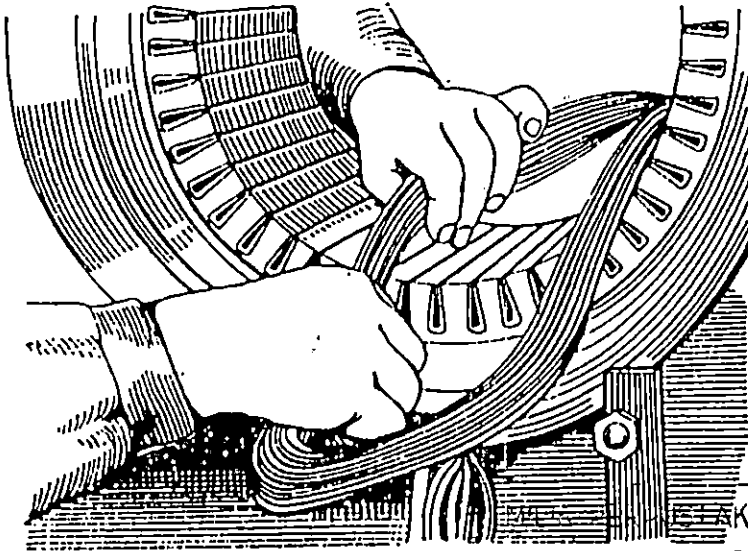


K2 14-10-94

# REPARASI MOTOR LISTRIK BERDAYA KECIL



PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

DITERIMA TGL

8-12-94

SUMBER/HARGA

hs

KOLEKSI

KK1

No INVENTARIS

1716 (hs/94-r263)

OLEH KLASIFIKASI

621.31 ars 72

OLEH  
Drs. Chaidir Arsuad  
Drs. Ahyanuardi

FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN  
INSTITUT KUGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG

1994

MILIK UPT PERPUSTAKAAN  
IKIP PADANG

## KATA PENGHANTAR

Kemajuan ilmu dan teknologi demikian pesatnya, sehingga dirasa perlunya suatu buku tentang hal teknologi tersebut. Tanpa adanya buku-buku yang dapat mengungkapkan teknologi itu, tidak mungkin berkembang secepat apa yang kita saksikan sekarang.

Penggunaan segala macam motor listrik sudah demikian luas dan merata, serta beraneka ragam motor listrik digunakan mulai dari berdaya besar, kecil dan sederhana hingga yang rumit. Motor listrik digunakan karena konstruksinya yang sederhana, kokoh dan harganya yang relatif rendah, mudah dirawat dan sedikit gangguan. Motor listrik yang telah lama beroperasi tentu akan mengalami kerusakan dan membutuhkan reparasi.

Buku reparasi motor listrik berdaya kecil ini ditulis untuk membantu mahasiswa, teknisi, montir dan siapa saja yang berhubungan dengan industri, bengkel dan alat listrik rumah tangga yang memerlukan reparasi motor listrik. Berbagai macam motor berdaya kecil akan dibahas seperti motor split fase, kapasitor start, kapasitor permanen, kapasitor ganda, universal dan repulsi dan shaded pole. Teknik menggulung-ulang dan rancangan baru kumparan stator, rotor tentu saja dapat digunakan untuk sumber arus bolak balik atau arus searah.

Dalam penyusunan buku ini, mengingat tak ada gading yang tak retak, tak ada buku yang sempurna ditulis. Oleh sebab itu penulis meminta saran-saran dan kritikan yang berguna dari pembaca. Akhirnya, buku reparasi motor listrik berdaya kecil ini dapat bermanfaat dan menjadi sumber informasi bagi mahasiswa jurusan elektro dalam mengikuti mata kuliah mesin-mesin listrik.

