

SKRIPSI

**ANALISIS SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR
DC KILN PADA PT. SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP**



OLEH

USMAN SUHARDI

10582107712

I R W A N

1058296612

PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2018

**ANALISIS SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR
DC KILN PADA PT. SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat

Untuk memperoleh gelar sarjana

Program studi Teknik Listrik

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik

Disusun dan diajukan oleh

USMAN SUHARDI

10582107712

IRWAN

1058296612

PADA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2018



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : www.unismuh.ac.id, e-mail : unismuh@gmail.com

Website : <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS SISTEM PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR DC KILN PADA PT.SEMEN TONASA UNIT IV PANGKEP**

Nama : USMAN SUHARDI
IRWAN

Stambuk : 105 82 1077 12
105 82 966 12

Makassar, 12 April 2018

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc.

Rizal Ahdiyati Duyo, S.T., M.T.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Umar Katu, S.T., M.T.

NBM : 975 288



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama Usman Suhardi dengan nomor induk Mahasiswa 10582 1077 12 dan Irwan dengan nomor induk Mahasiswa 10582 966 12, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/20201/091004/2018, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Kamis tanggal 12 April 2018

Makassar, 26 Rajab 1439 H

12 April 2018 M

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. H. Abdul Rahman Rahim, S.E., M.M.

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Dr.Ir.H.Muhammad Arsyad Thaha,M.T.

2. Penguji

a. Ketua : Dr.Umar Katu,S.T.,M.T.

b. Sekertaris : Adriani, S.T., M.T.

3. Anggota : 1. Dr.Ir.Hj.Hafsah Nirwana,M.T.

2. Dr.Ir.Zulfajri Basri Hasanuddin,M.Eng.

3. Anugrah,S.T.,M.M.

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr.Ir.Zahir Zainuddin,M.Sc.

Pembimbing II

Rizal Ahdiyati Duyo,S.T., M.T.

Dekan

Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T.

NBM : 855 500

ABSTRAK

Tugas akhir ini berjudul “*Sistem Pengontrolan Kecepatan Motor DC Kiln PT. Semen Tonasa Unit IV Pangkep*”. Adapun tujuan penelitian ini adalah Pengaturan kecepatan motor DC Kiln ini, menggunakan sistem dual konverter, karena system ini digunakan untuk mengatur putaran motor variable speed drive, dan digunakan pada level daya hingga 2000. Kecepatan motor DC Kiln dalam proses pembakaran, diatur dengan memberikan besaran set point, Jika diberikan set point 2,4 maka putaran kiln berada pada besaran 2,4 rpm, karena besaran ini adalah putaran kiln itu sendiri, dimana besaran untuk set point 3,5 sama dengan putaran kiln 3,5 rpm dan motor berada pada putaran nominalnya sebesar 1000 rpm. Untuk set point 2,4 putaran motor adalah 685 rpm. Sedangkan arus dibutuhkan untuk set point 2,4 hanya 50 % dari arus nominalnya sebesar adalah 435 Ampere.

Kata kunci : Pengontrolan, motor, speed drive, set point

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena Rahmat dan HidayahNya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka penyelesaian program studi pada Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir adalah :

*“Sistem Pengontrolan Kecepatan Motor DC Kiln PT. Semen Tonasa Unit IV
Pangkep”*

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan-kekurangan, hal ini disebabkan penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulis maupun dari perhitungan-perhitungan. Oleh karena itu penulis menerima dengan ikhlas dan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Skripsi ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segalan ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Hamzah Al Imran, ST, MT. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. Bapak DR. Umar Katu, ST, MT., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

3. Bapak. DR. Ir. H. ZahirZainuddin, M.Sc, selaku Pembimbing I dan Bapak Rizal A Duyo, ST, MT, selaku Pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya dalam membimbing kami.
4. Bapak dan ibu dosen serta staf pegawai pada fakultas teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, doa dan pengorbanan terutam dalam bentuk materi dalam menyelesaikan kuliah.
6. Saudara-saudaraku serta rekan-rekan mahasiswa fakultas teknik terkhusus angkatan 2012 yang dengan keakraban dan persaudaraan banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bernabfaat bagi penulis, rekan-rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

Makassar, Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iv
KATAPENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan penelitian.....	2
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat Penelitian	3
F. Metode penulisan	4
G. Sistematika Penulisan	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Motor Arus Searah	6
1. Prinsip Kerja Dari Motor Arus Searah.....	6
2. Cara Kerja Dari Motor Arus Searah.....	8
3. karakteristik Motor DC	8
4. Jenis-Jenis Motor Arus Searah.....	11

5. Pengaturan Kecepatan Motor DC	13
B. Penyearah	16
1. Dioda	17
2. Thyristor (SCR, Silicon Controlled Rectified)	23
C. Sistem Pengontrolan	36
1. Control Dengan Loop Terbuka	37
2. Control Dengan Loop Tertutup	37
3. Jenis-Jenis Aksi Control	38
BAB III : METODOLOGI PENELITIAN	43
A. Waktu dan Tempat	43
a. Waktu	43
b. Tempat Penelitian	43
c. Metode Penelitian	44
BAB III : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
A. Proses Pembakaran Bahan Baku Semen	45
B. Sistem pembakaran	45
1. Motor Utama Pada Pembakaran Kiln	48
2. Daya pada Motor DC	49
3. Pengaturan kecepatan Pada Motor Utama	57
4. Prinsip kerja dari kiln	59
5. Motor Darurat	60
C. Pengendalian operasi	60

BAB IV PENUTUP	62
A. Kesimpulan.	62
B. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA	63

HALAMAN DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 : Terjadinya rotasi pada motor arus searah sebagai interaksi antar medan magnet yang dihasilkan oleh kutub pada stator dan medan magnet yang dihasilkan pada penghantar jangkar	7
Gambar 2.2 : Kurva Karakteristik Torsi Terhadap Arus Jangkar	9
Gambar 2.3 : Kurva karakteristik kecepatan terhadap arus jangkar Kurva karakteristik terhadap arus jangkar dari motor DC sama dengan karakteristik kecepatan terhadap outputnya	10
Gambar 2.4 : motor arus searah berpenguatan terpisah	11
Gambar 2.5 : Motor-motor DC berpenguatan sendiri.....	13
Gambar 2.6 : Pengaturan Fluks Stator Pada Motor Shunt	14
Gambar 2.7 : Pengaturan Tahanan Jangkar Pada Motor Shunt	15
Gambar 2.8 : Pengaturan Tegangan Jangkar Pada Motor Shunt	16
Gambar 2.9 : Penyearah satu fasa setengah gelombang	18
Gambar 2.10 : Rangkaian Penyearah 1 Fasa Gelombang Penuh	20
Gambar 2.11 : Rangkaian dan Bentuk Gelombang Penyearah 3 Fasa.....	22
Gambar 2.12 : (a) Struktur thiristor (b) Simbol	23
Gambar 2.13 : Konverter thiristor satu fasa	25
Gambar 2.14 : Rangkaian serta bentuk gelombang	27
Gambar 2.15 : rangkaian penyearah tigafasa dengan thyristor	29
Gambar 2.16 : Rangkaian dan bentuk gelombang dual converter	33

Gambar 2.17 : system control terbuka	37
Gambar 2.18 : Sistem Control Loop Tertutup	38
Gambar 2.19 : aksi controlproporsinal.....	39
Gambar 2.20 : Aksi Control Derivatif	40
Gambar 2.21 : Aksi Control PI	41
Gambar 2.22 : Aksi Control PD.....	41
Gambart 2.23 : Aksi kontrol PID	42
Gambar 4.1 : Diagram blok, untuk daerah yang berhubungan langsung dengan kiln.....	47
Gambar 4.2 : Grafik data perbandingan <i>gear box</i> pada setiap set point.....	51
Gambar 4.3 : Grfik data perbandingan arus yang motor DC pada setiap Set point.....	52
Gambar 4.4 : Grafik perbandingan daya pada setiap set point.....	56
Gambar 4.5 : Grafik perbandingan tegangan pada setiap set point.....	56

HALAMAN DAFTAR TABEL

Table 4.1 :Data perbandinganTorsi,Daya,dan Tegangan pada setiap set point...56

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pembangunan proyek Tonasa IV dimulai pada Pertengahan tahun 1992 dan selesai pada akhir tahun 1996 dimana Survey bahan baku tidak dilaksanakan lagi karena lokasinya sama dengan lokasi Tonasa II/III dan sudah dilaksanakan survey bahan baku Tonasa II/III, sedang study kelayakan yang terdiri dari aspek-aspek teknis, ekonomis dan umum dibuat sendiri oleh PT. Semen Tonasa (Persero).

Kapasitas produksi pabrik ini sebesar 2.300.000 ton semen pertahun dengan proses kering menggunakan bahan bakar batu bara dan untuk menyuplai tenaga listrik ke Pabrik unit IV.

Seiring dengan perkembangan dunia industri, kebutuhan akan alat-alat penggerak seperti motor listrik sangat di butuhkan dalam menjalankan suatu proses produksi yang bekerja secara mekanik untuk menghasilkan suatu produk dalam suatu industri. Motor-motor listrik sangat banyak digunakan dalam industri besar, seperti halnya industri Semen Tonasa yang ada di daerah Sulawesi Selatan yang tepatnya terdapat di Hiring Ere Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep yaitu Industri PT. Semen Tonasa.

Motor listrik yang di gunakan pada Industri PT Semen Tonasa yaitu jenis motor AC dan DC .Hal ini dikarenakan, Industri ini memiliki kapasitas produksi yang besar sehingga dalam pemilihan motor listrik akan lebih ekonomis,

Keberadaan motor listrik dalam mengubah energi listrik menjadi energi mekanik banyak digunakan dalam mempercepat proses pengerjaan bahan mentah menjadi suatu produk sehingga memungkinkan untuk penghematan tenaga manusia, khususnya yang terdapat pada unit pembakaran dari semen yang memerlukan putaran mekanik untuk melakukan suatu proses kerja dan jenis motor yang digunakan adalah jenis motor DC.

Mengingat bahwa motor DC dalam pengoperasiannya kecepatannya mudah diatur serta memiliki torsi yang besar bila dibandingkan motor AC maka dengan alasan itu dipilihlah motor DC untuk memenuhi tuntutan tersebut.

Dengan alasan inilah pula penulis mengambil judul tersebut yang berjudul; Sistem pengontrolan motor DC pada kiln PT Semen Tonasa IV Pangkep.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang yang dipaparkan di atas di rumuskanlah masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah proses kerja sistem Pengontrolan motor DC pada Kiln PT.Semen Tonasa IV Pangkep ?
2. Bagaimanakah sistem control motor DC pada kiln di PT Semen Tonasa unit IV Pangkep?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui proses/cara pengontrolan dari sistem kontrol yang digunakan pada motor DC khususnya yang terdapat pada kiln PT. Semen Tonasa Unit IV.

1. Untuk mengetahui proses pengontrolan motor DC yang ada pada Kiln PT. Semen Tonasa IV.
2. Untuk mengetahui sistem kontrol motor DC pada kiln di PT Semen Tonasa unit IV Pangkep.

D. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka dalam penelitian yang kami lakukan di PT. Semen Tonasa, yang mana terbatas hanya pada :

1. Pengelolaan unit IV yakni motor DC .
2. Penggerak dari Kiln (Tempat Pembakaran Bahan Baku Dari Semen).

E. Manfaat

Adapun manfaat penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk penghematan tenaga manusia, khususnya yang terdapat pada unit pembakaran dari semen yang memerlukan putaran mekanik untuk melakukan suatu proses kerja dan jenis motor yang digunakan adalah jenis motor DC.
2. Mengingat bahwa motor DC dalam pengoperasiannya kecepatannya mudah diatur serta memiliki torsi yang besar bila dibandingkan motor AC maka dengan alasan itu dipilihlah motor DC untuk memenuhi tuntutan tersebut.

F. Metode Penelitian

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengadakan penelitian dan pengambilan data pada PT. Semen Tonasa unit IV Pangkep;
2. Menanyakan langsung dengan pihak praktisi perusahaan yang lebih mengetahui tentang bahan materi yang akan kami bahas pada Industri PT. Semen Tonasa unit IV Pangkep
3. Mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas.

G.Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang kami gunakan dalam penulisan ini terbagi dalam 4 bab seperti berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri atas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan, sistematika penulisan serta proses pembuatan semen dan sistem kelistrikan yang ada PT. Semen Tonasa IV Pangkep.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Mengemukakan pembahasan tentang pengertian motor DC, cara kerja dari sistem pengontrolan motor DC, penyearah yang meliputi diode dan tryristor serta bentuk sistem pengontrolan

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Mengemukakan pembahasan tentang waktu dan tempat penelitian dan langkah – langkah dalam peneitian

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Mengemukakan proses pembakaran bahan mentah pada kiln di PT.Semen Tonasa unit IV, Cara kerja sistem pengontrolan motor DC kilndan analisa perhitungan daya.

BAB V : PENUTUP

Memuat tentang kesimpulan dari pembahasan dan saran untuk melengkapi uraian yang telah ada.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Arus Searah

Motor arus searah adalah suatu mesin yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik, dimana tenaga tersebut berupa putaran dari rotor motor arus searah.

Antara motor arus searah dengan generator arus searah tidak ada perbedaan yang dalam hal ini konstruksinya. Oleh karena itu pada prinsipnya motor arus searah dapat juga dipakai sebagai generator arus searah, dan sebaliknya generator arus searah dapat dipakai sebagai motor arus searah.

Berdasarkan karakteristiknya, maka motor arus searah mempunyai daerah pengaturan putaran yang luas bila dibandingkan dengan motor arus bolak-balik, sehingga masih banyak digunakan di pabrik yang mesin produksinya memerlukan daerah pengaturan putaran yang luas.

1. Prinsip Kerja Dari Motor Arus Searah

Prinsip kerja dari motor arus searah berdasarkan pada penghantar yang membawa arus searah ditempatkan dalam suatu medan magnet maka penghantar tersebut akan mengalami gaya.

Penghantar yang mengalami gaya tersebut menimbulkan torsi mekanik, sehingga rotor yang ditempati penghantar tersebut akan berputar. Jadi motor arus searah menerima sumber dari jala-jala kemudian diubah

menjadi energi mekanik yang berupa putaran dari poros motor yang nantinya dipakai oleh peralatan lain yang memerlukan putaran mekanik. Besarnya gaya tersebut adalah .

