

# Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3-Phase pada Aplikasi Industri Plastik

Sri Hardiati  
Pusat Penelitian  
Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI  
ash\_egt@yahoo.com

Folin Oktafiani  
Pusat Penelitian  
Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI

Joni Pristianto  
Pusat Penelitian  
Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI

Teguh Praludi  
Pusat Penelitian Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI

Yusuf Nur Wijayanto  
Pusat Penelitian Elektronika dan  
Telekomunikasi - LIPI

## Abstrak

Telah dilakukan perancangan dan pembuatan rangkaian pengendali kecepatan motor induksi tiga phase. Rangkaian pengendali ini menggunakan triac sebagai komponen utamanya dan didukung oleh diac, dioda, dan komponen elektronika pasif lainnya. Hasil yang diperoleh berupa prototip rangkaian pengendali kecepatan motor induksi tiga phase. Rangkaian ini diimplementasikan pada industri plastik (pemintalan benang plastik) agar benang plastik yang sedang digulung tidak putus, sehingga dapat mengoptimalkan proses produksi dan meningkatkan hasil produksi yang berkualitas dan efisien.

Kata kunci: kendali, kecepatan, triac, motor induksi.

## 1. Pendahuluan

Dunia industri berkembang dengan pesat, hal ini diikuti dengan perkembangan mesin-mesin industri serta sistem kendalinya. Sistem kendali diperlukan agar mesin dapat bekerja secara otomatis sehingga meminimalkan kendali dari manusia. Pada mesin industri komponen yang sangat berperan antara lain motor listrik. Motor listrik difungsikan sebagai penggerak alat-alat berat, conveyor, dan lain-lain. Dunia industri sering menggunakan sumber arus AC tiga phase maka untuk mengendalikan motor listrik diperlukan rangkaian driver sebagai pengendalinya [3].

Pada penulisan ini dibahas tentang rangkaian driver motor induksi menggunakan sumber arus AC tiga phase. Rangkaian ini menggunakan triac sebagai komponen utamanya. Alat ini digunakan pada alat penggulung benang plastik. Diharapkan industri yang menggunakan motor induksi dapat mengoptimalkan alat/

mesin untuk meningkatkan proses dan hasil produksi.

## 2. Teori dasar

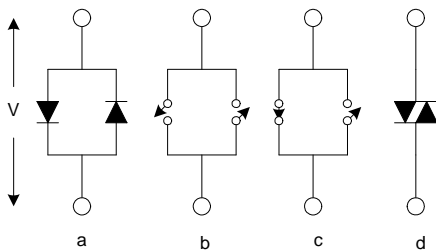
Sumber arus yang digunakan adalah sumber arus AC tiga phase dengan motor induksi sebagai bebannya. Untuk mengendalikan motor induksi ini diperlukan komponen antara lain dioda, diac, triac dan lain-lain.

Dioda adalah sebuah komponen elektronika yang dapat bekerja sebagai penyearah yang melewatkan sinyal listrik, baik positif maupun negatif tergantung pada penempatannya. Dioda mempunyai dua buah terminal, anoda sebagai kutub positif dan katoda sebagai kutub negatif [2,4].

Diac merupakan sebuah komponen elektronika yang mempunyai arus penahan dalam dua arah. Rangkaian ekuivalen pada sebuah diac berupa sepasang dioda empat lapis yang terpasang paralel seperti pada gambar 1a.

Tegangan V mempunyai polaritas seperti pada gambar 1a, yang seperti penahan pada

gambar 1b, maka dioda sebelah kiri akan menghantarkan listrik bila tegangan  $V$  mendekati tegangan knee dari dioda tersebut. Saat kondisi ini, penahan sebelah kiri menutup seperti pada gambar 1c. sebaliknya bila polaritas tegangan  $V$  berlawanan arah dari gambar 1a maka dioda sebelah kanan akan menutup saat  $V$  mendekati tegangan knee dari dioda tersebut [2,4].



