{S_{start}}{\sqrt{3} \times V_t} \tag{14}$$

Keterangan :

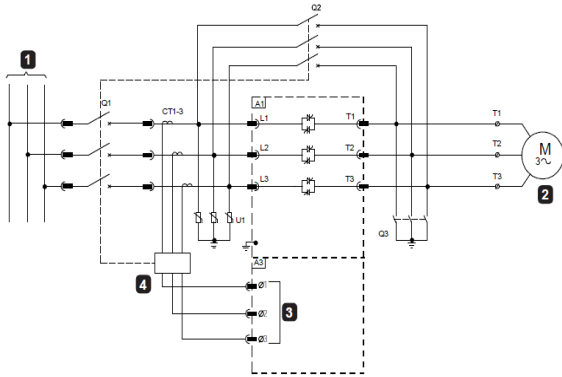
I_L = Arus line saat *start* motor (A)

S_{start} = Daya reaktif motor saat *start* (kVA)

V_t = Tegangan terminal motor (V)

Rangkaian Penguatan Soft Starter

Dimana Q1 adalah sudut penyalan *Thyristor* dan Q2 adalah sudut konduksi. *Soft Starter* yang dirancang untuk mengontrol tegangan motor disebut sebagai pengontrol *loop* terbuka. *Soft Starter* yang dirancang untuk mengontrol arus motor disebut sebagai pengontrol *loop* tertutup [21].



Gambar 9. Rangkaian daya *soft starter* dengan *Circuit Breaker*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegunaan *Tissue* saat ini memang cukup beragam, meskipun pada prinsipnya tak banyak orang yang tau bagaimana *tissue* itu dibuat. *Tissue* merupakan salah satu jenis paper yang dewasa ini menjadi salah satu produk yang sangat diminati dan terus-menerus mengalami peningkatan dari segi permintaan dan proses produksinya. Hal ini dikarenakan keberadaan produk *Tissue* saat ini dirasa cukup efektif selain karena penggunaannya lebih praktis juga mudah didapat.

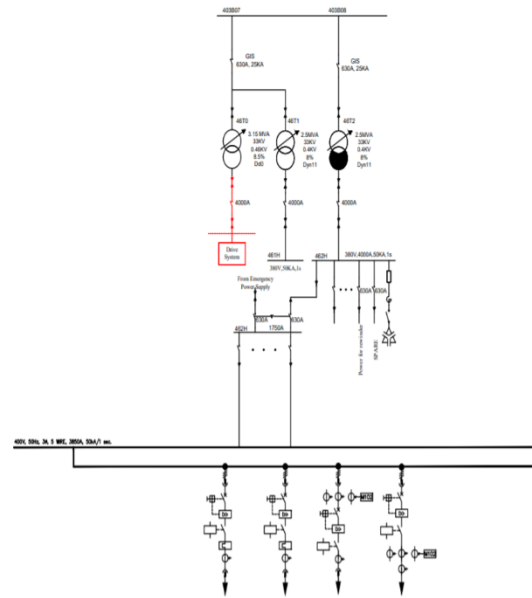
Sistem Kelistrikan *Tissue Machine Unit 4*

Sistem kelistrikan pada *Tissue Machine Unit 4* (TM-4) di PT. Pindo Deli Perawang disuplai dari tiga buah Transformator yang terdiri dari satu buah Transformator untuk *Drive* motor area *Machine* (46T0), satu buah Transformator untuk *Feeder* lampu- lampu penerangan (46T1) dan satu buah Transformator lagi untuk motor-motor pendukung lainnya (46T2) seperti Gambar 10.

Perhitungan Arus *Inrush* Motor Menggunakan Metode DOL

Berdasarkan data dari *nameplate* dan katalog motor diketahui bahwa kapasitas motor adalah 315 kW untuk mengetahui daya reaktif motor maka nilai kW terlebih dahulu dikonversikan dalam satuan *Horse Power* (HP) dengan menggunakan persamaan (14) maka didapat nilai perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} HP \text{ Motor} &= \frac{kW}{0,746} = \frac{315}{0,746} \\ &= 422,252 \text{ HP} \end{aligned}$$



Gambar 10. *One Line Diagram* pada sistem kelistrikan *Tissue Machine Unit 4* (TM-4) PT. Pindo Deli Perawang