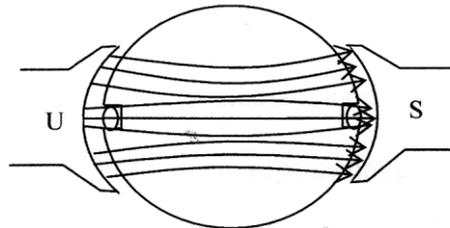
$$F = B \times I \times L \text{ Newton.....(2.1)}$$

Dimana:

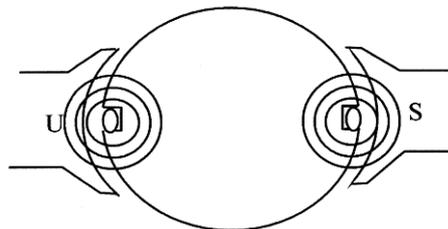
B : Kerapatan fluks magnet;

I : Nilai arus yang mengalir pada penghantar rotor;

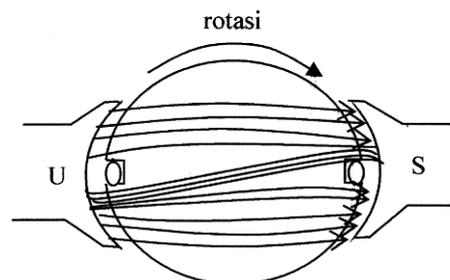
L : Panjang dari lilitan penghantar;



Medan Magnet yang dihasilkan oleh kutub



medan sebagai hasil arus yang mengalir pada penghantar



Interaksi kedua medan menghasilkan gaya

Gambar 2.1 : Terjadinya rotasi pada motor arus searah sebagai interaksi antara medan magnet yang dihasilkan oleh kutub pada stator dan medan magnet yang dihasilkan pada penghantar jangkar

2. Cara Kerja Dari Motor Arus Searah

Gulungan jangkar motor dililit sedemikian rupa sehingga jika tegangan dikenakan pada sikat-sikat dari motor, maka arus akan mengalir pada sikat yang kemudian memberikannya ke komutator kemudian diteruskan kedalam belitan jangkar.

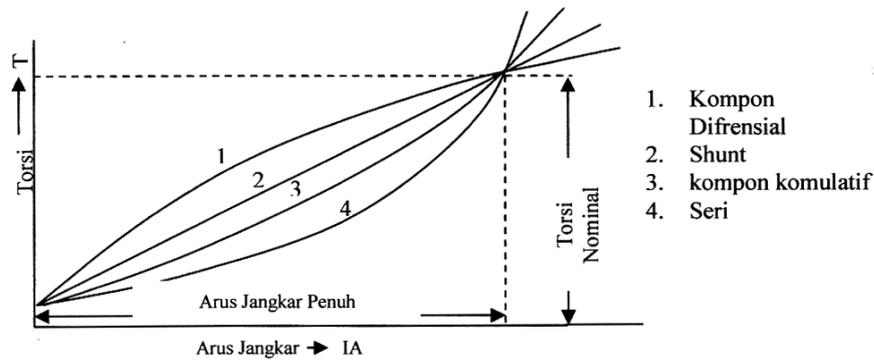
Konduktor jangkar dililit sedemikian rupa sehingga semua konduktor dibawah kutub selatan medan magnet, mengalirkan arus dalam satu arah. Semua konduktor dibawah kutub medan utara mengalirkan arus dalam arah yang berlawanan. Ketika tegangan-tegangan dikenakan pada stator arus mengalir melalui lilitan menimbulkan medan magnet.

3. Karakteristik Motor DC

Karakteristik yang paling penting untuk motor DC, ada dua macam sebagai berikut:

a. Karakteristik torsi terhadap arus jangkar (T vs I_a).

Dari persamaan umum torsi $T = K \Phi I_a I_b$ ft, yang berlaku untuk semua motor, maka untuk masing-masing kurva karakteristik dapat ditunjukkan seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 : Kurva Karakteristik Torsi Terhadap Arus Jangkar

Dengan keterangan diatas maka untuk :

1) Motor DC shunt;

Kurva karakteristik torsi terhadap arus jangkar untuk motor DC shunt, berdasarkan gambar, hanya tergantung pada arus jangkarnya sebab fluksnya tetap ($T = K_i I_a$), sehingga kurvanya merupakan garis lurus.

2) Motor DC Seri;

Kurva karakteristik torsi terhadap arus jangkar, untuk motor DC seri, tergantung pada fluks maupun arus jangkar. Fluksnya tergantung pada arus jangkar ($\Phi = K_2 \cdot I_a$), sehingga persamaan menjadi $T = K \cdot K_2 \cdot I_a \cdot I_a$ atau $T = K_3 \cdot I_a^2$. Sehingga kurvanya merupakan parabola.

3) Motor DC kompon;

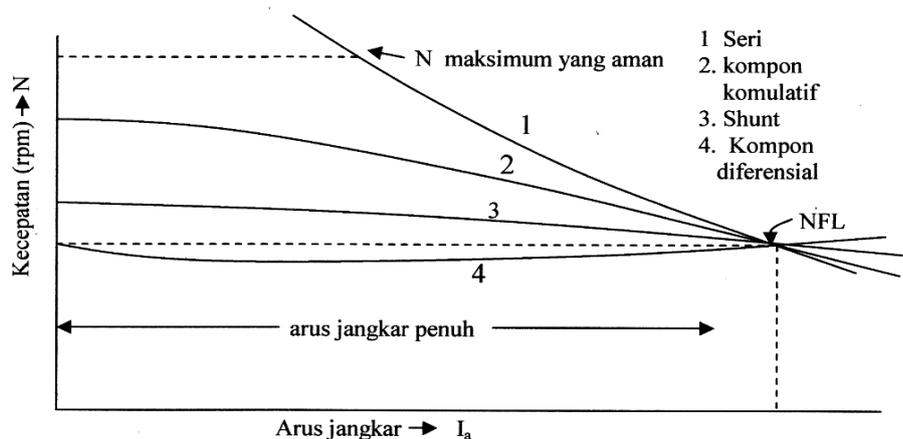
Kurva karakteristik torsi terhadap arus jangkar, untuk motor DC kompon tergantung baik pada *fluks* maupun arus jangkar. Fluksnya tergantung pada fluks dari medan *shunt* dan *fluks* dari medan seri. Fluks dari medan seri timbul bila motor dibebani dan akan menambah *fluks* dari medan *shunt* untuk motor DC komulatif, fluks tersebut akan melawan (mengurangi) fluks dari medan shunt untuk motor DC kompon diferensial, sehingga kurva karakteristik torsi terhadap arus jangkar untuk motor DC kompon menjadi 2 kurva.

- a) Kurva karakteristik terhadap arus jangkar untuk motor DC kompon komulatif berada diantara motor Shunt dan motor seri.
- b) Kurva karakteristik torsi terhadap arus jangkar, untuk motor DC kompon diferensial berada diatas motor shunt.

b. Karakteristik kecepatan terhadap arus jangkar (N vs I_a)

Persamaan untuk kecepatan motor tergantung dari rangkaian ekivalen motor yakni salah satunya tergantung pada arus jangkar (I_a) sehingga untuk ketiga motor DC tersebut dapat diterangkan sebagai berikut:

- 1) Kecepatan motor DC shunt akan naik sekitar 2 - 8 %, jika beban penuh dilepas;
- 2) Kecepatan motor DC seri akan naik dengan cepat bila beban dilepas, oleh karena itu motor DC seri selalu dikopel dengan bebannya bila sedang dioperasikan.



Gambar 2.3 : Kurva karakteristik kecepatan terhadap arus jangkar Kurva karakteristik terhadap arus jangkar dari motor DC sama dengan karakteristik kecepatan terhadap outputnya.

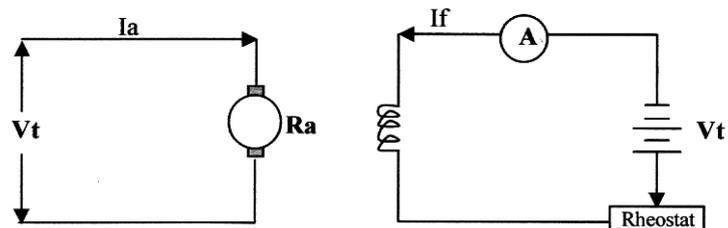
4. Jenis Motor Arus Searah

Jenis motor arus searah dapat dibedakan menjadi dua macam berdasarkan dari medan penguatnya yakni:

- Motor arus searah berpenguatan terpisah.
- Motor arus searah berpenguatan sendiri.

a. Motor Arus Searah Berpenguatan Terpisah

Sesuai dengan namanya, motor jenis ini mempunyai medan penguatan yang disuplay dari sumber luar dan bukan tercatu dari kebelitan jangkar. Jadi medan penguatnya dapat diubah-ubah dari luar yakni suplay pengatur medan.



Gambar 2.4 : motor arus searah berpenguatan terpisah

Dari gambar rangkaian ekivalen di atas maka persamaan yang menyatakan hubungan besaran tegangan, arus, serta daya dan resistansi maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_t = E_b + I_a R_a + V_{Rt} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$I = I_a \text{ Ampere} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$I_f = \frac{V_f}{R + R_f} \text{ Ampere} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$I = \frac{P_i}{V_t} \text{ Ampere} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

V_t = Tegangan terminal dalam Volt

V_{rt} = Rugi-rugi tegangan;

E_h = EMF (GGL) lawan dalam Volt;

I = Arus jangkar dalam Ampere;

R_f = Tahanan medan dalam Ohm (Ω);

R_a = Tahanan jangkar dalam Ohm (Ω);

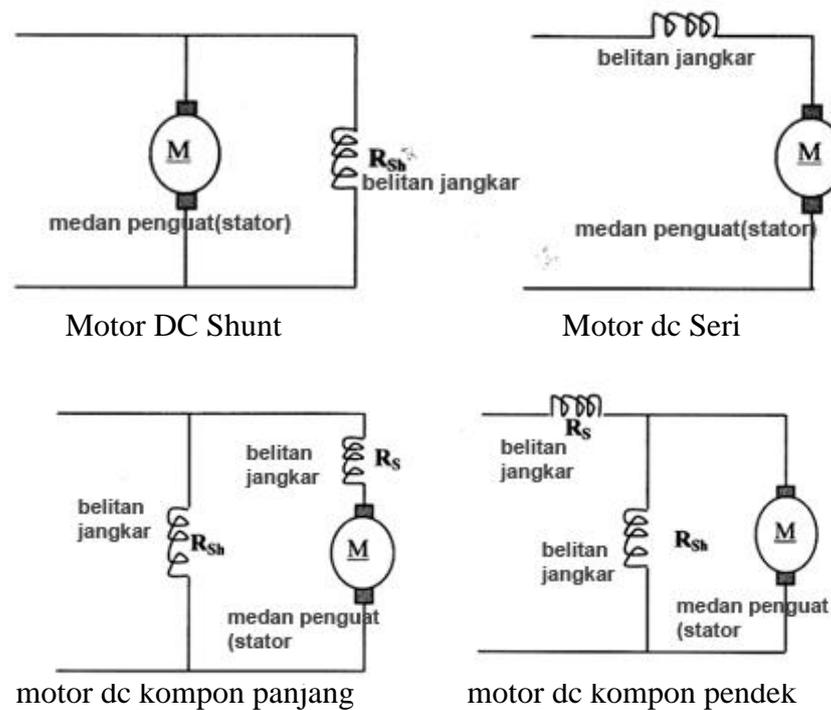
P_i = Daya input;

b. Motor Arus Searah Berpenguatan Sendiri

Motor DC berpenguatan sendiri merupakan motor DC yang medan penguatannya dicatu bersamaan dengan belitan jangkar, yang mana medan penguatannya akan terpengaruh dengan perubahan tegangan jangkar.

Motor berpenguatan sendiri ini terbagi menjadi beberapa bagian yaitu :

- 1) Motor DC seri;
- 2) Motor DC shunt;
- 3) Motor kompon;
 - Motor kompon panjang;
 - Motor kompon pendek.



Gambar 2.5 : Motor-motor DC berpenguatan sendiri

5. Pengaturan Kecepatan Motor

Dari persamaan umum motor listrik DC, didapat beberapa parameter yang diatur untuk mendapatkan pengaturan putaran.

$$V_t = I_a \cdot R_a + E_a \text{ Volt} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$E_a = C n \Phi \text{ GGL lawan (volt) } \dots \dots \dots (2.7)$$

Dari persamaan diatas didapat $E_a = V_t - I_a \cdot R_a$ sehingga :

$$n = \frac{V_t - I_a \cdot R_a}{C \Phi} \dots \dots \dots (2.8)$$

Melihat persamaan diatas kecepatannya dapat diatur dengan mengubah parameter V_t . R_a dan Φ .

Dimana :

n = Putaran Motor (rpm)

I_a = Arus Jangkar (Ampere)

R_a = Tahanan jangkar (ohm)

E_a = GGL Lawan (Volt)

C = Konstanta motor $\{(p/a) \cdot Z/60\}$;

Φ = Fluks kutub (Webber)

V_t = Tegangan terminal (Volt)

P = Jumlah kutub

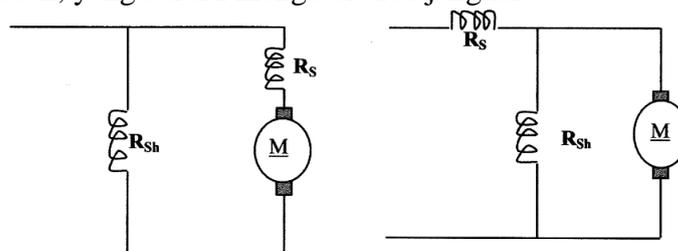
a = Jalur paralel konduktor jangkar.

a. Mengatur Fluks

Mengatur kecepatan motor dengan merubah fluks adalah sangat sederhana, yaitu hanya dengan memasang tahanan yang diserikan dengan belitan medannya juga rugi panas yang timbul juga kecil.

Pengaturan yang demikian ini hanya dapat diperoleh pada kecepatan yang lebih tinggi daripada kecepatan nominalnya. Kopel yang terbesar didapat pada saat tahanan dibuat menjadi nol, yaitu dengan putaran terendah, saat itu arus medan besar sehingga fluksnya juga besar dan kopelnya besar.

Pengaturan fluks ini, hanya dapat dilakukan pada motor berpenguatan bebas dan penguatan sendiri, model paralel dan kompon, sedangkan untuk motor seri tidak dapat dilakukan dengan mengatur arus medan, yang berarti mengatur arus jangkar.



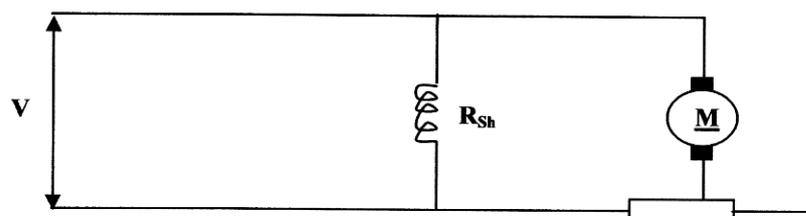
Gambar 2.6 : Pengaturan Fluks Stator Pada Motor Shunt

b. Mengatur Tahanan Jangkar

Mengatur tahanan jangkar adalah dengan menghubungkan tahanan luar secara seri dengan belitan jangkar. Pengaturan ini dapat mencapai putaran yang tinggi maupun rendah karena pada hakikatnya sama dengan mengatur arus yang melalui belitan jangkar.

Kekurangan dari cara ini adalah besarnya rugi-rugi yang ditimbulkan yang terdapat pada tahanan, dan tahanan yang dipakai harus mempunyai disipasi daya yang tinggi, karena dapat menampung daya yang lebih besar dari setengah suplay ke motor.