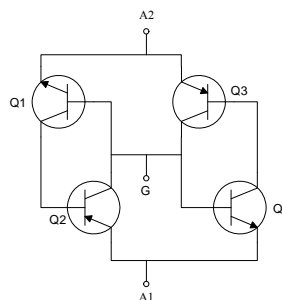
**Gambar 1:**

- a) Susunan ekivalen diac dengan dioda;
- b) Rangkaian ekivalen diac;
- c) Penahan yang sebelah kiri tertutup;
- d) Lambang skematik diac.

Bila diac sedang menutup maka untuk membukanya dengan cara memperkecil arus sampai dibawah arus penahan khas dari komponen tersebut. Fungsi diac adalah membangkitkan pulsa trigger pada gate triac.

Triac merupakan komponen semikonduktor yang berperan sebagai penghubung daya yang berkecepatan tinggi. Pada umumnya triac dioperasikan pada tegangan lebih dari 100V dan dapat membawa arus lebih dari 100A. sehingga triac sering digunakan dalam sistem kontrol daya AC, seperti dimmer lamp (peredup lampu), kontrol pemanas, kontrol kecepatan motor, dan lainnya. Prinsip kerja triac dapat diketahui dari struktur semikonduktor dan rangkaian ekivalennya (gambar 2) [1,2].

Dari rangkaian ekivalen triac terlihat bahwa triac merupakan gabungan dari dua buah SCR yang dihubungkan paralel terbalik dengan terminal gerbang sekutu (digabung menjadi satu).

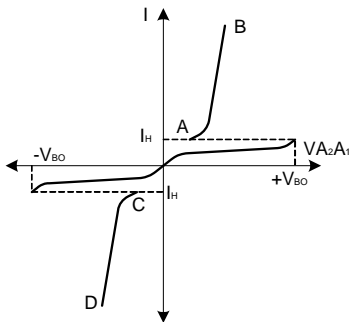


**Gambar 2: Rangkaian ekivalen Triac**

Triac dan SCR merupakan keluarga dari thyristor yang memiliki prinsip kerja yang sama, yang membedakan keduanya adalah efisiensi pemakaian. SCR merupakan pengontrol setengah gelombang atau kontrol satu arah. Hal ini dapat diartikan bahwa SCR hanya mampu mengontrol tegangan AC pada periode positif saja sedangkan pada periode negative tidak dikontrol. Bahkan pada beberapa pemakaian, SCR digunakan sebagai pengendali pulsa, baik pengendali phase 900 maupun phase 1800. Sedangkan triac merupakan kontrol dua arah atau gelombang penuh. ini sangat efektif untuk keperluan kontrol beban AC [4].

Prinsip kerja triac terlihat dari simbol dan strukturnya. Selain mempunyai terminal satu (T1) dan terminal dua (T2), juga mempunyai satu terminal gerbang atau gate. Gerbang inilah yang mengijinkan pengendalian atas aksi penyearah dua arah (T1 dan T2). Piranti ini dapat dipicu agar memiliki kondisi hantaran maju dan resistansi rendah dengan memberikan pulsa singkat yang memiliki daya relatif kecil pada terminal gerbang. Secara umum prinsip kerja triac adalah pada periode positif dan terminal dua (T2) lebih positif dari terminal satu (T1), maka transistor Q3 dan Q4 akan konduksi. Pada keadaan ini T2 sebagai anoda dan T1 sebagai katoda. Pada kondisi terminal gerbang G juga lebih positif dari T1. Dan transistor Q3 dan Q4 tidak konduksi, dengan pengertian bahwa kedua transistor Q3 dan Q4 mendapat bias mundur, sehingga hanya arus bocor kecil yang mengalir. Pada periode negative dan terminal satu (T1) lebih

positif dari terminal dua (T2), maka transistor Q3 dan Q4 akan konduksi, sedangkan terminal gerbang G lebih positif dari T2. Triac akan tetap menghantarkan arus dan tegangan jika pada gerbang dipicu dengan tegangan bias maju DC.



**Gambar 3: Karakteristik Triac**

Keterangan :

A dan C adalah arus holding minimum

A-B adalah daerah Triac on.