Berdasarkan dari katalog motor diketahui bahwa *code letter factor* adalah G dengan nilai 7. Dengan menggunakan persamaan (12) maka besarnya daya reaktif *start* motor adalah :

$$\begin{aligned} S_{\text{start}} &= \text{Rate Hourse Power} \times \text{Code Letter Factor} \\ &= 422,25 \times 7 \\ &= 2955,75 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Maka besarnya arus *Inrush* motor (I_{Inrush}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (14) dengan nilai perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_{\text{Inrush}} &= \frac{S_{\text{start}}}{\sqrt{3} \times V_t} \\ &= \frac{2955.750}{\sqrt{3} \times 400} \\ &= 4266,25 \text{ A} = 4,26 \text{ kA} \end{aligned}$$

Perhitungan Arus *Inrush* Motor Menggunakan *Soft Starter*

Data parameter diketahui bahwa nilai *Locked Rotor Current* adalah 700% dari nilai arus nominal ($7 \times I_{\text{nom}}$) dengan asumsi torsi *starting* minimum adalah 50% dari torsi *start* mekanik ($T_{\text{str-mech}}$) atau :

$$T_{\text{str-min}} = 50\% \times T_{\text{str-mech}}$$

maka untuk melakukan perhitungan estimasi arus *Inrush* motor pada saat menggunakan *Soft Starter* adalah dengan menggunakan persentase Torsi Rotor Ditahan (*Locked Rotor Torque*) dengan menggunakan persamaan (14) didapat perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{Inrush-str} &= \left(\%LRC \times \sqrt{\frac{\%T_{str-min}}{\%LRT}} \right) \times I_{nom} \\
 &= \left(700\% \times \sqrt{\frac{50\%}{160\%}} \right) \times 572 \\
 &= (700 \times 0,559) \times 572 = 391,3\% \times 572 \\
 &= 2238,23 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Arus Start Pada Motor Menggunakan Soft Starter

Dengan menggunakan Theorema Thevenin, maka besarnya daya dan torsi pada saat menggunakan *Soft Starter* dapat dihitung dengan terlebih dahulu menghitung tegangan Thevenin dimana nilai tegangan (V_1) adalah tegangan parameter yang sudah diatur pada modul *Soft Starter* yaitu sebesar 50% dari tegangan nominal atau :

$$V_1 = V_{set} = 50\% \times 400 \text{ V} = 200 \text{ V}$$

Maka nilai tegangan Thevenin motor dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah dengan nilai perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{th} &= V_1 \times \left(\frac{X_m}{X_1 + X_m} \right) \\
 &= 200 \times \left(\frac{0,55}{0,0381 + 0,55} \right) = 200 \times \left(\frac{0,55}{0,5881} \right) \\
 &= 187,04 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Besarnya nilai arus *starting* motor untuk menggerakkan motor dari keadaan diam sampai beroperasi dengan menggunakan metode *Soft Starter* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dengan nilai tegangan *starting* yang sudah disetting sesuai dengan data parameter *Soft Starter* yaitu sebesar 50% dari tegangan nominal (200V) maka hasil perhitungan untuk arus *starting* motor adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_{str-STS} &= \frac{V_{th}}{\sqrt{(R_{th} + R_2)^2 + (X_{th} + X_2)^2}} \\
 &= \frac{187,04}{\sqrt{(0,0166 + 0,0167)^2 + (0,0381 + 0,0381)^2}} \\
 &= \frac{187,04}{\sqrt{(0,0333)^2 + (0,0762)^2}} = \frac{187,04}{\sqrt{0,0069}} = \frac{187,04}{0,083} \\
 &= 2253,49 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Torsi Pada Saat Start Motor Menggunakan Soft Starter