Karena kerugian diatas pengaturan jenis-jenis ini jarang dipakai, meskipun hasil putaran yang didapatkan sangat baik. Torsi yang paling tinggi ketika tahanan jangkar dibuat kecil, sehingga arus yang mengalir sangat besar.

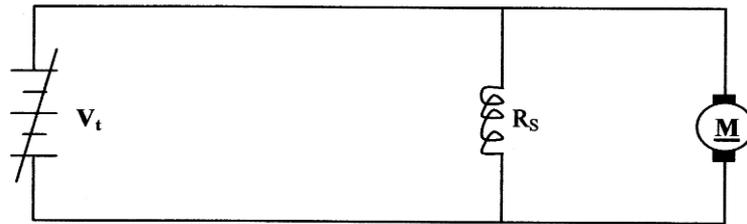


Gambar 2.7 : Pengaturan Tahanan Jangkar Pada Motor Shunt

c. Pengaturan Tegangan Terminal (V_t)

Jenis pengaturan ini dengan cara mengatur tegangan terminal, yakni mengatur tegangan sumber yang disuplay pada motor

Pengaturan ini hampir tanpa batas dari kecepatan rendah sampai yang paling tinggi juga dapat dilakukan dan rugi motor hampir tidak ada.



Gambar 2.8 : Pengaturan Tegangan Jangkar Pada Motor Shunt.

B. Penyearah

Rangkaian penyearah adalah suatu rangkaian yang mengubah arus AC menjadi arus DC. Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah, yang masing-masing penyearah tersebut memberikan hasil yang berbeda-beda dalam hal ini tegangan output. Apabila dalam suatu- penyearah semua komponen aktif yang digunakan berupa dioda maka penyearah ini digolongkan sebagai penyearah tak terkendali atau tidak dikontrol (*uncontrolled rectifier*), dimana tegangan outputnya hanya ditentukan oleh besarnya sumber tegangan AC-nya. Akan tetapi bila sebagian atau semua dari komponen aktifnya adalah *thyristor* (SCR), maka penyearah ini digolongkan sebagai penyearah yang dapat dikontrol atau terkendali (*controlled rectifier*). Dimana tegangan outputnya akan dapat dikontrol dengan pengaturan sudut penyalaan (*firing angle*) dari thyristor-thyristornya.

Namun dari rangkaian penyearah tersebut tidak menghasilkan arus searah yang murni sehingga diperlukan suatu penyaring untuk mendapatkan arus DC yang murni. Rangkaian tersebut masih menghasilkan *ripple* atau riak sehingga tidak cukup untuk menggerakkan rangkaian elektronik, tetapi tidak digunakan pada catu daya motor DC. Penyearah dengan menggunakan rangkaian tiga fasa menghasilkan riak yang jauh lebih sedikit bila dibandingkan penyearah satu fasa. Alat yang biasanya digunakan untuk menghilangkan riak tersebut adalah berupa

kapasitor yang dipasang secara paralel dengan output rangkaian penyearah. Kapasitor bertindak sebagai tangki penerima elektron pada tegangan puncak dan mensuplay elektron pada beban ketika output penyearah rendah yang mana semakin besar arus beban semakin besar kapasitor yang dibutuhkan untuk penyearangan dan nilai kapasitansi dari nilai tegangan puncak yang diijinkan.

Ditinjau dari jenis sumber tegangan bolak-baliknya, maka penyearah ini dapat digolongkan menjadi dua, yaitu dengan menggunakan dioda dan menggunakan thyristor.

1. Dioda

Dioda adalah suatu perangkat yang terbuat dari dua buah semikonduktor yaitu sambungan PN yang memungkinkan arus dapat mengalir melewati sambungan tersebut dimana terminal arus dihubungkan dengan anoda (bias maju), dan menghalangi arus pada arah yang sebaliknya yaitu kutub katoda karena mendapat bias balik dari tegangan positif. Penyearah ini dapat pula dibagi menjadi dua yaitu:

- Penyearah satu fasa (*Single Phasa Rectifier*);
- Penyearah tiga fasa (*three fase rectifier*).

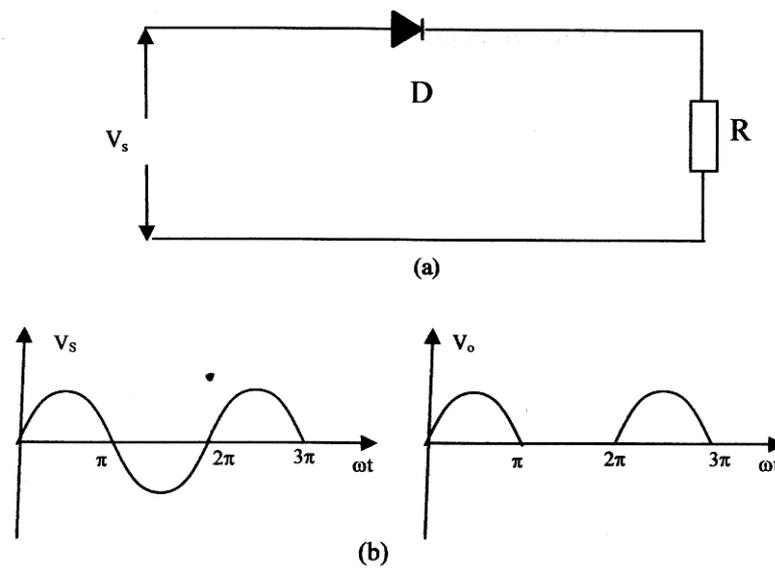
a. Penyearah Satu Fasa (1ϕ) ;

Penyearah satu fasa ini, digolongkan menjadi 2 bagian, yaitu:

- Penyearah Satu Fasa Setengah Gelombang;
- Penyearah Satu Fasa Gelombang Penuh (Jembatan).

1) Penyearah 1 Fasa Setengah Gelombang

Penyearah satu fasa setengah gelombang menggunakan sebuah dioda yang dapat menyearahkan gelombang bolak-balik (AC) menjadi gelombang searah (DC) dalam tiap setengah siklus saja dari gelombang AC tersebut.



Gambar 2.9 : Penyearah satu fasa setengah gelombang
a. Diagram Rangkaian b. Bentuk Gelombang

Cara kerja penyearah ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Untuk setengah siklus yang positif dari gelombang input ($0 \leq \omega t \leq \pi$) maka dioda mendapat pra-tegangan maju sehingga menjadi konduksi. Jika dioda dianggap ideal (tidak mempunyai catu tegangan) maka tegangan output (V_o) atau tegangan beban akan sama dengan tegangan input (V_s). Untuk setengah siklus negatif dari gelombang input ($\pi \leq \omega t < 2\pi$). Dioda mendapat pra-tegangan mundur sehingga memblok dan tidak ada arus yang mengalir dalam rangkaian. Jadi tegangan output (V_o) akan sama dengan nol.

Persamaan untuk tegangan outputnya adalah :

$$V_o = V_m \sin \omega t \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.9)$$

Beberapa parameter yang penting dalam suatu penyearah :

a) Daya output DC

$$P_{dc} = V_{dc} \cdot I_{dc} \text{ Watt} \dots\dots\dots (2.10)$$

b) Daya output AC

$$P_{ac} = V_{rms} \cdot I_{rms} \text{ Watt} \dots\dots\dots (2.11)$$

c) Efisiensi penyearah

$$\eta = \frac{P_{out\ dc}}{P_{inp\ dc}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

d) Faktor bentuk

$$FF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \dots\dots\dots (2.13)$$

e) Faktor/Ripel

$$RF = \frac{V_{rms}}{V_{dc}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$= \sqrt{(FF)^2 - 1}$$

f) Faktor Utilisasi Tranformator (*Transformer Utilization Factor*).

$$Tuf = \frac{P_{dc}}{S_i} \dots\dots\dots (2.15)$$

Untuk penyearah satu fasa setengah gelombang diperoleh

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$= 0,3183 V_m \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = 0,5 V$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} \text{ Ampere}$$

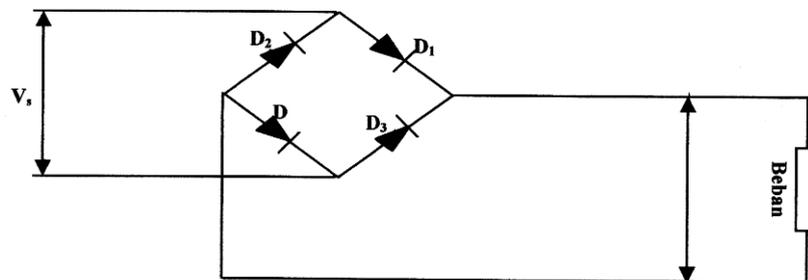
$$= 0,3183 V_m/R$$

$$I = \frac{V_m}{R}$$

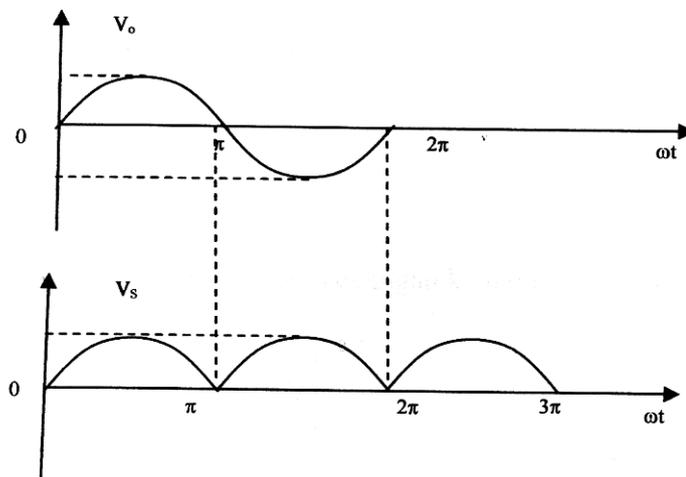
$$= 0,5 V_m/R \text{ Ampere}$$

2) Penyearah Satu Fasa Gelombang Penuh

Rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh dengan menggunakan jembatan (*bridge*) dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



(a)



(b)

Gambar 2.10 : Rangkaian Penyearah 1 Fasa Gelombang Penuh
(a). Diagram Rangkaian (b). Bentuk Gelombang

b. Penyearah Tiga Fasa (3 ϕ) Gelombang Penuh

Jembatan penyearah tiga fasa biasa digunakan pada aplikasi dengan menggunakan daya tinggi seperti ditunjukkan dibawah ini. Ini adalah penyearah gelombang penuh 3 fasa, yang dapat dioperasikan dengan trafo atau tanpa trafo dan memberikan 6 pulsa *ripple* pada tegangan keluarannya. Dioda-dioda dinomori berdasarkan urutan konduksi dan tiap sudut untuk konduksinya adalah 120° . Urutan konduksinya untuk dioda adalah 12, 23, 34, 45, 56 dan 61. Pasangan dioda yang dihubungkan diantara pasangan jalur sumber, memiliki tegangan line to line *instantaneous* tertinggi akan konduksi. Tegangan *line to line* adalah $\sqrt{2x}$ tegangan fasa sumber 3 ϕ yang terhubung Y. Bentuk gelombang dan waktu konduksi juga ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} \sqrt{3V_m} \cos \omega t \, d(\omega t) \dots \dots \dots (2.17)$$

$$= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = 1,654 V_m \text{ Volt}$$

Dengan V_m adalah tegangan fasa puncak. Tegangan keluaran rms adalah :

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} 3V_m^2 \cos^2 \omega t \, d(\omega t) \right]^{1/2} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$= \left(\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} \right)^{1/2} V_m = 1,6554 V_m \text{ Volt}$$

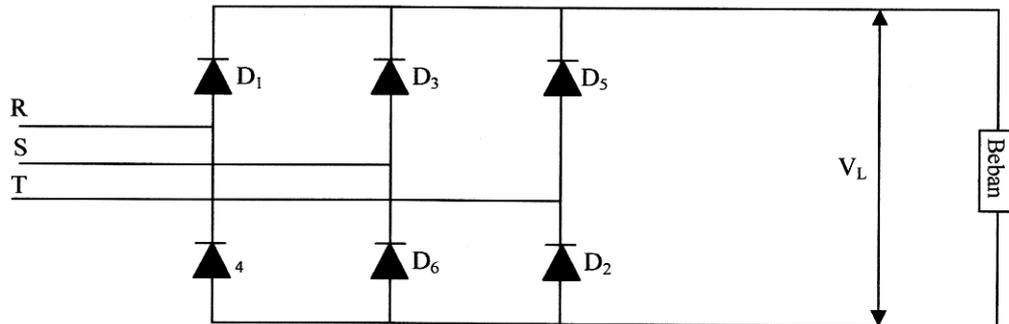
Bila beban murni resistif, arus puncak yang melalui dioda adalah $I_m = \sqrt{3}$

V_m/R dan nilai rms adalah

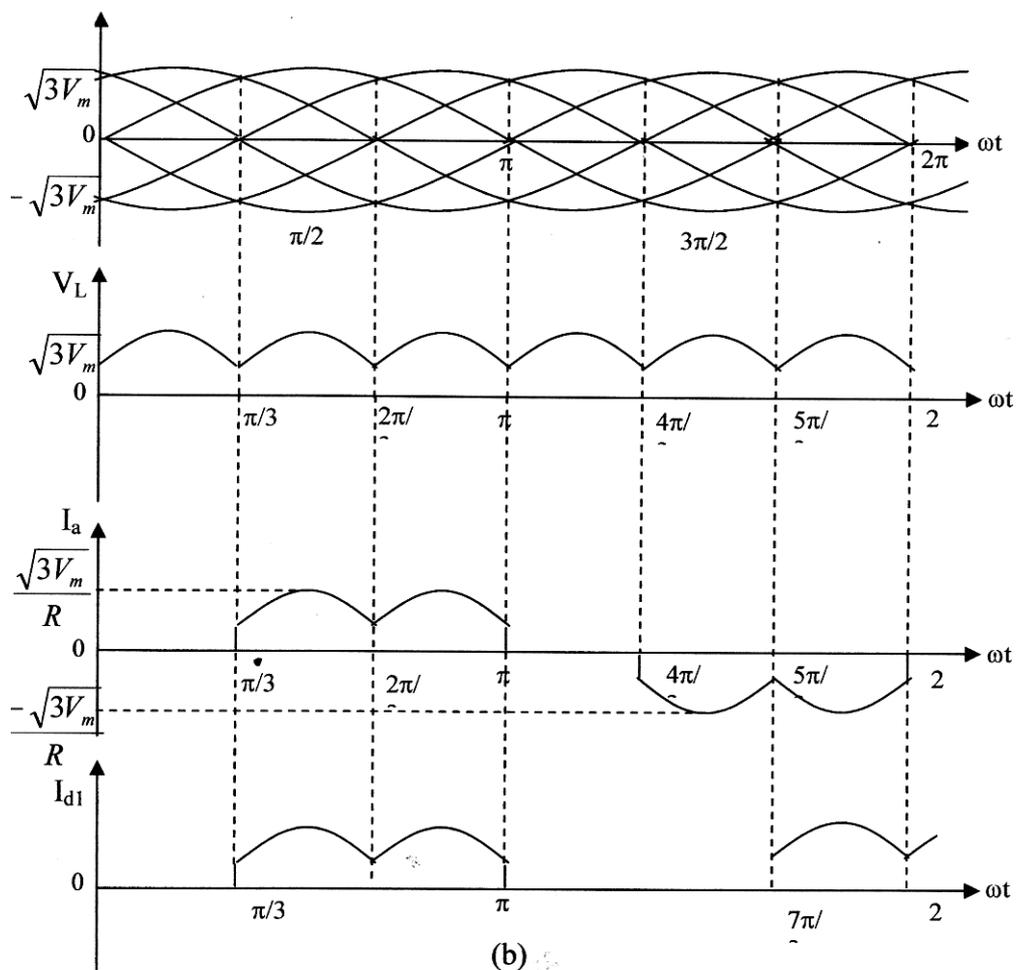
$$V_r = \left[\frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi/6} I_m^2 \cos^2 \omega t \, d(\omega t) \right]^{1/2} \text{ ampere} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$I_r = I_m \left[\frac{2}{\pi} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{6} \right) \right]^{1/2}$$

$$= 0,55181 I_m \text{ ampere}$$



(a) Rangkaian

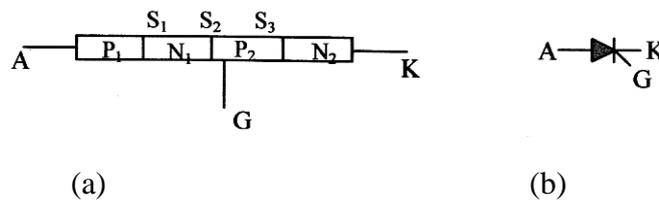


(b)

Gambar 2.11 : Rangkaian dan Bentuk Gelombang Penyearah 3 Fasa

2. Thyristor (SCR, *Silicon Controlled Rectifier*)

Sebuah *thyristor* terdiri atas 4 lapisan p-n-p-n, dan mempunyai tiga sambungan S_1 , S_2 , S_3 . Lapisan-lapisan itu diberi tanda P_1 , N_1 , P_2 , N_2 . Pada lapisan P_2 , diberi apitan G (gapura/gate) sedangkan apitan pada P_1 adalah anoda (A) dan apitan pada lapisan N_2 adalah katoda (K).