Padang, Maret 1994

Penulis

## DAFTAR ISI

	Hal
KATA PENGANTAR . . . . .	i
DAFTAR ISI . . . . .	ii
DAFTAR TABEL . . . . .	iii
DAFTAR GAMBAR. . . . .	iv
I. PENDAHULUAN . . . . .	1
A. Jenis Motor-Motor Listrik Berdaya Kecil. . . . .	2
B. Konstruksi dan Parameter motor listrik . . . . .	5
C. Kemungkinan Kerusakan Motor Listrik. . . . .	14
D. Instrumen dan Perlengkapan Reparasi Motor List .	17
II. LANGKAH-LANGKAH REPARASI MOTOR LISTRIK . . . . .	19
A. Analisis Kerusakan Motor Listrik . . . . .	19
B. Gangguan-Gangguan Pada Motor Listrik . . . . .	20
C. Membongkar Motor Listrik . . . . .	21
D. Pengumpulan Data Dari Motor Listrik. . . . .	23
III. BENTUK KUMPARAN STATOR DAN ROTOR. . . . .	24
A. Kumparan Stator Menggunakan Belitan Terbagi . . . . .	25
B. Kumparan Stator Menggunakan Belitan Terpusat. . . . .	32
C. Kumparan rotor. . . . .	34
IV. PERENCANAAN LILITAN MOTOR-MOTOR LISTRIK . . . . .	44
A. Motor-Motor Non Salient . . . . .	44
B. Stator Salient (Sepatu Kutub) . . . . .	61
V. TEKNIK PERBAIKAN MOTOR LISTRIK. . . . .	74
A. Perbaikan Motor Split Fase . . . . .	74
B. Perbaikan Motor Universal. . . . .	88
DAFTAR PUSTAKA . . . . .	92

## DAFTAR TABEL

1. Hubungan Arus Dan Kerapatan Arus Dalam Kumbaran	34
2. Hubungan Daya Terhadap Effesiensi Dan Faktor Kerja	46
3. Hubungan Daya Output, Input Dan Arus Beban Penuh	48
4. Hubungan Kecepatan Synkron Per Detik Terhadap Frekuensi Kerja Dan Pasang Kutub	49

## DAFTAR GAMBAR

1. Konstruksi Rotor Sangkar	4
2. Konstruksi Rotor Lilit	5
3. Rangkaian dan Diagram Vektor Motor Split Fase	6
4. Rangkaian dan Diagram Vektor Motor Kapasitor Start	7
5. Rangkaian dan diagram Vektor Motor Kapasitor Permanen	8
6. Rangkaian dan Diagram Vektor Motor Kapasitor Ganda	9
7. Konstruksi Motor Shaded Pole	10
8. Konstruksi Motor Universal	11
9. Konstruksi Motor Repulsi	13
10. Lilitan Lapis Tunggal dan Lilitan Lapis Ganda	25
11. Bentangan Kumparan Terbagi	26
12. Bentangan Kumparan Utama 36 alur dengan 4 Alur/kutub	27
13. Bentangan Kumparan Bantu 36 alur dengan 3 Alur/kutub	27
14. Bentangan Kumparan Utama dan Bantu dengan 36 Alur	29
15. Bentangan Kumparan Utama 36 Alur dengan 3 Alur/kutub	29
16. Bentangan Kumparan Bantu 36 Alur dengan 3 Alur/kutub	30
17. Bentangan Kumparan Utama Dan Bantu 36 Alur dengan 3 Alur/kutub	31
18. Bentuk Kumparan Terpusat Teras Sepatu Kutub	33
19. Bentangan Kumparan Rotor	36
20. Lebar Kumparan, Kisar Komutator Dan Lapis Dalam Alur ( $u$ )	36
21. Bentangan Lilitan Kumparan Gelung Tunggal	38
22. Betangan Kumparan Gelung Majemuk ( $m = 3$ )	39
23. Bentangan Kumparan Gelung Majemuk ( $m = 2$ )	40
24. Belitan Gelombang Tunggal	41
25. Betangan Lilitan Kumparan Gelombang Tunggal	42
26. Belitan Gelombang Majemuk	42
27. Bentangan lilitan Gelombang Majemuk ( $m = 3$ )	43
28. Penampang Teras Stator Dan Dimensinya	45
29. Bentangan Kumparan Utama Dan Bantu	54