Karena saat *start-up* slip adalah satu kesatuan, maka torsi awal motor dengan menggunakan *Soft Starter* dengan persamaan dibawah adalah :

$$\begin{aligned}
 T_{start} &= \frac{3 \times V_{th}^2 \times R_2}{\omega_s \times [(R_{th} + R_2)^2 + (X_{th} + X_2)^2]} \\
 &= \frac{3 \times (187,04)^2 \times 0,0167}{125,6 \times [(0,0166 + 0,0167)^2 + (0,0381 + 0,0381)^2]} \\
 &= \frac{1.752,69}{125,6 \times [0,0011 + 0,0058]} = \frac{1752,69}{0,866} \\
 &= 2023,89 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Akibat adanya perubahan arus *starting* line (I_{Inrush}) pada parameter modul *Soft Starter*, Torsi *start* mekanik ($T_{str-mech}$) motor akan ikut mengalami perubahan. Besarnya nilai perubahan Torsi *start* mekanik ($T_{str-mech}$) motor dapat dihitung berdasarkan data torsi motor pada saat uji *Over Load Torsi* dan menggunakan persamaan dengan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 T_{str-mech} &= \left(\%LRT \times \left(\frac{\%I_{Inrush}}{\%I_M} \right)^2 \right) \times T_{nom} \\
 &= \left(160\% \times \left(\frac{300\%}{700\%} \right)^2 \right) \times 3032 \\
 &= (160 \times 0,183) \times 3032 \\
 &= 29,28\% \times 3032 \\
 &= 887,76 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Tabel Nilai Perbandingan Hasil Perhitungan

Tabel 1 berikut merupakan perbandingan hasil perhitungan Arus dan Torsi *starting* motor dengan menggunakan metode *Dirrect Online* dan *Soft Starter*. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 1, terlihat bahwa arus *inrush* (*Inrush Current*) motor penghasutan metode *Dirrect Online* (DOL) lebih besar jika dibandingkan dengan metode *Soft Starter* yaitu sebesar 4.266,25 Amp sedangkan metode *Soft Starter* hanya sebesar 2.238,23 Amp, begitu juga dengan nilai arus dan torsi *starting* penghasutan metode *Dirrect Online* (DOL) lebih besar jika dibandingkan dengan metode *Soft Starter*

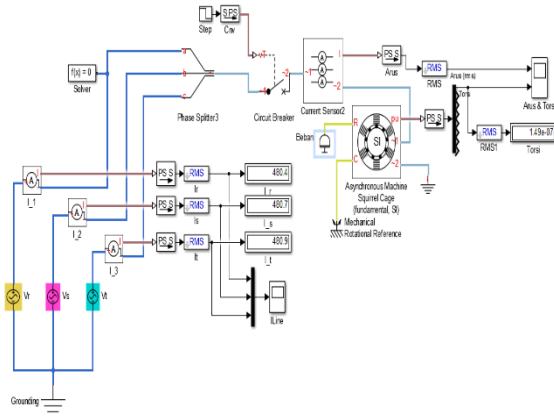
Tabel 1. Tabel Nilai Perhitungan *Dirrect Online* dan *Soft Starter*

Deskripsi	Metode Penghasutan Motor	
	DOL	<i>Soft Starter</i>
Arus <i>inrush</i>	4266,25 Amp	2238,23 Amp
Arus Starting Motor	4507,06 Amp	2253,49 Amp
Torsi Starting Motor	8095,85 N.m	2023,89 N.m
Torsi Starting Mekanik	4851,2 N.m	887,76 N.m

Simulasi Starting Motor Menggunakan Metode DOL

Berdasarkan data *Nameplate* dan katalog motor, maka rangkaian simulasi motor dengan metode

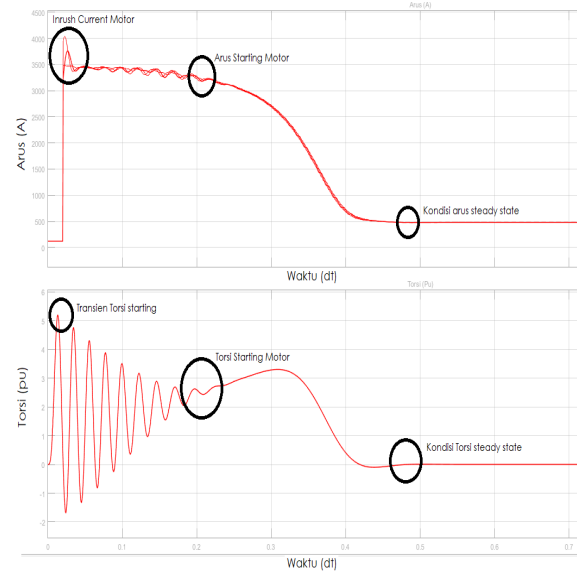
Direct Online seperti pada Gambar 11. Sementara nilai simulasi dapat dianalisa dari nilai dan kurva starting motor dengan hasil simulasi seperti Gambar 12.