Gambar 2.12 : (a) Struktur thiristor (b) Simbol

Jika pada saat dibias arah maju, pulsa arus akan terinjeksi ke dalam daerah P dari sambungan-sambungan oleh tegangan sesaat yang di ken akan pada gerbang, maka gate akan menjadi terbias maju dan mulailah penghantaran melalui SCR. Sekali penghantaran dimulai, penghantaran akan terus berlangsung sekalipun arus gerbang dikurangi sampai nol. Penghantaran dapat dihentikan hanya dengan jalan pengaruh luas SCR. Seperti dengan mengurangi tegangan katoda ke anoda sampai nol atau dengan mengurangi arus sampai dengan nol.

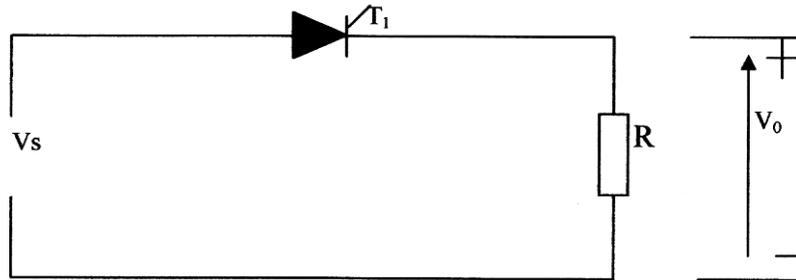
Jika tegangan V di bawah potensial break down dari peralatan maka hanya arus bocor kecil mengalir. Dibawah *break down potensial*, karakteristik forward secara nyata merupakan karakteristik reverse dari pusat junction P-N dan memberikan tahanan yang sangat tinggi terhadap arus yang mengalir. Apabila tegangan diperbesar sampai jauh melebihi *break down potensial*,

maka SCR berubah dari keadaan tidak menghantar menjadi keadaan menghantar atau dari keadaan saklar terbuka menjadi saklar tertutup. Pada saat peralatan dalam keadaan menghantar, karakteristik forward seperti penyearah *junction silikon* menunjukkan tahanan dinamis yang rendah sehingga arus mengalir dari anoda ke katoda.

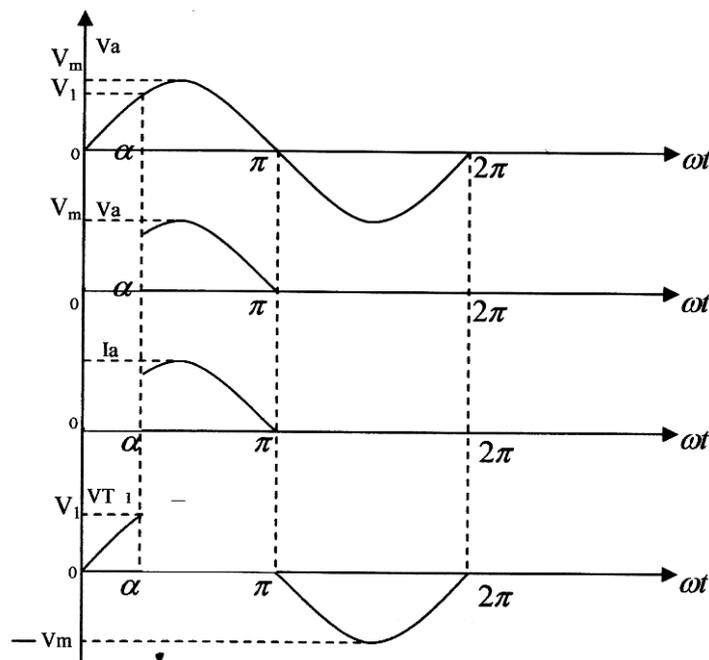
Dibawah *break down potensial*, jika gate dibuat positif terhadap katoda maka arus mengalir melalui peralatan sehingga mengalirkan arus anoda yang bertambah besar tergantung pada tegangan dan tahanan dari rangkaian anoda. Selama setengah siklus positif dari tegangan masukan, anoda dari thyristor relative positif terhadap katoda sehingga thyristor terbias maju. Ketika thyristor T_1 dinyalakan pada $\omega t = \alpha$ thyristor T_1 akan terhubung dan tegangan akan muncul pada beban. Ketika tegangan masukan mulai negative pada waktu $\omega t = \alpha$, anoda thyristor akan negative terhadap katodanya dan thyristor T_1 akan terbias mundur dan akan dimatikan, setelah tegangan masukan mulai positif sehingga thyristor akan dinyalakan pada $\omega t = \pi$ disebut sudut delay atau susut penyalan α . Pengaturan tegangan pada beban dengan menggunakan thyristor dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- a. Penyearah satu fasa dengan thyristor.
- b. Penyearah tiga fasa dengan thyristor.

a. Penyearah Satu Fasa Setengah Gelombang Dengan Thyristor



(a) Gambar rangkaian



Gambar 2.13 : Konverter thristor satu fasa

Jika V_m merupakan puncak tegangan masukan, tegangan keluaran rata-rata dapat diperoleh dari :

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t d(\omega t) [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$= \frac{V_m}{2\pi} (1 + \cos \alpha) \text{ Volt}$$

Dan V_{dc} dapat bervariasi dari V_m/π hingga 0 dengan mengubah α antara 0 hingga π . Tegangan keluaran rata-rata akan menjadi

maksimum bila $\alpha = 0$ dan tegangan keluaran maksimum V_{dm} akan menjadi $V_{dm} = \frac{V_m}{\pi}$ Volt

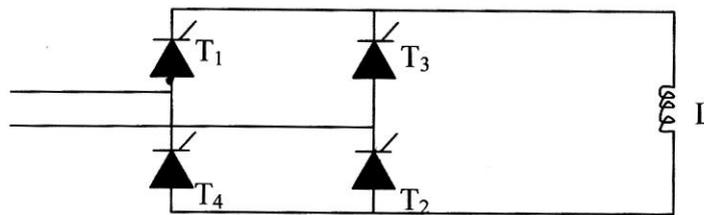
Normalisasi tegangan keluaran terhadap V_{dm} dapat diperoleh tegangan keluaran ternormalisasi menjadi $V_n = \frac{V_{dc}}{V_{dm}} = 0,51(1 + \cos \alpha)$ Volt

b. Penyearah Satu Fasa Gelombang Penuh Dengan Thyristor

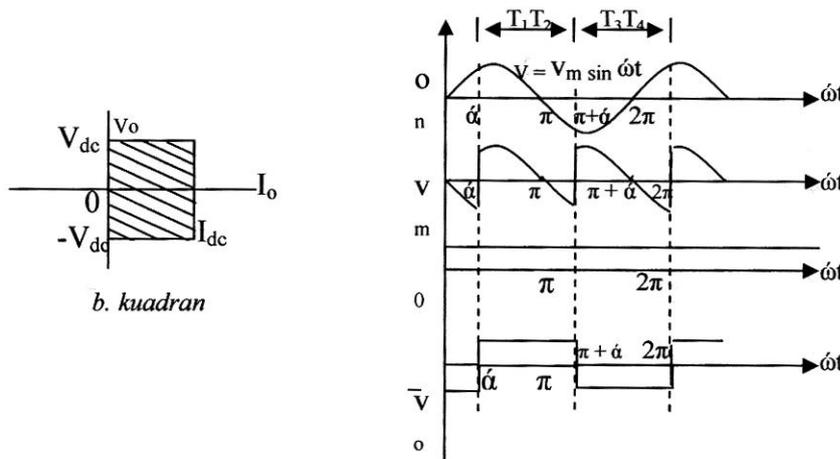
Rangkaian untuk konverter dengan thyristor dengan gelombang penuh dengan beban induktif sehingga arus yang mengalir pada beban bersifat kontinu dan bersifat tanpa *ripple*. Setengah siklus positif T_1 dan T_2 akan terbias maju. Dan ketika *thyristor-thyristor* dinyalakan secara bersamaan pada $\omega t = \alpha$, sehingga suplay akan terhubung ke beban melalui T_1 dan T_2 . Akibat dari beban yang bersifat induktif T_1 dan T_2 akan tetap konduksi saat telah melewati $\omega t = \pi$, walaupun tegangan masukan telah negatif. Selama setengah siklus tegangan masukan negatif T_3 dan T_4 akan terbias maju dan penyalaan T_3 dan T_4 akan memberikan suplay ke beban sedangkan untuk T_1 dan T_2 akan terbias mundur yang kemudian akan dimatikan dengan pemberian tegangan komutasi line dan arus beban akan ditransfer dari T_1 dan T_2 ke T_3 dan T_4 .

Selama periode dari α ke π , tegangan masukan V_s sehingga arus I_s akan positif daya akan mengalir dari catu ke beban pada saat itu konverter dikatakan berada pada mode operasi penyearahan. Selama periode dari π ke $\pi + \alpha$.

Tegangan π sakan negatif sedangkan I_s akan positif sehingga terdapat aliran daya balik beban kesuplay saat ini konverter berada pada keadaan mode operasi inversi converter ini digunakan pada industri dengan batas daya sampai level 15 KW. Tergantung pada keluaran rata-rata dapat positif ataupun negatif dan memberikan operasi pada dua kuadran.



a. Gambar rangkaian



b. Bentuk gelombang dengan thyristor

Gambar 2.14 : Rangkaian serta bentuk gelombang

Tegangan keluaran rata-rata dapat ditentukan dari:

$$V_{dc} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi-\alpha} V_m \sin \omega t \, d(\omega t) = \frac{2V_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi-\alpha} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$= \frac{2V_m}{2\pi} \cos \alpha \text{ volt}$$

Dan V_{dc} dapat bervariasi dari $2V_m/\pi$ ke $-2V_m/\pi$ dengan mengubah α antara 0 sampai dengan π . Tegangan keluaran rata-rata ternormalisasi adalah :

$$V_n = \frac{V_{dc}}{V_{dm}} = \cos \alpha \text{ Volt} \dots \dots \dots (2.22)$$

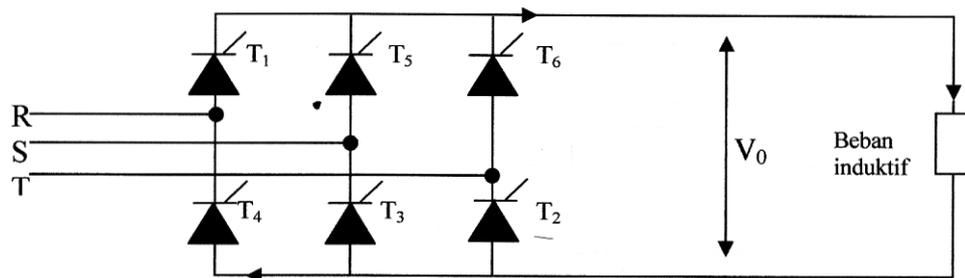
Nilai rms tegangan keluaran diberikan oleh :

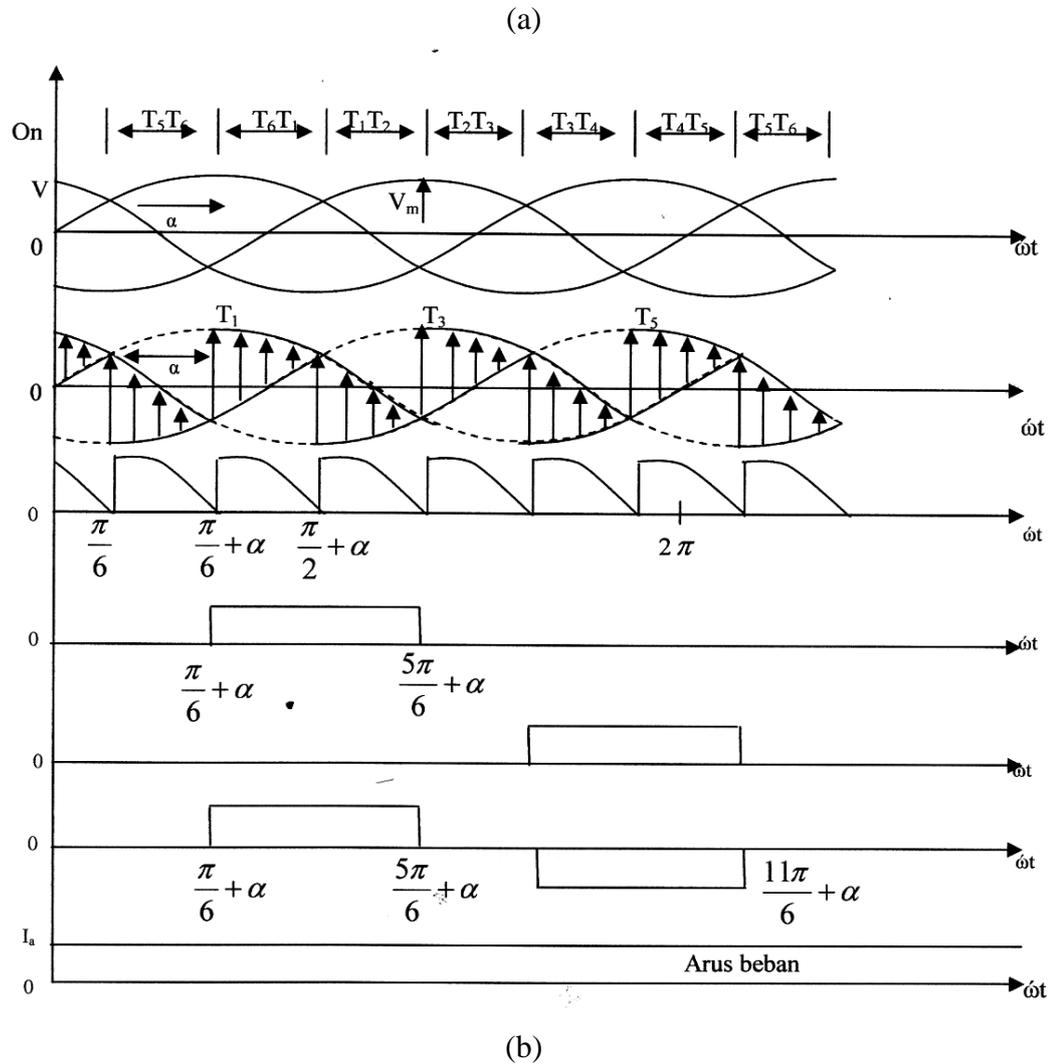
$$V_{rms} = \left[\frac{2}{2\pi} \int_a^{\pi+a} V_m^2 \sin^2 \omega t (d\omega t) \right]^{1/2} \left[\frac{V_m^2}{2\pi} \int_a^{\pi+a} (1 - \cos 2 \omega t (d\omega t)) \right]^{1/2}$$