30. Bentangan kumparan Utama Dan Bantu	59
31. Rangkaian Motor Universal	61
32. Motor Shaded Pole Dengan Teras Core Type	69
33. Motor Setelah Dibongkar	75
34. Motor Split Fase setelah Dibongkar	76
35. Ukuran Inti Stator Dan Alur Motor	77
36. Mal Kumparan Terbagi	78
37. Mal Kumparan Bertingkat Tiga	79
38. Mal Kumparan Datar	79
39. Mal Kumparan Datar Bertingkat	80
40. Susunan Mal Yang Disiapkan	81
41. Kumparan Pin	82
42. Mesin Penggulung Dan Mal Lilitan	82
43. Pemasangan Isolasi Pada Alur Stator	83
44. Isolasi Terpasang Pada Alur Stator	83
45. Memasukan Kumparan Dalam Alur Dengan Tangan	84
46. Mengikat Kedua Kepala Kumparan	85
47. Hubungan Antara Kumparan Utama Dan Bantu	86
48. Penggunaan Growler	87
49. Kumparan Medan Motor Universal	88
50. Sepatu Kutub Dan Mal Kumparan Medan	89
51. Cara Melilit Kumparan Rotor	90

## BAB I PENDAHULUAN

Motor listrik induksi satu fase sering disebut motor asinkron atau tak serempak, karena putaran medan stator tidak sama dengan putaran medan rotor. Putaran sinkron stator ( $n_s$ ) selalu mendahului atau lebih cepat dari putaran medan rotor ( $n$ ).

Putaran medan stator pada mesin arus bolak balik (AC) dihasilkan karena adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan kumparan stator atau rotor dari motor. Medan putar ini akan terjadi bila kumparan stator atau rotor dialiri arus listrik dengan fase banyak, misalnya dua fase, tiga fase dan sebagainya.

Motor induksi satu fase dalam kehidupan sehari-hari digunakan sebagai motor penggerak peralatan-peralatan listrik tertentu. Bentuk dan konstruksi motor induksi satu fase tidak terlalu sukar dan harganya pun tidak terlalu mahal. Selain digunakan pada peralatan rumah tangga motor listrik satu fase juga banyak dipakai oleh industri, bengkel dan kantor. Motor listrik satu fase tergolong kedalam motor *Fractional Horse Power (f.h.p)*.

Struktur dan konstruksi dari motor induksi satu fase pada dasarnya sama dengan motor induksi tiga fase jenis rotor sangkar. Perbedaan hanya terletak pada kumparan statornya yang gunanya untuk pemberian gerak mula (starting).

Motor induksi satu fase bila dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik, tidak akan menghasilkan medan putar pada kumparan statornya, akan tetapi medan pulsasilah yang akan terjadi. Medan pulsasi adalah suatu medan yang punya dua besaran yang sama besar, tetapi berlawanan arah dengan kecepatan sudut yang sama pula. Kedua komponen fluks tersebut akan bergerak berlawanan arah dan dengan kecepatan sudut yang sama, sehingga kedudukannya terhadap ruang

seolah-olah tetap (diam). Kedua komponen fluks ini tentunya akan menghasilkan kopel yang sama besar dan berlawanan arah pula. Kopel resultan yang dihasilkan oleh kedua komponen kopel, pada dasarnya mempunyai kemampuan untuk menggerakkan motor dengan arah maju atau mundur. Akan tetapi dalam keadaan gerak mula, kemampuan gerak maju sama besar dengan kemampuan gerak mundurnya, oleh sebab itu motor akan tetap saja diam. Apabila dengan suatu bantuan gerak mula yang diberikan pada arah maju atau mundur, maka motor akan berputar sesuai dengan arah gerak yang diberikan.