Gambar 11. Rangkaian starting motor dengan metode DOL

Dari kurva starting motor dapat dilihat bahwa besarnya arus *inrush* (*inrush current*) motor bisa mencapai 4000 Amp atau 4 kA dalam waktu 0,02 detik dengan nilai torsi transien motor pada saat terjadinya arus *inrush* bisa mencapai 5,2 pu atau sebesar 520% dari torsi nominal yaitu sebesar $5,2 \times 3032 = 15.766,4$ Nm. Untuk arus starting motor terjadi pada waktu 0,2 detik dengan nilai arus starting sebesar 3300 Amp. Nilai torsi starting motor dilihat dari kurva torsi yaitu sebesar 2,6 pu atau sebesar 260% dari torsi nominal motor yaitu sebesar $2,6 \times 3032 = 7883,2$ Nm. Torsi mekanik terbentuk pada nilai 1,5 pu atau 150% dari torsi nominal yaitu

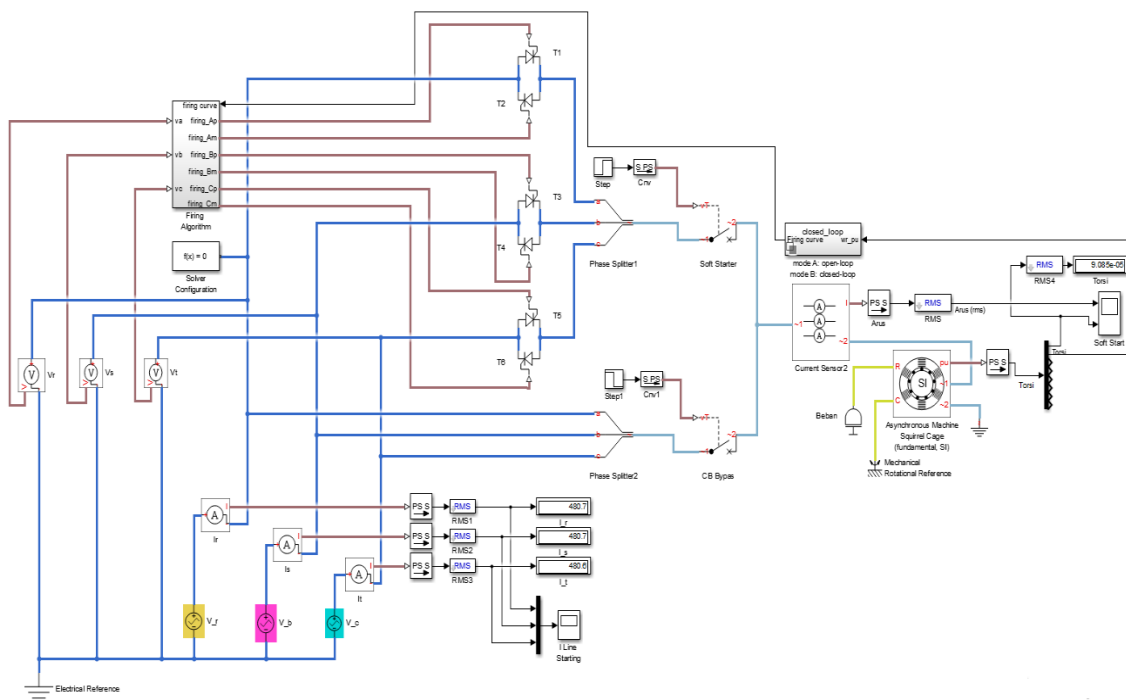
sebesar $1,5 \times 3032 = 4584$ Nm.