C-D adalah daerah Triac on

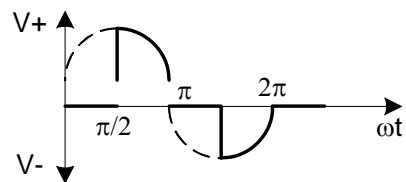
Gambar 3 merupakan karakteristik triac yang terdiri dari dua buah SCR. Pada gambar tersebut tertera tegangan breakover + Vbo, dimana jika tegangan forward mencapai titik ini, maka SCR / triac akan ON. Dan pada gambar juga ditunjukkan arus Ih yaitu arus holding yang mempertahankan SCR tetap ON. Jadi agar komponen tetap ON maka arus forward dari anoda menuju katoda harus berada di sepanjang parameter yang tersebut di dalam gambar .(pada kondisi A–B, C-D). Sejauh ini yang dikemukakan adalah bagaimana membuat triac menjadi ON. Pada kenyataannya , apabila sekali SCR / triac mencapai keadaan ON maka selamanya akan ON, walaupun tegangan gate dilepas atau di short ke katoda. Satu-satunya cara untuk membuat SCR OFF adalah dengan membuat arus anoda-katoda turun dibawah arus Ih(holding current). Cara membuat SCR menjadi OFF tersebut adalah sama saja dengan

menurunkan tegangan anoda-katoda ke titik nol.

Dengan prinsip kerja yang demikian, triac dapat sebagai kontrol sumber tegangan AC yang diberikan ke terminal satu (T1) dan terminal dua (T2). Sehingga pada saat periode positif dikontrol oleh Q3 dan Q4, sedangkan saat periode negatif dikontrol transistor Q1 dan Q2.

Dari kontruksi kedua pasangan transistor itu, masing-masing pasangan terhubung sebagai pasangan umpan balik positif maka diantara gerbang Q1 dan Q2 atau Q3 dan Q4 terdapat penguatan arus yang besar. Diperlukan tegangan 1V untuk memicu gerbang G agar triac on. Dengan demikian dapat diketahui bahwa besarnya daya yang dibutuhkan gerbang untuk mengaktifkan triac relative kecil (dalam orde mW). Grafik karakteristik triac terlihat pada gambar 3 [1,4].

Dengan pencatutan tegangan dan pembebanan maka terlihat suatu gelombang keluaran dari triac seperti pada gambar 4, dengan menghubungkan A1 dan A2 ke osiloskop.



**Gambar 4: Gelombang keluaran Triac**

Motor yang digunakan umumnya dapat dikelompokkan dua jenis yaitu motor DC dan AC. Dalam pembahasan ini motor yang digunakan termasuk motor AC, sedangkan motor AC sendiri dibagi menjadi motor induksi asinkron (tak serempak) dan motor sinkron (serempak).

Motor induksi pada dasarnya mempunyai dua bagian penting, yaitu rotor dan stator. Rotor mempunyai bagian yang berputar dan mempunyai belitan atau batang rotor. Stator merupakan bagian yang diam dan mempunyai lilitan stator [1]. Untuk motor induksi tiga phase tidak memerlukan alat

bantu karena motor ini memiliki medan stator. Medan stator ini dihasilkan oleh bagian stator dari motor. Motor induksi tiga phase ini diaplikasikan pada penggulung benang plastik.

Prinsip kerja dari motor induksi tiga phase adalah saat sumber tegangan tiga phase diberikan pada belitan stator maka akan timbul medan putar dengan kecepatan ( $N_s$ ), seperti persamaan 1 [3].

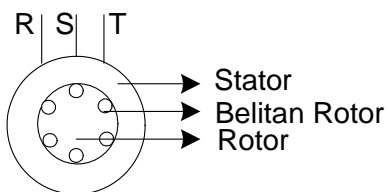
$$N_s = \frac{120f}{p} \tag{1}$$

Dengan:

- $N_s$  : Kecepatan medan putar
- $f$  : frekuensi sumber /supply
- $p$  : jumlah katup

Pada motor induksi tiga phase yang dipakai memiliki spesifikasi antara lain tegangan 220VAC, frekuensi 50Hz, putaran 750RPM dan torka 8 dengan data tersebut dapat diperoleh jumlah katup dari motor sesuai dengan persamaan 1 [3].