Dengan beban resistif murni thyristor T_1 dan T_2 akan tersambung dari α ke π , dan thyristor T_3 dan T_4 akan tersambung dari $\alpha + \pi$ ke 2π .

c. Konverter Tiga Fasa Gelombang Penuh Dengan Thyristor

Konverter tiga fasa dengan thyristor digunakan pada banyak aplikasi industri hingga level daya 120 KW dengan daerah operasi dua kuadran. Rangkaian ini dikenal dengan sebagai jembatan tiga fasa yang dapat dikontrol. Ketika thyristor dinyalakan pada interval $\pi/3$. Dengan frekuensi ripple tegangan keluaran akan $6 f_s$ dan kebutuhan proses filtering akan menjadi ringan dari konverter gelombang setengah maupun semikonverter tiga fasa. Pada $\omega t = \pi/6 + \alpha$, thyristor T_6 akan tersambung sedangkan thyristor T_5 akan dinyalakan. Selama interval $(\pi/6 + \alpha) \leq \omega t \leq (\pi/2 + \alpha)$ thyristor T_1 dan T_6 tersambung dengan tegangan line to line $V_{ab} (=V_m - V_{bn})$ akan muncul pada beban. Berikut ini adalah contoh bentuk rangkaian serta gelombangnya.





Gambar 2.15 : rangkaian penyearah tigafasa dengan thyristor
 (a) Gambar rangkaian (b) Bentuk gelombang

Jika tegangan line to netral didefenisikan sebagai :

$$V_{an} = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots(2.23)$$

$$V_{bn} = V_m (\omega t - \frac{2\pi}{3}) \dots\dots\dots(2.24)$$

$$V_{cn} = V_m (\omega t - \frac{4\pi}{3}) \dots\dots\dots(2.25)$$

Tegangan line to line yang bersesuaian akan diperoleh:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{6}\right) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \dots\dots\dots (2.27)$$

$$V_{cn} = V_{cn} - V_{an} = \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \dots\dots\dots (2.28)$$

Tegangan keluaran rata-rata diperoleh dari;

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} V_{ab} d(\omega t) = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} \sqrt{3}V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) d(\omega t) \\ &= \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \cos \alpha \text{ Volt} \end{aligned}$$

Tegangan keluaran rata-rata maksimum untuk sudut penyalan $\alpha = 0$ adalah :

$$V_{dm} = \frac{3\sqrt{3}V_m}{\pi} \text{ Volt}$$

Dan tegangan keluaran rata-rata ternormalisasi adalah :

$$\frac{V_{dc}}{V_{dm}} \cos \alpha$$

Nilai rms dari tegangan keluaran akan diperoleh sebagai :

$$\begin{aligned} V_{rms} &= \left[\frac{3}{\pi} \int_{\pi/3+\alpha}^{\pi/2+\alpha} 3V_m^2 \sin^2\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) d(\omega t) \right]^{1/2} \\ &= \sqrt{3} V_m \left(\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha \right)^{1/2} \text{ volt} \end{aligned}$$

Pada gambar bentuk gelombang memperlihatkan bentuk gelombang input $\alpha = \pi/3$. untuk $\alpha > \pi/3$, tegangan keluaran sesaat V_0 akan memiliki bagian negatif. Karena arus yang melalui thiristor tidak dapat negatif, arus beban akan selalu positif. Akibatnya, dengan beban *resistif*, tegangan beban sesaat tidak dapat negatif. Dan *konverter* akan berperilaku sebagai *semikonverter*.

Jembatan tiga fasa akan memberikan tegangan keluaran 6 pulsa. Untuk aplikasi daya tinggi seperti transmisi HVDC dan penggerak motor DC, keluaran 12 pulsa diperlukan untuk mengurangi *ripple* keluaran dan meningkatkan frekuensi ripple. Dua jembatan 6 pulsa dapat dikombinasikan secara serial maupun paralel untuk menghasilkan keluaran 12 pulsa efektif.

d. Dual Konverter Tiga Fasa

Pada banyak *variable speed drives*, biasanya dipergunakan pada operasi 4 kuadran dan konverter penuh tiga fasa, yang secara ekstensif digunakan pada aplikasi hingga 2000 KW. Jika tegangan *line to neutral* didefinisikan sebagai

$$V_{an} = V_m \sin \omega t \dots\dots\dots (2.30)$$

$$V_{bn} = V_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \dots\dots\dots (2.31)$$

$$V_{cn} = V_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \dots\dots\dots (2.32)$$

Jika tegangan line to line yang bersesuaian akan diberikan oleh persamaan sebagai berikut:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) \dots\dots\dots (2.31)$$

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.32)$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = \sqrt{3} V_m \sin \left(\omega t - \frac{5\pi}{6} \right) \dots\dots\dots (2.33)$$

Jika V_{o1} dan V_{o2} adalah tegangan keluaran konverter 1 dan konverter 2, tegangan sesaat sepanjang induktor pada interval $V(\pi/6 + \alpha_1) \leq (\pi/2 + \alpha_1)$ adalah :

$$V_r = V_{o1} + V_{o2} = V_{ab} - V_{bc} \dots\dots\dots(2.34)$$

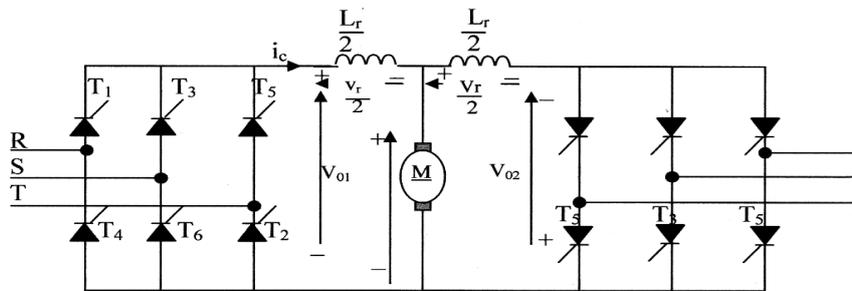
$$= \sqrt{3} V_m \left[\sin \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) - \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right]$$

$$= 3 V_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) \text{ volt}$$

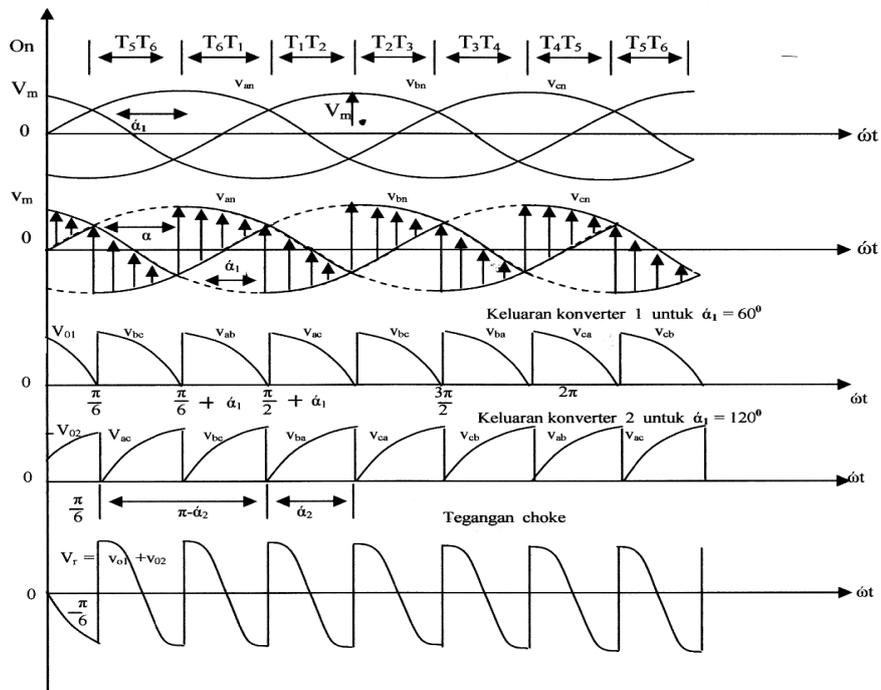
Pada arus berputarnya akan dapat diperoleh dari:

$$I_t(t) = \frac{1}{\omega L_r} \int_{r/6+\alpha_1}^{\omega t} V_r d(\omega t) = \frac{1}{\omega L_r} \int_{r/6+\alpha_1}^{\omega t} 3V_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) d(\omega t)$$

$$= \frac{3V_m}{\omega L_r} \left[\sin \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) - \sin \alpha_1 \right] \text{ ampere}$$



(a) rangkaian



Gambar 2.16 : Rangkaian dan bentuk gelombang dual konverter

Arus berputar bergantung pada sudut penyalaan α_1 dan *induktansi* L_r . Arus ini akan menjadi maksimum ketika $\omega t = 2\pi/3$ dan $\alpha_1 = 0$. Walaupun tanpa beban luar, konverter-konverter ini akan terus bekerja karena adanya arus berputar dan ini sebagai hasil tegangan ripple sepanjang induktor. Hal ini memungkinkan pembalikan arus beban selama perubahan dari kuadran satu ke kuadran lain, serta memberikan respon dinamik yang cukup cepat terutama untuk penggerak motor elektrik DC. Seperti gambar rangkaian yang thyristor yang bekerja pada empat kuadran, maka dengan demikian



Gambar 2.17 : Kuadran

Maka dengan demikian untuk kuadran

- Kuadran I : Kopel dan putaranya positif, motor dalam keadaan menggerakkan;
- Kuadran II : Kopemnya negatif dan kecepatan putarnya positif, motornya merem
- Kuadran III : Kopel dan putarannya negative motornya menggerakkan kearah berlawanan

Kuadran IV : Kopel dan putarannya negatif, motornya berputar kearah berlawanan dan motornya merem.

Karena beban sebanding dengan arus, dan kecepatan sebanding dengan tegangan, dalam kuadran I dan III motornya akan menarik energi dari catu daya sedangkan kuadran II dan IV motornya akan bekerja sebagai generator sehingga menyearahkan energi jaringan.

e. Gerbang Trun Off Thyristor

Gerbang *trim Off thyristor* (GTO) seperti SCR dapat dihidupkan dengan memberikan sinyal gerbang positif. Akan tetapi GTO dapat dimatikan dengan memberikan sinyal gerbang negatif. GTO merupakan *devais lahcing* dan dapat dihidupkan dengan rating arus dan tegangan yang mirip dengan SCR. GTO dihidupkan dengan memberikan sinyal pulsa pendek positif pada gerbang dan dimatikan dengan memberikan pulsa pendek negatif pada gerbang. GTO memiliki beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan SCR

- 1) *Elemisasi commutating* pada *forced commutation* yang menghasilkan pengurangan biaya berat dan volume.
- 2) Kurangnya usikan akustik dan elektromagnetik karena hilangnya *commutation chokes*.
- 3) *Trun off* yang cepat memungkinkan pensaklaran yang tinggi.
- 4) Meningkatkan *efisiensi* dari konverter.

Pada aplikasi daya rendah ,GTO memiliki keuntungan-keuntungan

bila dibandingkan juga dengan bipolar transistor.

- (1) Kemampuan bloking tegangan yang lebih tinggi.
- (2) Rasio arus puncak yang dapat dikontrol dengan arus rata-rata yang tinggi.
- (3) Rasio arus surge puncak terhadap arus rata-rata yang tinggi umumnya 10:1.
- (4) Penguatan keadaan ON yang tinggi dari anoda / arus gerbang.
- (5) Durasi sinyal gerbang pulsa yang pendek.

Pada kondisi surge, GTO akan cenderung masuk ke saturasi lebih dalam karena adanya aksi *regeneratif*. Sedangkan transistor akan cenderung akan keluar dari keadaan saturasi. GTO memiliki pengubah rendah selama *trun off* dan memerlukan pulsa arus negatif yang relatif besar untuk *trun off*. Tegangan jatuh pada saat ON juga lebih besar disbanding dengan SCR. Tegangan keluaran untuk GTO 550A, 1200 V, besarnya 3,4 V. GTO tipe 160 PTF untuk 160 ampere, 120 V. *Controllable peak on state current* I_{TGQ} adalah nilai puncak dari keadaan on yang dapat dimatikan dengan control gerbang, tegangan *off state* diberikan seketika oleh *trun off* dan dv/dt hanya akan dibatasi oleh kapasitansi snubber. Begitu GTO dimatikan arus beban I_L yang mengalir dan mengisi kapasitor snubber yang menentukan dv/dt terjadi $\frac{dv}{dt} = \frac{I_L}{C_s}$

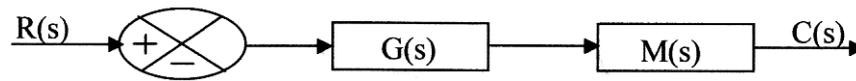
Dengan C_s adalah kapasitansi snubber.

C. Sistem Pengontrolan

Lapangan rekayasa kontrol industri adalah sangat luas, mencakupi semua cabang ilmu pengetahuan dan memanfaatkan bentuk energi, seperti mekanis, listrik/elektronik hidrolik serta pneumatik. Sistem control merupakan penyusun untuk aplikasi industri seperti tegangan, daya, temperatur, tingkatan, aliran, tekanan posisi, kecepatan dan sebagainya. Namun, prinsip kontrol adalah sama, tanpa memperdulikan bentuk energi yang digunakan dan variabel fisik yang dikontrol. Dalam industri banyak dijumpai proses yang menggunakan elektronika untuk menghasilkan dan menyesuaikan sinyal pengontrolan yang diperlukan ini mungkin disebabkan oleh kelebihan dalam ukuran besaran fisik, keandalan serta biaya yang digunakan dengan ditemukannya berbagai mikroelektronika.