Untuk mengatasi pemberian gerak mula ini cara yang paling tepat adalah membuat fase banyak pada kumparan stator motor. Tujuan membuat fase banyak pada kumparan stator motor adalah untuk membantu medan pulsasi menentukan arah putarnya, sehingga pada kumparan stator motor akan terjadi fluks yang berputar terhadap ruang.

#### A. Jenis Motor-Motor Listrik Berdaya Kecil

Alat-alat listrik yang berdaya kecil pada umumnya digunakan untuk membantu pekerjaan di kantor-kantor dan rumah tangga. Alat-alat listrik diperlukan untuk membantu konversi energi listrik kedalam bentuk energi lain seperti energi mekanis, panas, gelombang (sinyal) dan sinyal gambar. Konversi energi listrik menjadi energi mekanis (gerak putar) seperti motor-motor listrik fase tunggal. Konversi energi listrik menjadi energi panas seperti sterika listrik, oven listrik dan sebagainya. Konversi energi listrik menjadi energi gelombang (sinyal) seperti radio, amplifier dan tape recorder. Sedangkan konversi energi listrik menjadi energi sinyal gambar seperti radar, televisi, vidio kaset dan cecetevi. Motor listrik berdaya kecil menggunakan tenaga listrik lebih kecil dari 1,5 Hp atau 1200 Watt kebawah.



Penekanan pembahasan dalam buku ini adalah tentang konversi energi listrik kedalam energi mekanis yang menggunakan motor-motor listrik berdaya kecil. Beberapa jenis motor listrik berdaya kecil adalah sebagai berikut:

- Motor split fase
- Motor kapasitor start
- Motor kapasitor permanen (run capacitor)
- Motor kapasitor ganda
- Motor shaded pole
- Motor universal (motor seri AC)
- Motor repulsi

Rotor motor listrik satu fase berdaya kecil dibedakan atas dua jenis yaitu rotor sangkar dan rotor lilit. Motor-motor listrik dari kedua jenis rotor tersebut adalah sebagai berikut:

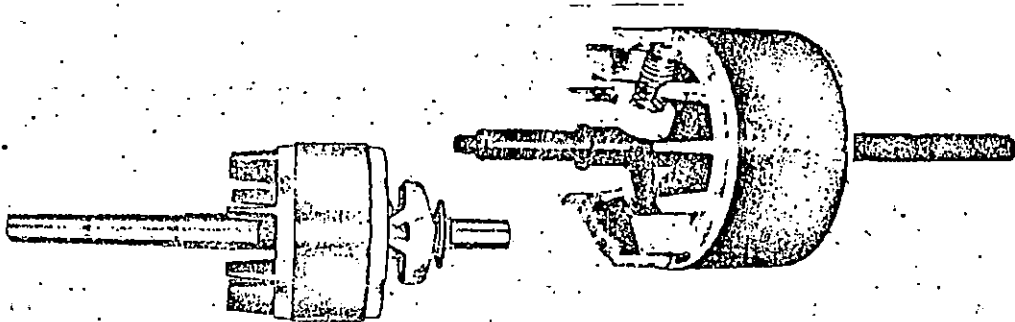
1. Motor listrik rotor sangkar

- a). Motor split fase
- b). Motor kapasitor start
- c). Motor kapasitor permanen (run capacitor)
- d). Motor kapasitor ganda
- e). Motor shaded pole

Konstruksi rotor sangkar berbentuk silinder yang sangat sederhana dibandingkan dengan rotor lilitan. Inti rotor dilengkapi dengan beberapa alur (slot) dan dalam alur tersebut ditempatkan batang-batang tembaga atau aluminium dengan penampang yang besar dan tidak berisolasi. Ujung-ujung batang tersebut dihubungkan oleh cincin dengan bahan yang sama sehingga merupakan satu kurungan. Bentuk susunan batang-batang penghantar dalam alur-alur rotor tersebut, yaitu alur lurus (direct bars) dan alur miring (skewed bars). Dari kedua macam bentuk susunan alur dari rotor sangkar yang banyak digunakan adalah bentuk alur miring, karena mempunyai pengaruh dan kebaikan sebagai berikut:

- Tidak bising pada waktu motor beroperasi.
- Dapat memberikan kopel yang merata pada berbagai posisi rotor.