Gambar 12. Kurva Starting arus dan torsi motor DOL

Simulasi Starting Motor Menggunakan Soft Starter

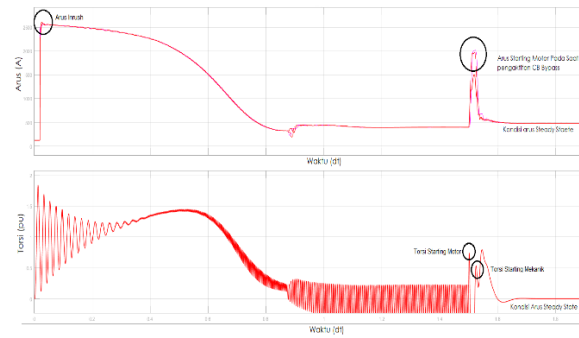
Rangkaian simulasi motor dengan metode *Soft Starter* dengan menggunakan simulink Matlab adalah seperti Gambar 13. SCR *Thyristor* anti paralel dipasang pada masing-masing fasa untuk mengontrol tegangan motor selama *start-up* motor maka secara bersamaan mengontrol arus *start* masuk dan torsi *start* yang dihasilkan di motor.



Gambar 13. Rangkaian starting motor dengan Soft Starter

Setelah menyelesaikan *run-up* motor, *thyristor* akan dioperasikan sepenuhnya sehingga menghasilkan tegangan penuh yang disuplai ke terminal motor, *thyristor* dijumpati oleh kontak *bypass* terintegrasi yang dapat disimulasikan dengan rangkaian *Circuit Breaker bypass* seperti pada Gambar 14.

Nilai simulasi dapat dianalisa dari nilai dan kurva *starting* motor dengan hasil simulasi seperti Tabel 2. Tabel 2 merupakan perbandingan antara hasil perhitungan dan simulasi Arus dan Torsi *starting* motor dengan menggunakan metode *Dirrect Online* dan *Soft Starter*



Gambar 14. Kurva *Starting* Arus dan torsi motor *Soft Starter*

Tabel 2. Tabel Nilai Perhitungan dan Simulasi

No	Deskripsi	Perhitungan		Simulasi	
		DOL	<i>Soft Starter</i>	DOL	<i>Soft Starter</i>
1	Arus Line Starting / <i>inrush</i>	4266,25 Amp	2238,23 Amp	4000 Amp	2600 Amp
2	Arus Starting Motor	4507,06 Amp	2253,49 Amp	3500 Amp	2000 Amp
3	Torsi Starting Motor	8095,85 N.m	2023,89 N.m	7883,2 N.m	2243,6 N.m
4	Torsi Starting Mekanik	4851,2 N.m	887,76 N.m	4584 N.m	1608,96 N.m

Dari perbandingan antara hasil simulasi dengan nilai perhitungan terlihat bahwa karakteristik arus dan torsi *starting* motor *Dirrect Online* (DOL) memiliki nilai karakteristik arus *starting* yang tinggi jika dibandingkan dengan metode penghasutan *Soft Starter*. Nilai simulasi *inrush* current motor pada saat menggunakan metode penghasutan DOL mencapai 4000 Amp atau 699% dari arus nominal motor (572 Amp) sedangkan pada saat menggunakan metode penghasutan *Soft Starter*, nilai simulasi *inrush* current motor hanya sebesar 2600 Amp atau 454% dari arus nominal motor.

Untuk nilai simulasi torsi *starting* motor pada saat menggunakan penghasutan DOL mencapai 7883,2 N.m atau 260% dari torsi nominal motor (3032 N.m) sedangkan pada saat menggunakan metode penghasutan *soft starter*, nilai simulasi torsi *starting* motor hanya sebesar 2243,6 N.m atau 73% dari torsi nominal motor. Nilai torsi transien yang sangat tinggi pada saat *starting* motor dapat mengakibatkan kerusakan pada motor, sistem penggerak, dan mesin.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai *inrush current* motor pada *starting Dirrect Online* (DOL) adalah sebesar 4,266 kA atau sebesar 7,4 kali arus nominal motor, sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter*, nilai *inrush current* motor adalah sebesar 2238,23 Amp atau sebesar 3,9 kali arus nominal motor.
2. Nilai arus *starting* motor pada *Dirrect Online*

(DOL) adalah sebesar 4507,06 Amp sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter* nilai arus *starting* motor adalah sebesar 2253,49 Amp

3. Nilai Torsi *starting* elektromagnetik motor dengan menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) adalah sebesar 8095,85 Nm, sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter* Nilai Torsi *starting* elektromagnetik motor adalah sebesar 2023,89 Nm.
4. Nilai Torsi *starting* mekanik motor dengan menggunakan metode *Dirrect Online* (DOL) adalah sebesar 4851,2 Nm, sedangkan pada saat menggunakan *Soft Starter* Nilai Torsi *starting* mekanik motor adalah sebesar 887,76 Nm.