1. Kontrol Dengan Loop Terbuka

Kontrol dengan loop terbuka adalah bentuk pengontrolan yang sederhana, murah dan sesuai untuk berbagai pemakaian. Dalam system kontrol terbuka terdapat inisialisasi aksi, tetapi aksi ini tidak dapat mengubah aksi ini ketika bereaksi, hal ini disebabkan oleh karena tidak adanya umpan balik. Rangkaian lampu dalam rumah adalah contoh yang umum untuk control ini, sebab tidak cara apapun yang digunakan untuk mengubah posisi saklar, jika intensitas lampu tidak mencukupi atau cahaya lampu terlalu terang. Berikut adalah skema dari dari loop terbuka.



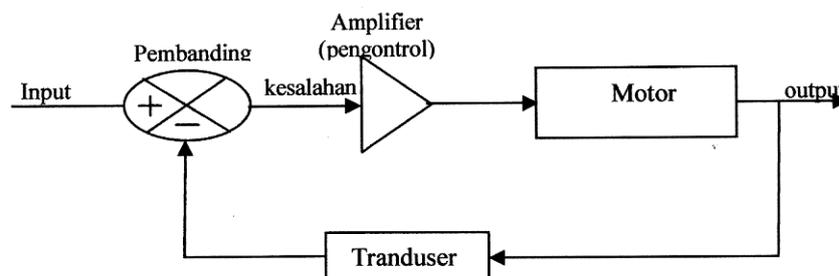
Gambar2.18 : system control terbuka

2. Kontrol Dengan Loop Tertutup

Sistem dengan loop terbuka dapat dikonversikan menjadi sistem kontrol loop tertutup jika alat yang berfungsi sebagai transduser sebagai jalur umpan balik dan bekerja mempertahankan variabel yang dikontrol pada harga yang diinginkan. Tujuan sistem control tertutup adalah untuk memperbaiki aksi operator. Dan biasanya hal ini dapat tercapai dengan cara mengukur pemantauan keadaan kondisi terkontrol yang sering muncul kemudiah mengkonversikan dalam bentuk lain yang mirip dengan aksi inisialisasi dalam hal ini sinyal input kemudian diperbandingkan dengan perbedaan harga yang diinginkan (kesalahan) yang kemudian digunakan untuk memperbaiki kesalahan system, jadi dengan demikian system ini dijalankan oleh kesalahan yang terjadi pada output system.

Dalam system control loop tertutup pemantauan dan konversi sinyal biasanya dapat dicapai dengan sebuah alat berupa transduser yang dapat mengkonversikan besaran fisik menjadi besaran yang lain, contoh *tranduser* listrik dapat mengubah besaran fisik berupa (kecepatan, temperatur, aliran, tekanan, posisi dan lain-lain) menjadi sinyal listrik. Sinyal kesalahan yang dibentuk tersebut yang kemudian diperbandingkan dengan sinyal input (sinyal umpan balik + sinyal input) tetapi sinyal umpan balik adalah sinyal yang

terlalu kecil sehingga digunakan amplifier sebagai penguat untuk mempertinggi sinyal pengontrolan. Diagram bloknya diperlihatkan oleh gambar berikut.



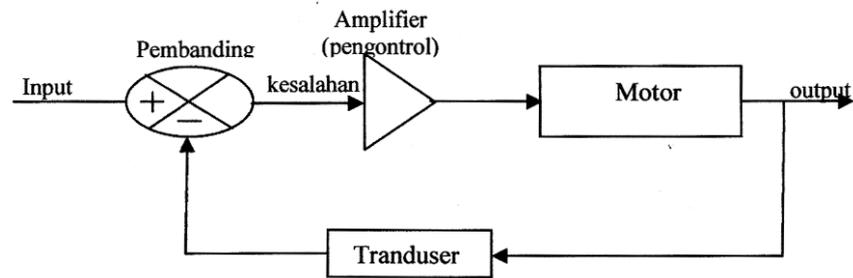
Gambar 2.19 : Sistem Control Loop Tertutup

3. Jenis-Jenis Aksi Control

Dalam dunia industri control dengan loop tertutup sangat banyak digunakan, dan biasanya jenis control ini disebut dengan istilah pengontrolan (pengaturan). Jenis-jenis pengontrolan ini ada tiga jenis yaitu pengontrolan proporsional (P), integral (I), dan diferensial (D).

a. Aksi Control Proporsional

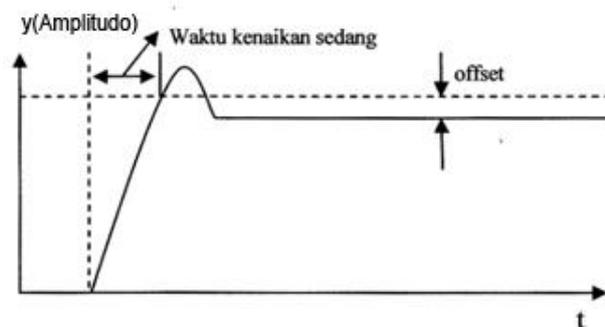
Pada pengaturan dengan kontrol proporsional, sinyal akhir dari organ pengatur berbanding lurus dengan sinyal masuknya atau proporsional terhadap kesalahan (error) yang mana sinyal hasil organ dari pengatur berbanding lurus dengan masuknya. Kerja controller aksi proporsional ini kerjanya yang agak lambat sehingga menimbulkan offset meskipun dengan demikian gaya pengaturan yang sederhana, stabil, dan langsung. Dan jika terjadi perubahan harga keluaran akan mengayun pada harga yang diinginkan



Gambar 2.20 : aksi controlproporsinal

b. Aksi Control Integral

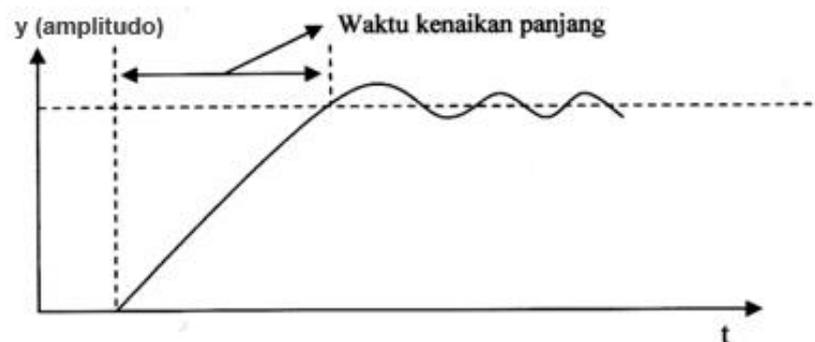
Dasar pengontrolan ini adalah perubahan rate dari pengaturan sebanding dengan error yang mana kecepatan perubahan sinyal hasil pengontrolan sebanding dengan harga sinyal masukannya dengan kata lain harga keluaran kontroller diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak. Jika perubahan kecepatan besar maka kecepatan kembali kepada harga yang di inginkan dan lebih baik jika digabungkan dengan control proporsional.



Gambar 2.21 : Aksi Kontrol Integral

c. Aksi Kontrol Derivative

Jenis aksi control ini biasanya juga disebut dengan aksi kontrol laju. Pada system ini gaya pengaturan sebanding dengan perubahan *rate* dari *error*. Sistem ini tidak stabil karena adanya perubahan suatu kesalahan yang cepat mengakibatkan aksi koreksi yang besar dari perubahan kesalahan tersebut. Jadi kontrol ini mencoba melihat lebih lanjut bahwa proses sedang mengalami perubahan yang lebih besar dari yang diharapkan berdasarkan pada pengukuran saat itu. Pada pengaturan (D) ini sinyal hasilnya yang bersifat mendahului.

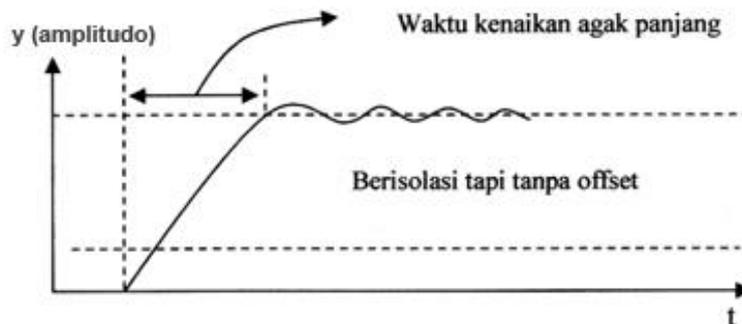


Gambar 2.22 : Aksi Control Derivatif

d. Aksi Control Proporsional + Integral (Pi)

Kontrol dengan PI merupakan gabungan dari aksi kontrol proporsional dengan control integral. Pengontrol dengan PI digunakan untuk menghilangkan offset akibat gangguan dari pengontrolan proporsional. Jadi pada dasarnya system ini digunakan untuk mendapatkan kestabilan pengaturan dan kelangsungan yang dilaksanakan oleh komponen proporsional. Sedangkan komponen integral diharapkan untuk

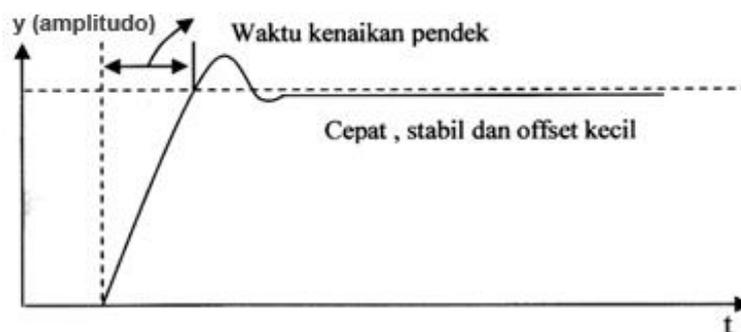
menghilangkan *offset* yang timbul pada aksi kontrol proporsional. Hasil pengukuran menunjukkan masih adanya kondisi osilasi yang kecil.



Gambar 2.23 : Aksi Control PI

e. Aksi control dengan control Proporsional dengan Derivative

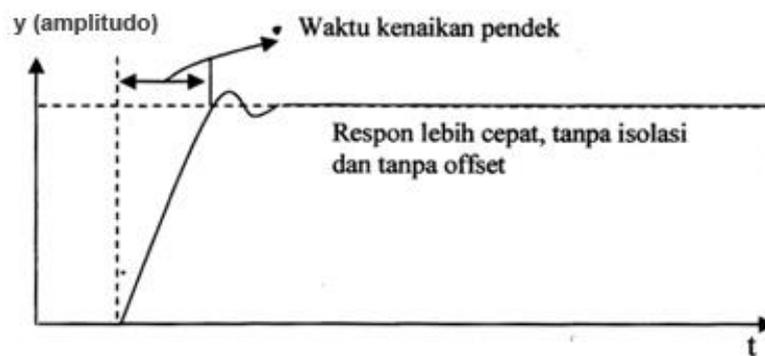
Aksi kontrol ini menginginkan komponen proporsional menjaga kestabilan dan kelangsungan pengaturan sementara komponen Derivatif melaksanakan aksi perubahan dengan cepat jika didapatkan gangguan system yang sedang dikontrol. Pengontrol ini ditujukan untuk mendapatkan kepekaan yang tinggi karena dapat memberikan respon yang tinggi terhadap laju kesalahan. Pada awal penyimpangan efek pemulihannya yang kemudian menjadi normal.



Gambar 2.24 : Aksi Control PD

f. Aksi kontrol *Proporsional + Integral + Derivatif (PID)*

System ini menginginkan komponen P mempertahankan kestabilan, sedangkan komponen I menghilangkan *Offset* dan Komponen D mengadakan pengaturan untuk kecepatan. Output pengontrolan sebanding dengan laju perubahan sinyal penggerak, controller jenis ini digunakan untuk mendapatkan kepekaan yang tinggi, karena dapat memberikan respon yang jauh lebih baik terhadap laju kesalahan penggerak



Gambar 2.25 : Aksi kontrol PID

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 2 bulan, mulai dari Desember 2017 sampai dengan Januari 2018 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di Hiring Ere Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep yaitu Industri PT. Semen Tonasa.

B. Metode Penelitian

Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

C. Langkah-langkah Penelitian

Metode penulisan ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penulisan ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

2. Metode Penelitian

Mengadakan penelitian dan pengambilan data di Pembangkit Listrik Tenaga Gas pada unit pembangkitan di Biring Ere Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep yaitu Industri PT. Semen Tonasa.

3. Metode Diskusi / Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi / wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi di Biring Ere Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep yaitu Industri PT. Semen Tonasa

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pembakaran Bahan Baku Semen

Seperti kita ketahui bersama bahwa semen merupakan perekat hidraulik yang memakai unsur-unsur utama terak (campuran antara C₃S₃, C₂S, C₄AF, dan C₃A) dan gypsum (CaSO₄, 2H₂O).

Untuk memproduksi terak semen, bahan baku (*raw meal*) harus dipanaskan sampai ± 1450 °C, sehingga terjadi proses terakisasi. Proses pembakaran *raw meal* membutuhkan kondisi oksidasi untuk menghasilkan terak yang berwarna abu-abu kehijauan. Jika kondisi ini tidak memadai dihasilkan terak yang berwarna coklat sehingga semen yang dihasilkan kekuatannya rendah dan waktunya settingnya rendah.

B. Sistem Pembakaran

Pada PT. Semen Tonasa unit IV mempunyai sebuah kiln sebagai tempat pembakaran bahan baku dari semen yaitu FL Smith, 4 *Stage Suspension Preheater* diameter kiln shell 5,5 meter dengan panjang kiln shell 87 meter yang digerakkan oleh dua motor DC (DC Drive). Pembagian tempat pembakaran terbagi atas 4 yaitu :

1. Prapemanasan (*Preheater*)

Prapemanasan yang digunakan adalah sistem luar (*External Preheater*) yaitu dengan menggunakan uap yang berasal dari dalam kiln selain digunakan

sebagai prapemanasan juga digunakan sebagai pencegahan penggumpalan dan lengketnya bahan pada dinding.

2. Kalsinasi (*Calcining*)

Daerah kalsinasi adalah daerah pemanasan hingga menempati temperatur yang tinggi yaitu 900 derajat sampai 1150 derajat tapi derajat ini masih dibawah titik lebur untuk menghilangkan kandungan yang dapat menguap.

3. Pelelehan (*Sintering*)

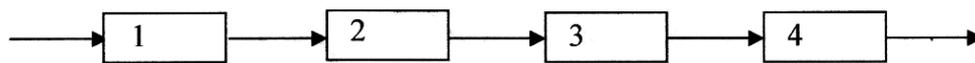
Daerah pelelehan inilah yang melelehkan bahan baku. Pada daerah ini suhu mencapai 1450-1500 derajat. Daerah ini sendiri merupakan daerah dalam tabung kiln untuk melakukan proses pembakaran yang sebenarnya dalam produksi semen, sebab daerah ini menentukan baik dan buruknya mutu dari proses pembuatan semen.