- Dapat memperbesar perbandingan transformasi efektif antara rotor dan stator motor.
- Batang lebih panjang, sehingga gaya gerak listrik (ggl) rotor bertambah besar.
- Impedansi motor besar pada waktu slip tertentu.
- Slip kecil pada waktu kopel tertentu.



Gambar 1. Konstruksi Rotor Sangkar

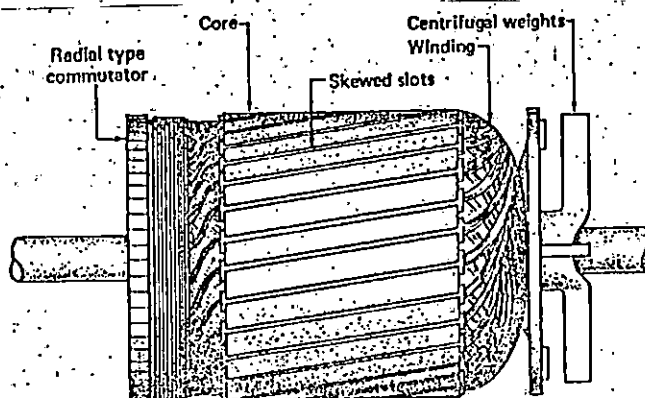
## 2. Motor listrik rotor lilit

Motor-motor listrik yang menggunakan rotor lilit (wound rotor) untuk sumber tegangan bolak balik terutama pada motor induksi satu fase adalah motor universal (motor seri ac) dan motor repulsi. Konstruksi rotor lilit pada motor-motor tersebut sama dengan konstruksi lilitan motor arus searah (motor DC). Susunan lilitannya ada yang berbentuk gelung dan gelombang.

Konstruksi rotor lilit, penempatan kumparan rotornya pada alur-alur yang dibuat berbentuk alur lurus (straight slot) dan alur miring (skewed slot). Ujung-ujung kumparan rotor dihubungkan melalui komutator dengan bantuan sikat arang. Komutator dirangkai dengan kumparan stator dari motor tersebut. Tegangan dari rotor lilitan yang disalurkan melalui sikat komutator, biasanya akan menimbulkan bunga api pada komutator. Untuk menghindari bunga api ini dilakukan dengan bermacam-macam cara, diantaranya dengan memperbanyak lamel (segmen) dari komutator

tersebut, sehingga tegangan setiap lamel komutator menurun (rendah).

Pembentukan jumlah kutub dari rotor lilit ini sama dengan pembentukan jumlah kutub pada stator motor.



Gambar 2. Konstruksi Rotor Lilit

## B. Konstruksi dan Parameter Motor-motor Listrik

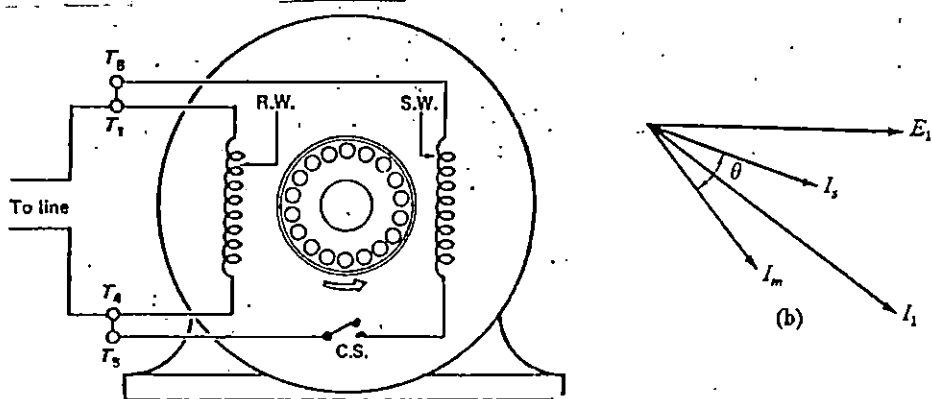
### 1. Motor Split Fase

Motor listrik split fase terdiri dari kumparan utama dan bantu. Letak kumparan utama dan kumparan bantu berbeda sekitar  $90^\circ$  (listrik). Kedua kumparan itu mempunyai tahanan dan reaktansi yang berlainan, sehingga arus yang mengalir dalam kedua kumparan tidak sefase. Beda fase itu dapat diperoleh dengan bantuan tahanan, reaktansi atau kapasitansi.