Medan putar yang dihasilkan oleh stator akan memotong belitan atau batang rotor sehingga pada belitan akan timbul gaya gerak listrik induksi. Belitan rotor merupakan rangkaian tertutup sehingga akan timbul arus induksi yang besarnya tergantung dari besar dan jumlah lilitan. Arus induksi didalam belitan kawat tersebut akan terpotong oleh medan putar stator sehingga pada rotor akan timbul gaya gerak (gaya Lorentz). Agar gerak rotor tetap ada, maka harus ada perbedaan putaran rotor terhadap medan stator. Dengan demikian terjadi perpotongan fluksi. Secara umum konstruksi motor induksi tiga phase seperti pada gambar 5. Besar daya motor induksi dapat diperoleh dengan persamaan 2 [3].



**Gambar 5: Konstruksi motor induksi tiga phase**

$$P_m = T_g \cdot 2\pi \cdot N \tag{2}$$

Dengan:

- $P_m$  : daya motor induksi
- $N$  : kecepatan putaran motor
- $T_g$  : torsi bruto

Selama motor ini berputar timbul adanya daya motor dan torsi. Torsi terjadi karena adanya rugi gesekan angin pada poros, sehingga secara tidak langsung mempengaruhi daya motor induksi. Daya ini merupakan output dari rotor dan kemudian output ini dikonversi dalam energi mekanik. Antara input dan output rotor terjadi perbedaan akan besarnya daya karena adanya rugi tembaga yang besarnya, seperti pada persamaan 3.

$$P_m = T_g \cdot 2\pi \cdot (N_s - N) \tag{3}$$

Keterangan :

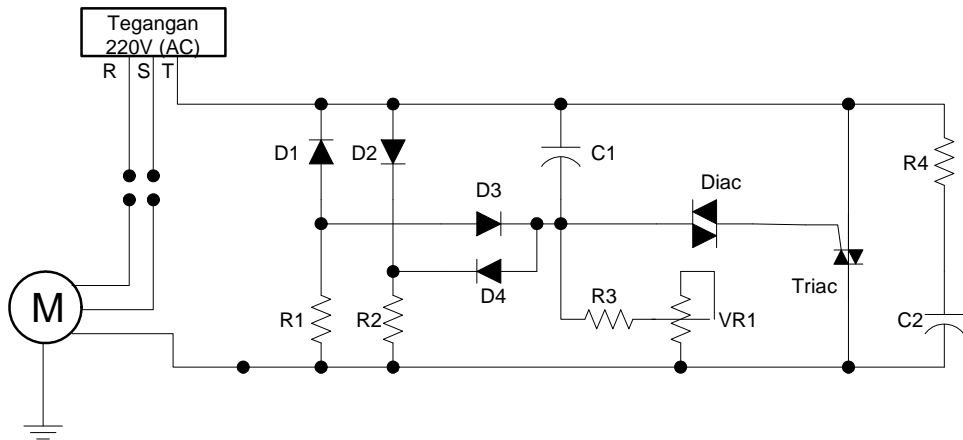
- $N$  : Kecepatan putaran motor
- $N_s$  : Kecepatan medan putar.

Dalam persamaan 3 menunjukkan, pada saat daya besar maka putaran motor akan besar, dimana triac akan mengatur besar kecilnya daya yang diberikan ke motor, tergantung dari harga resistansi reostat yang dipasang pada rangkaian kontrol.

### 3. Perancangan Rangkaian

Pada proses produksi di bagian winder terdapat motor induksi tiga phase yang kecepatannya dikontrol oleh suatu rangkaian dengan kontrol triac. Motor induksi tiga phase yang dipakai memiliki spesifikasi tegangan sumber 220V, 50Hz; Arus 0,6A; RPM 750RPM; dan torka 8. Jumlah katup dari motor diperoleh sebesar 8, nilai ini diperoleh menggunakan persamaan 1.

Kecepatan motor tiga phase ini dikontrol oleh rangkaian triac Rangkaian kontrol ini merupakan kendali beban AC penuh. ini ditunjukkan dengan digunakannya salah satu komponen dari keluarga thyristor (triac).