Untuk menghindari arus dan torsi *starting* yang besar, maka penghasutan motor induksi dengan kapasitas diatas 315 kW disarankan untuk menggunakan metode penghasutan menggunakan *Soft Starter*, karena penghasutan dengan *Soft Starter* dapat mengurangi transien torsi *starting* yang besar jika dibandingkan dengan penghasutan metode *Dirrect Online* (DOL).

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Sianipar, “Penentuan Daya Maksimum Motor Induksi Untuk Diasut Secara Langsung,” *JETri*, vol. 12, no. 1, pp. 71–88, 2014.
- [2] M. S. Mumu, M. Pakiding, A. F. Nelwan, and F. Lisi, “Evaluasi Arus Asut Y-Δ dengan Kapasitor Tambahan pada Motor Listrik Pompa Re-Injeksi Di Area Panas Bumi

- Lahendong,” *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 3, no. 2, pp. 41–52, 2014.
- [3] K. G. Oliver, *Basic Industrial Electricity: A Training and Maintenance Manual*. Industrial Press, 1991.
- [4] Atmam, E. Zondra, and Zulfahri, “Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor Induksi Satu Fasa dengan Menggunakan Inverter,” *SainETIn*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [5] C. R. Aritonang, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Putaran Motor Pada Electrical Submersible Pump (ESP) Menggunakan Fuzzy Logic Controler Berbasis Python,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 32–39, 2019.
- [6] S. Nuari, A. Atmam, and E. Zondra, “Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC),” *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 60–67, 2018.
- [7] Erisman, H. Eteruddin, and A. Atmam, “Evaluasi Kinerja Motor Ship Moving 3 Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada PLTU Tenayan Raya Pekanbaru,” in *Seminar Nasional Cendekiawan ke 4*, 2018, pp. 237–242.
- [8] R. A. Rasul, D. Irawan, and R. P. Astutik, “Analisa Pengasutan Motor 4.16 KV Sebagai Air Pengisi Boiler di PLTU Gresik,” *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, vol. 2, no. 1, pp. 128–136, 2021.
- [9] D. Setiawan, H. Eteruddin, and A. Arlenny, “Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Berbasis Arduino Menggunakan Metode SPWM,” *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 128–135, 2019.
- [10] N. C. E. Wibowo, W. Handajadi, and Syafriyudin, “Analisa Starting Motor Induksi 3 Fasa Dengan Menggunakan Program di PT. Madubaru Yogyakarta,” *Jurnal Elektrikal*, vol. 1, no. 1, pp. 91–100, 2014.
- [11] A. Junaidi and S. Damayanti, “Analisis Efektifitas Penggunaan Metode Soft Starter saat Start awal pada pengoperasian Motor 220 kW,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 55–65, 2019.
- [12] A. Atmam, A. Tanjung, and Z. Zulfahri, “Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD),” *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018.
- [13] Y. R. Fauzi, A. Musthofa, and Suwito, “Perancangan Soft Starting pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Mikrokontroler Atmega328,” Departemen Teknik Elektro Otomasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [14] A. B. Priahutama, T. Sukmadi, and I. Setiawan, “Perancangan Modul Soft Starting Motor Induksi 3 Fasa dengan ATMEGA 8535,” *Transmisi*, vol. 12, no. 4, pp. 160–167, 2010.
- [15] R. Ratnadewi *et al.*, “Control and Notification Automatic Water Pump with Arduino and SMS Gateway,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 407, p. 12160, 2018.
- [16] T. Gonen, *Electrical Machines with Matlab*, 2nd ed. London: Taylor and Francis Group, 2012.
- [17] Atmam, E. Zondra, and H. Yuwendius, “Konsumsi Energi Listrik Terhadap Perubahan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 9–18, 2019.
- [18] M. Wijaya, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Penerbit Djambatan, 2001.
- [19] D. Febian, “Analisis Metode Starting Motor Induksi Star Delta dan Soft Starter Pada Air Compressor,” Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2016.
- [20] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [21] AuCom, “Medium Voltage Application Guide.” AuCom Electronics Ltd., Christchurch, 2010.