Reaktansi kumparan utama sangat besar dan tahananannya kecil, sehingga dapat diabaikan. Dengan tahanan yang kecil ini, maka tegangan imbas (E) setara dengan tegangan sumber (V).

Rangkaian dan diagram vektor dari motor split fase seperti pada gambar 3.

Perbedaan arus kumparan utama dengan arus kumparan bantu akan menyebabkan terjadinya perbedaan fluks medan utama dan fluks medan bantu pada stator. Akibat dari perbedaan arus yang mengalir dan fluks yang terjadi akan menghasilkan medan putar yang kecil. Medan putar ini akan menimbulkan kopel mula pada motor. Dengan adanya kopel mula ini maka motor akan berputar. Saklar (S) dilepaskan dengan cara gaya sentrifugal (centrifugal force) pada 75% putaran normal. Kopel start dari motor split fase 150% dari kopel beban penuh ( $I_{st} = 1,5 I_f$ ).



Gambar 3. Rangkaian dan Diagram Vektor Motor Split Fase

Ujung-ujung kumparan utama (main winding) dan kumparan bantu (auxiliary winding) dihubungkan ke terminal motor. Tanda yang digunakan untuk kedua kumparan tersebut yang terdapat pada terminal hubung adalah T1 dan T4 untuk kumparan utama sedangkan T5 dan T8 kumparan bantu. Pemberian kode warna untuk terminal hubung pada motor listrik berdaya kecil sebagai berikut:

T1 = biru	T5 = hitam
T2 = putih	T8 = merah
T3 = orange	P1 = tidak berwarna
T4 = kuning	P2 = coklat

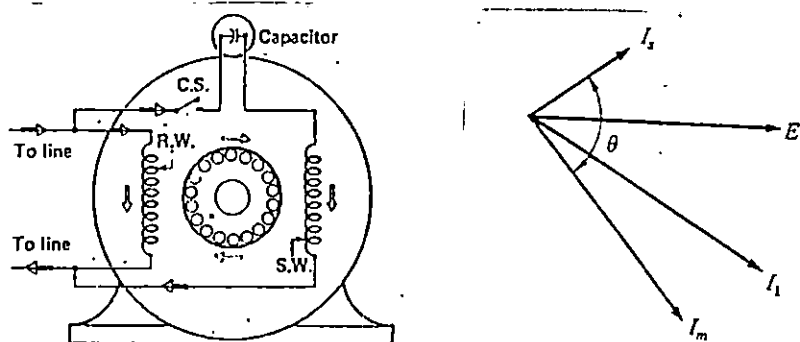
## 2. Motor Kapasitor Start

Prinsip kerja motor kapasitor start pada umumnya sama dengan prinsip kerja motor split fase. Kapasitor start dipakai untuk membuat beda fase antara arus kumparan utama dan arus kumparan bantu. Disamping itu kapasitor juga berfungsi untuk memperbaiki kopel ( $M$ ) dengan mengurangi arus mula  $I_s$  (arus start).

Beda fase antara arus kumparan utama dengan arus kumparan bantu sebesar  $90^\circ$  listrik ( $I_s$  terdahulu  $90^\circ$  listrik dari  $I_m$ ). Kopel mula yang dihasilkan oleh motor kapasitor start ini jauh lebih besar dari motor split fase dan dapat mencapai 250% - 450% dari kopel beban penuh.