4. Pendinginan (*Grate Cooler*)

Pada daerah pendinginan dilakukan dengan *Grate Cooler* dimaksudkan untuk mendapatkan pendinginan yang cepat untuk mengurangi pengaruh kristal sehingga diperoleh kualitas terak yang lebih baik karena adanya perpindahan panas yang baik sehingga jenis pendinginan ini dapat menerima suhu terak yang mencapai 1360-1400 C. Sedangkan pendinginan dalam *grate cooler* dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa buah motor fan. Penggunaan udara yang berlebih dapat dilakukan yang berkisar antara 1,8-2,4 Nm /kg sehingga suhu terak bisa mencapai 120-150 C. Uap panas yang timbul dalam *Grate cooler* dapat digunakan kembali untuk

melakukan proses pembakaran dalam kiln sehingga penggunaan energi dapat dibuat lebih efisien.

Setelah melewati proses pendinginan maka terak atau clinker akan digiling dengan *Clinker Crusher* sampai sebesar genggam tangan (orang dewasa), sedangkan spesifikasi motor yang digunakan pada *clinker Crusher* ialah 380 Volt, 1480 Rpm. Terak ini dimasukkan ke silo terak (*dumm*). Terak yang ada didalam silo akan siap dimasukkan ke penggilingan terakhir (*Finish Mill*) yang juga dicampur dengan gypsum pada penggilingan terakhir, dan untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada diagram blok sebagai berikut



(1).Silo (2).Penampung material awal (3).Kiln (4).penampungan material jadi

Gambar 4.1 Diagram blok, untuk daerah yang berhubungan langsung dengan kiln

Berdasarkan gambar tersebut, maka untuk diagram blok :

- a. Tempat penampungan bahan material (silo) untuk bahan baku semen dalam bentuk powder yang berasal dari *raw mil*.
- b. Tempat material yang nantinya akan dibakar dalam kiln, tempat ini merupakan tempat pemanasan awal dari material, dan menentukan banyaknya material yang akan dibakar dalam kiln bagian ini yang terdiri dari *syclone-syclone*.
- c. Pada bagian ini sendiri merupakan tempat pembakaran utama dari bahan baku semen yang berupa tanur putar (kiln) yang digerakan oleh dua motor

DC dan suhu untuk memanaskan material tersebut berkisar antara 1450-1500 °C.

- d. Tempat ini adalah tempat penampungan bahan material yang sudah dibakar, material disini akan didinginkan oleh fan motor hingga mencapai suhu 120 °C serta sebuah motor *crusher*.

1. Motor Utama Pada Pembakaran Kiln

Motor penggerak pada kiln adalah sebuah motor DC yang mempunyai klasifikasi HP - 630 KW, AMP - 870, Volt = 780, Rpm = 1000. Pada setiap kiln mempunyai motor penggerak yang saling membantu, motor penggerak ini mempunyai masing-masing pendingin. Pengaturan kecepatan pada motor DC sangat diperlukan berhubung beban yang sangat besar dan berat, selain itu juga sifat motor DC yang tidak berhenti jika kelebihan/kekurangan daya melainkan kecepatannya menurun hal ini menjadi alasan utama dipilihnya motor DC sebagai penggerak utama pada kiln. Pemutaran kiln yang panjangnya 87 meter ini dibantu dengan 2 pasang bantalan dengan jarak 20 meter. Output 2 motor DC yang saling membantu ini tidak langsung memutar kiln melainkan dihubungkan keporos *reducer (Gear Box)*. Output dari *gear box* inilah yang nantinya dipakai untuk memutar kiln ada empat alasan yang kenapa memakai *gear box* yaitu :

- a. Untuk memutar beban yang besar.
- b. Untuk mereduksi putaran dari motor utama.

- c. Output dari reducer dapat disesuaikan dengan beban besar maupun yang kecil, tergantung dari konstruksi dari konstruksi gear box itu sendiri.
- d. Agar kinerja motor maksimal.

2. Daya Pada Motor DC

Besar daya motor DC yang digunakan pada kiln sangat tergantung pada kecepatan putar kiln, jumlah *feeding*, jumlah bahan bakar (batu bara), bukaan damper ID fan serta jumlah udara dalam *grate cooler*. Parameter ini dapat diubah oleh operator setiap saat, perubahan parameter ini karena adanya parameter lain yang kadang tidak stabil, parameter lain tersebut adalah berupa temperatur *zona kiln*, kadar oksigen dalam *cyclone*, temperatur *cyclone*, tekanan gas dalam *cyclone* tekanan dalam kiln. Karena munculnya kondisi tersebut yang kadang tidak stabil, maka dengan demikian menjadi petunjuk bagi operator untuk mengendalikan proses. Proses pengendalian ini langsung dilakukan pada kiln, yaitu berupa perubahan putaran (rpm). Nilai rpm ini merupakan nilai set point yang dilakukan oleh operator karena adanya perubahan lain, jumlah *feeding*, jumlah bahan bakar, temperature material yang akan sebelum dibakar dalam kiln. Perubahan-perubahan ini berdampak pada arus dan torsi pada motor DC kiln. Pengaruh arus dan torsi ini yang akan berdampak langsung pada daya kiln, maka dengan demikian daya untuk motor DC kiln dapat ditentukan karena adanya alat transduser arus yang menyampaikan informasi kepusat pengendali berapa besar arus yang

mengalir kemotor DC kiln, maka dengan demikian daya untuk motor dapat ditentukan sebagai berikut.

Namun dengan demikian harus terlebih dahulu harus dicari perbandingan putaran gear box dengan putaran motor DC.

Perbandingan gear (untuk set point 0,35 rpm) jika diketahui putaran motor 1000 rpm untuk tegangan 780 Volt maka :

Rumus Perbandingan putaran gear box dengan putaran motor DC:

$$\frac{1000}{3,5} = \frac{x}{0,35} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$x = \frac{1000 \times 0,35}{3,5}$$

$$x = \frac{350}{3,5}$$

$$x = 100 \text{ rpm (untuk star awal)}$$

Untuk set point 2,4 rpm

$$\frac{1000}{3,5} = \frac{x}{2,4}$$

$$x = \frac{1000 \times 2,4}{3,5}$$

$$x = \frac{2400}{3,5}$$

$$x = 685 \text{ rpm}$$

Untuk set point 2,9 rpm

$$\frac{1000}{3,5} = \frac{x}{2,9}$$

$$x = \frac{1000 \times 2,9}{3,5}$$

$$x = \frac{2900}{3,5}$$

$$x = 828,5 \text{ rpm}$$

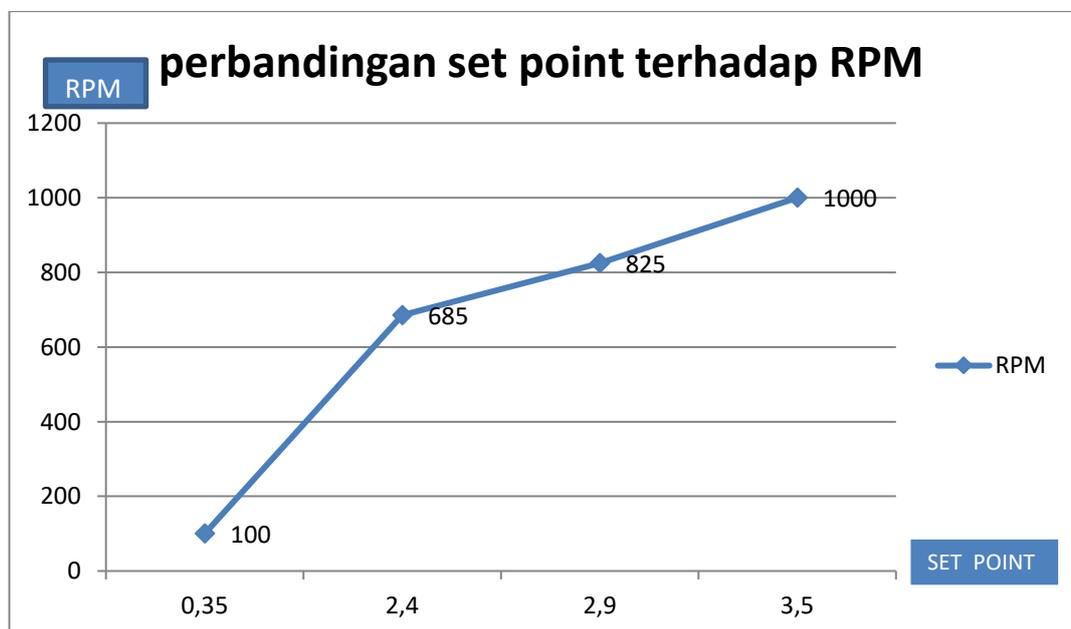
Untuk set point 3,5 rpm

$$\frac{1000}{3,5} = \frac{x}{3,5}$$

$$x = \frac{1000 \times 3,5}{3,5}$$

$$x = \frac{3500}{3,5}$$

$$x = 1000 \text{ rpm}$$



Gambar 4.2 : Grafik data perbandingan *gear box* pada setiap set point

Maka untuk set point 0,35 rpm (untuk star awal) $I = 20\%$ dari I nominal 870 Ampere, (berlaku untuk semua set point).

$$I = \frac{870}{100} \times 20 \dots\dots\dots(3.2)$$

$$I = 174 \text{ ampere}$$

Untuk set point 2,4 rpm dengan $I = 50\%$ dari I nominal

$$I = \frac{870}{100} \times 50$$

$I = 435$ Ampere

Untuk set point 2,9 rpm dengan $I = 47\%$ dari I nominal

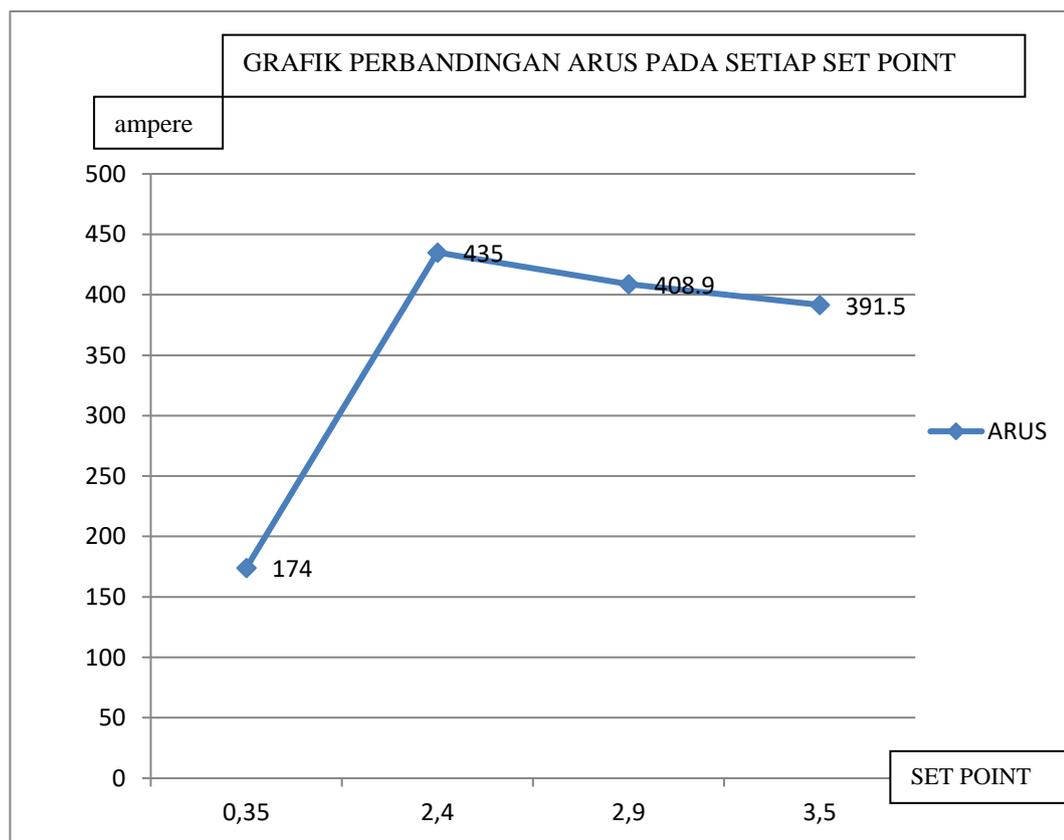
$$I = \frac{870}{100} \times 47$$

$I = 408,9$ Ampere

Untuk set point 3,5 rpm dengan $I = 45\%$ dari I nominal

$$I = \frac{870}{100} \times 45$$

$I = 391,5$ Ampere



Gambar 4.3 : Grafik data perbandingan arus yang motor DC pada setiap set point

Dari hasil yang didapat diatas, dapat dibuktikan dengan menghitung

$$P = T. 2 \pi. (n/60).....(3.3)$$

Ket : P = Daya

T= Torsi

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{2\pi n/60} \\ &= \frac{630000}{2.3,14 \times 1000/60} \\ &= 6043 \text{ N-m (untuk torsi nominal)} \end{aligned}$$

1. Untuk set point 0,35 rpm T = 18 % dari Torsi nominal;

$$T = T_n \times 18 \%$$

$$T = \frac{6043}{100} \times 18$$

$$T = 1087,74 \text{ N-m}$$

Maka dapat diperoleh daya, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= T.2\pi.n/60 \\ &= 1087,74.2 \times 3,14. 100/60 \\ &= 1087,74.6,28. 1,6 \\ &= 113,85 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka tegangan motor, untuk set point 0,35 rpm adalah

$$\begin{aligned} V &= \frac{P}{I}.....(3.4) \\ &= \frac{11385}{174} \\ &= 65,43 \text{ Volt} \end{aligned}$$

2. Untuk set point 2,4 rpm T = 47 % dari torsi nominal,

$$T = T_n \times 47 \%$$

$$T = \frac{6043}{100} \times 47$$

$$T = 2840,2 \text{ N-m}$$

Maka dapat diperoleh daya, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= T \cdot 2\pi \cdot n / 60 \\ &= 2840,21 \cdot 2 \times 3,14 \cdot 685 / 60 \\ &= 2840,21 \cdot 6,28 \cdot 11,41 \\ &= 203514 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka tegangan untuk motor, untuk set point 2,4 rpm adalah

$$\begin{aligned} V &= \frac{P}{I} \\ &= \frac{203514}{435} \\ &= 467,8 \text{ Volt} \end{aligned}$$

3. Untuk set point 2,9 rpm dengan $T = 44 \%$ dari torsi nominal

$$T = T_n \times 44 \%$$

$$T = \frac{6043}{100} \times 44$$

$$T = 2658,92 \text{ N-m}$$

Maka dapat diperoleh daya, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= T \cdot 2\pi \cdot n / 60 \\ &= 2658,92 \cdot 2 \times 3,14 \cdot 828,5 / 60 \\ &= 2658,92 \cdot 6,28 \cdot 1,6 \\ &= 230517 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Maka tegangan motor untuk set point 2,9 rpm

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{p}{I} \\
 &= \frac{203517}{408,9} \\
 &= 563,7 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

4. Untuk set point 3,5 rpm dengan $T = 41 \%$ dari torsi nominal.

$$T = T_n \times 41 \%$$

$$T = \frac{6043}{100} \times 41$$

$$T = 2477,63 \text{ N-m}$$

Maka dapat diperoleh daya, sebagai berikut :