**Gambar 7: Gambar rangkaian kontrol kecepatan motor**

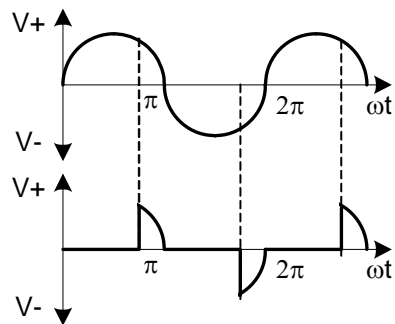
Rangkaian control kecepatan motor induksi tiga phase dengan komponen aktif triac yang ditunjukkan pada gambar 7 terdiri dari 4 empat bagian utama yaitu penyearah (D1-D4), bagian pemacu gerbang (VR, R3, C1) dan Triac. Prinsip kerja rangkaian secara garis besar berfungsi seperti mengurangi tegangan 220V yang akan masuk ke motor, dengan demikian bila tegangan yang masuk ke motor berkurang maka otomatis besarnya putaran motor juga akan berkurang. Terjadinya putaran motor tersendat-sendat seiring dengan sudut pemucuan dalam triac, karena frekuensinya sangat cepat maka hal itu tidak terlihat/dirasakan.

#### 4. Hasil dan Analisa

Hasil pengukuran rangkaian pengendali kecepatan motor induksi tiga phase terlihat seperti pada gambar 8, merupakan bentuk gelombang tegangan input dan tegangan output dari rangkaian. Dari gambar terlihat bentuk tegangan input yang berbentuk sinusoidal murni dengan sudut penyalaan diac tertentu akan menghasilkan tegangan yang dikendalikan triac akan menjadi cacat (patah-patah), sehingga tegangan yang masuk ke dalam motor akan berkurang dan selanjutnya akan berpengaruh terhadap besarnya putaran motor.

Rangkaian yang ditunjukkan pada gambar 7 bekerja sebagai pengendali kecepatan motor induksi dengan

menggunakan triac dan diac sebagai komponen utamanya. Tegangan yang dihasilkan rangkaian merupakan tegangan sinusoidal yang terpatah-patah dengan frekuensi yang tinggi. Tegangan yang terpatah-patah ini digunakan sebagai sistem kendalinya. Sistem ini diimplementasikan pada sumber tegangan tiga phase.



**Gambar 8: Bentuk tegangan input dan output rangkaian**

Kecepatan yang diinginkan dari pengendali kecepatan motor induksi 3 phase ini, tidak ditentukan dengan suatu nilai kecepatan tertentu, karena pengendalian ini bersifat adaptive, jadi kalau gulungan masih berada di awal, maka diameter kecil, sehingga putaran akan cepat. Putaran kemudian akan melambat dengan fungsi waktu, karena gulungan akan semakin tebal, sehingga diameter menjadi besar.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil analisa, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain triac cukup efektif sebagai kendali beban motor induksi tiga phase, karena hanya membutuhkan tegangan picu gerbang yang kecil untuk membuat triac aktif dan menyalurkan tegangan dan arus besar yang dibutuhkan ke beban. Pengoperasian rangkaian pengendali motor induksi ini, dikontrol dengan sebuah diac untuk memberikan tegangan trigger pada triac sehingga triac akan bekerja. Kerusakan komponen yang sering terjadi yaitu pada komponen pemacu berupa diac sehingga berpengaruh pada sudut picu triac untuk aktif.

## 6. Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI yang telah memberikan fasilitas untuk pengukuran dan P.T. Gharpha Sakti Mandiri yang telah memberikan kesempatan untuk implementasi alat serta semua pihak yang telah membantu dalam implementasi dan penulisan ini.

## 7. Daftar pustaka

- [1] Malcolm P, Stuart J, "Pengantar Ilmu Teknik Instrumentasi", PT. Media Elex Komputindo, Jakarta, 1983.
- [2] Hayt W.H, Jr dan Neudeck G.W, "Electronic Circuit Analysis and Design", Houghton Mifflin Company Boston, 1976.
- [3] Loveday G, "Inti Sari Elektronika", PT. Elex Media Komputindo.
- [4] Malvino A, "Prinsip-prinsip Elektronika", Penerbit Erlangga, 1985.