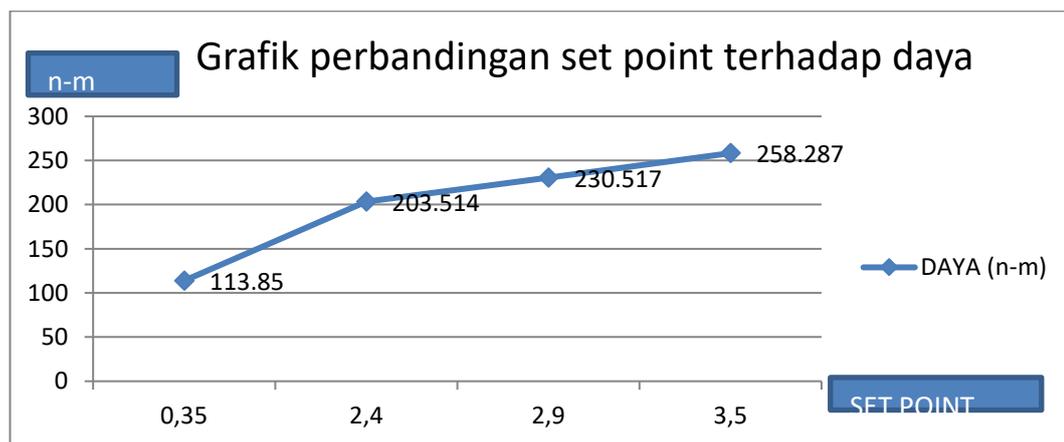
$$\begin{aligned}
 P &= T \cdot 2 \pi \cdot n/60 \\
 &= 2477.63.2 \times 3,14.1000/60 \\
 &= 2477,63.6,28. 16,6 \\
 &= 258287 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Maka tegangan motor untuk set point 3,5 rpm

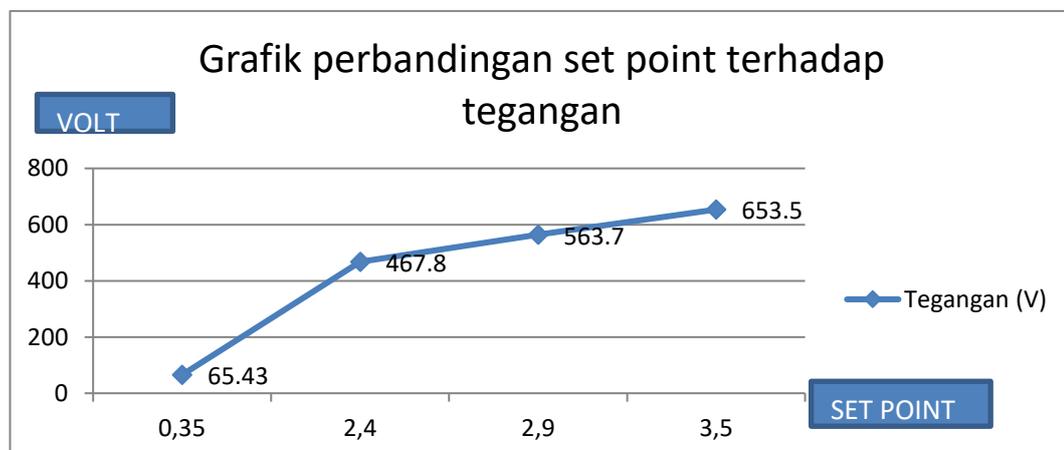
$$\begin{aligned}
 V &= \frac{p}{I} \\
 &= \frac{258287}{395,5} \\
 &= 653,5 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Set point	Torsi	Daya	Tegangan
0,35	1087,74 n-m	113,85 W	65,43 V
2,4	2840,2 n-m	203,514 W	467,8 V
2,9	2658,92 n-m	230,517 W	563,7 V
3,5	2477,63 n-m	258,287 W	653,5 V

Table 4.1 : Data perbandingan Torsi, Daya, dan Tegangan pada setiap set point



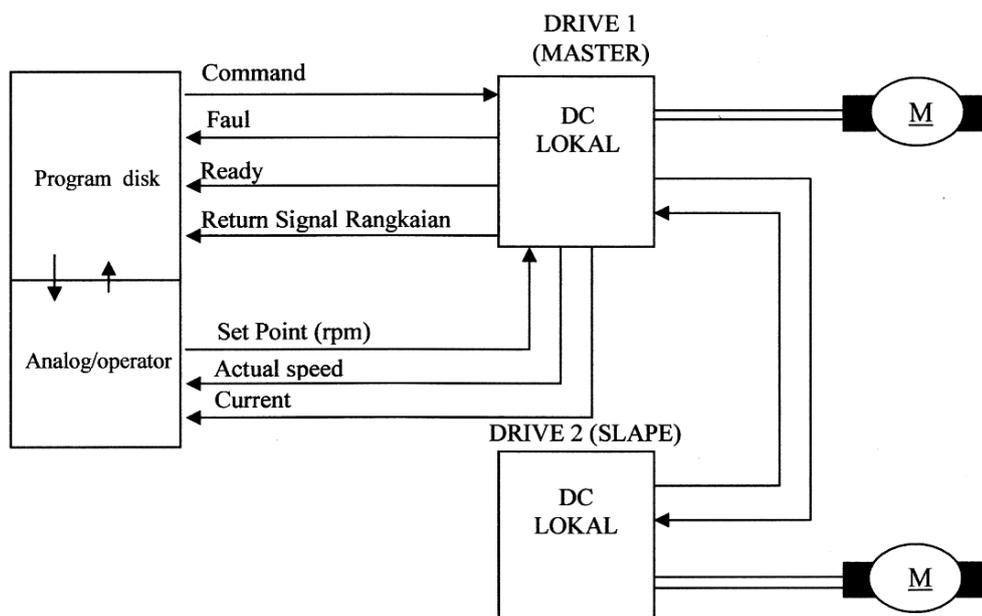
Gambar 4.4 : Grafik perbandingan daya pada setiap set point



Gambar 4.5 : Grafik perbandingan tegangan pada setiap set point

3. Pengaturan Kecepatan Pada Motor Utama Pada Kiln

Pada pengaturan kecepatan motor utama digunakan rangkaian yang menggunakan *Thyristor*. *Thyristor* yang digunakan jenis *thyristor GTO (Gate Turn Off)* yang mempunyai bentuk pulsa gelombang yang dapat diatur tergantung dari pengaturan tegangan impuls yang diberikan pada gate, sehingga harga tegangan yang diinginkan pada motor kiln dapat diatur, maka dengan demikian kecepatan pada motor utama untuk penggerak kiln dapat diatur, sesuai dengan harga tegangan impuls yang diberikan pada gate, pemberian tegangan impuls ini tidak langsung diberikan oleh operator tetapi hanya memberikan nilai set point yaitu nilai berupa putaran langsung dari kiln, dengan demikian yang memberikan pengaturan langsung pada gate adalah rangkaian yang sudah terprogram dalam rangkaian yang berada dalam panel motor DC dari kiln.



Gambar 4.2 : Sistem Pengendalian motor DC kiln IV

Seperti pada gambar yang ada diatas, maka dapat dijelaskan tentang system kerja untuk pengendalian motor DC di kiln. Berhubung karena system pengendalian yang digunakan pada kiln IV begitu kompleks maka penulis hanya dapat menjelaskannya secara singkat.

Pertama-tama yang perlu diperhatikan adalah antara program yang ada dalam disk pada panel yang ada pada pusat pengendalian harus mempunyai komando terhadap system yang ada dilapangan (DC local) kemudian pada DC local memberikan informasi kembali kepusat pengendali. Pemberian informasi ini akan memberikan petunjuk pada operator apakah terjadi kesalahan pada system atautkah system tersebut dalam keadaan siap (*ready*) untuk dijalankan. Hal ini penting diperhatikan karena akan menentukan keawetan system yang digunakan serta kelancaran dalam melakukan proses produksi nantinya. Sedangkan untuk return signal rangkaian sendiri berupa umpan balik dari tranduser-tranduser yang berhubungan langsung dengan operasi kiln dalam menjalankan produksi.

Setelah operator melihat tidak adanya kesalahan system atau system tersebut dalam keadaan siap (*ready*) maka operator dapat mengoperasikan system untuk menjalankan proses produksi. Untuk menjalankan proses produksi tersebut harus memberikan nilai (harga) set point dari kiln yaitu putaran langsung dari kiln (bukan harga rpm dari motor DC yang diberikan oleh operator) sebab putaran motor akan di reduksi oleh gear box, output dari *reducer* inilah yang diketahui oleh operator yang berupa putaran langsung dari kiln. Tetapi yang dalam yang diukur adalah putaran poros dari motor DC kiln

dengan menggunakan *encoder* dan akan dibandingkan output dari *reducer*. Perhitungan perbandingan ini dilakukan sendiri oleh program yang ada pada panel lapangan dan akan di informasikan kepusat pengendali yang berupa actual speed. Selain actual speed yang ditampilkan nilai arus untuk pemakaian kedua motor DC juga ditampilkan, nilai arus ini akan memungkinkan untuk melihat torsi yang tersedia dari motor DC kemudian dapat melakukan penambahan produksi

4. Prinsip Kerja Dari Kiln

Prinsip kerja dari tempat pembakaran bahan baku semen (Kiln) adalah jika tabung kiln yang terisi material bahan baku dari semen yang berupa *limestone*. Maka tabung kiln tersebut dapat dijalankan dengan menggunakan dua motor DC yang terdapat pada kedua sisi kiln yang dihubungkan melalui *gear box*..Sedangkan untuk menjalankan motor tersebut dapat dijalankan secara manual ataupun secara digital yang melalui perantara alat control, yang diantaranya berupa *thyristor*, *thyristor* ini berfungsi sebagai penyearah (*konverter*) dari AC menjadi DC yang sekaligus sebagai pengatur kecepatan untuk motor DC. Maka dengan demikian pengaturan terhadap kiln juga dapat dicapai, sehingga kualitas pembakaran dari bahan baku semen(*lime stone*) dapat dicapai sesuai dengan standar yang ada pada perusahaan tersebut.

5. Motor Darurat

Motor darurat atau *emergency motor* yang juga merupakan penggerak lain itu sendiri, tetapi motor ini menggerakkan kiln dengan beban nol (tanpa beban). Motor ini hanya digunakan untuk mencegah pembengkokan pada tanur putar atau perbaikan karena tanur harus benar-benar dingin baru bisa dihentikan.

C. Pengendalian Operasi

Untuk mendapatkan kualitas produk yang maksimal penggunaan bahan bakar yang efisien serta operasi yang aman, maka operasi peralatan produksi yang telah diterangkan di atas harus dikendalikan. Dalam pengendalian operasi peralatan yang dikenal ada dua jenis parameter, yaitu parameter control dan parameter variabel. Yang dimaksud dengan parameter control adalah suatu besaran yang nilainya dapat langsung diubah oleh operator pada alat kontrol sehingga dapat langsung mengubah kondisi dari suatu operasi. Yang termasuk dalam parameter operasi kontrol antara lain sebagai berikut:

- Kecepatan putaran kiln (rpm);
- Jumlah *feeding* (ton/jam);
- Jumlah bahan bakar, coal;
- Bukaannya damper inlet ID fan atau putaran ID fan;
- Jumlah udara pendinginan pada *grate cooler*.

Parameter variabel merupakan besaran yang nilainya mengindikasikan kondisi suatu system. Parameter ini tidak diubah langsung oleh operator pada

alat kontrol dan untuk mengubahnya harus terlebih dahulu mengubah parameter kontrol. Jadi parameter variabel ini merupakan konsekuensi proses apabila parameter kontrolnya berubah. Yang termasuk variabel kontrol.

- *Torsi kiln (%)*;
- *Temperature Zona Pembakaran*;
- *Kadar O₂ pada inlet dan top Cyclone (%)*;
- *Kadar CO₂ pada inlet dan top Cyclone (%)*;
- *Temperature top Cyclone (°C)*;
- *Draft (tekanan gas) dalam top Cyclone (mBar)*;
- *Draft inlet kiln (mBar)*.

Dengan memperhatikan parameter variable tersebut bagi *engineer* proses akan dapat mengetahui apakah proses produksi berjalan dengan baik atau tidak. Dengan demikian ketelitian penunjukkan variable inilah yang merupakan petunjuk utama bagi *engineer* proses dalam mengendalikan proses.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada PT semen Tonasa tentang system pengontrolan motor DC Pada kiln maka dapat ditarik suatu kesimpulan, bahwa Untuk mengontrol motor DC pada kiln dapat dilakukan dengan cara memberikan set point pada unit pengendali yang sudah terprogram melalui perantara thyristor. dimana tegangan berbanding lurus dengan kecepatan motor, semakin besar tegangan yang diberikan maka semakin besar pula RPM (kecepatan motor) yang dicapai.

B . Saran

1. Untuk mencegah kerusakan pada peralatan listrik akibat kedip tegangan sebaiknya industri seperti PT.Semen Tonasa dapat memakai DVR (Dynamic Voltage Restorer) terutama mencegah kerusakan terhadap daya drive seperti converter dan inverter.
2. Adapun tugas akhir ini kiranya dapat dijadikan referensi untuk tugas akhir lainnya ataupun perencanaan pentanahan dan penangkal petir yang dapat diaplikasikan pada bangunan lain, meskipun demikian tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan maka diharapkan kritik yang membangun dari kawan-kawan ataupun pembaca lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Baiman, *Instalasi Listrik*, Pusat Pengembangan ITB Bandung., 2014.
- Dhokal,P.S.,*Basic Electric Engineering Volume 1*.McGraw-Hill.1998
- Gabriel,olguin ,*Voltage dip (sag) estimation in power system based on stochastic assessment and optimal monitoring*, ,*chalmers university of technology*,Goteborg Sweden 2005
- Harten, Van., Setiawan, P, E, Ir., *Instalasi Listrik Arus Kuat I, II, III*, Bina Cipta, Bandung, 2013.
- Hutauruk, T.S. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga & Pengetanahan Peralatan*.Jakarta: Erlangga.,2013
- Ianon Pijoyono, Drs., *Dasar Teknik Listrik*, Andi, Yogyakarta, 2013.
- Pabla, A, S., Abdul Hadi, Ir., *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Bandung, 2013.
- Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, cetakan kedua, Yayasan PUIL, Jakarta 2002
- Petruzella Frank D , *Elektronika Industri*, Andi Yogyakarta,1996
- Rasyid Muhammad H., *Elektronika Daya Jilid IPT*. Prenhalindo, Jakarta. 1999
- Sumanto, MA, Drs..*Mesin Arus Searah cetakan kedua*,Andi Offset, Yogyakarta. 1991
- Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, ITB, Bandung, 1991.
- Ground Level Systems. 2016. Aw The importance of electrical ground testing. (<http://groundlevelsystems.com/electrical-ground-testing>. diakses pada Rabu, 20 Desemberl 2017)
- Inspecting The World 2016. Used as Grounding Electrodes (<http://www.nachi.org/rebar.htm>. diakses pada Rabu, 20 Desember 2017)