Kapasitor yang dipakai ialah kapasitor elektrolit dan "*Shotttime Rated Unit*". Rangkaian dan diagram vektor dari motor kapasitor start hampir sama dengan motor split fase. Pemutusan rangkaian kumparan bantu dan kapasitor menggunakan saklar ( $S$ ) sentrifugal pada kecepatan 75% dari putaran normal.

Kapasitor start yang digunakan untuk motor yang berdaya 1/10 Hp bervariasi antara  $20 \mu F$  -  $30 \mu F$ , sedangkan untuk motor-motor listrik dengan daya 1/2 atau 3/4 Hp digunakan kapasitor  $60 \mu F$  -  $100 \mu F$ . Rangkaian dan diagram vektor motor kapasitor start seperti gambar 4.

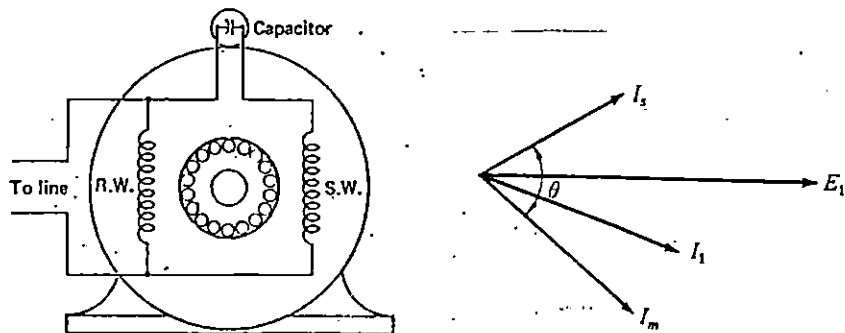


Gbr 4. Rangkaian dan Diagram Vektor Motor Kapasitor Start

### 3. Motor Kapasitor Permanen

Motor kapasitor permanen prinsipnya sama dengan motor kapasitor start. Bedanya motor kapasitor permanen tidak mempunyai saklar sentrifugal. Kapasitor pada motor permanen kapasitor ini terhubung seri dengan kumparan bantu dan bekerja secara paralel pada kumparan utama. Kumparan utama dan kumparan bantu tidak mempunyai perbedaan yang menyolok, baik nilai tahanan, reaktansi induktif maupun dalam jumlah lilitan dan diameter penghantarnya.

Kapasitor permanen yang digunakan adalah jenis kapasitor oil. Kopel mula dari motor kapasitor permanen relatif rendah kira-kira 50% - 100% dari kopel beban penuh. Dengan bantuan SPDT (Striple Pole Double Throw), maka arah putaran motor dapat diatur sesuai dengan arah putaran yang diinginkan. Rangkaian dan diagram vektor motor permanen kapasitor seperti pada gambar 5.

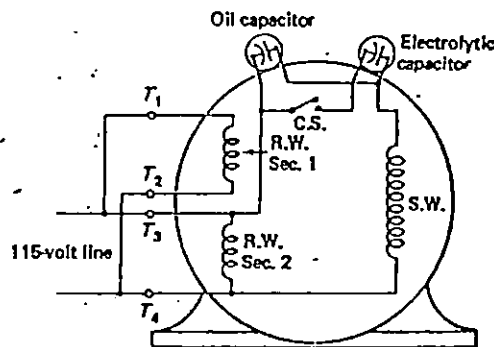


Gambar 5. Rangkaian dan Diagram Vektor Motor Kapasitor Permanen

### 4. Motor Kapasitor Ganda

Motor kapasitor ganda disebut motor dengan motor kapasitor start/running. Motor kapasitor ganda adalah sejenis motor split fase yang dilengkapi dengan dua nilai kapasitor, yaitu kapasitor start dan kapasitor running. Kedua kapasitor tersebut berbeda satu sama lainnya, baik dalam nilai maupun jenisnya. Kapasitor start digunakan type elektrolit sedangkan kapasitor running dipakai type oil (minyak).

Motor kapasitor ganda mempunyai faktor kerja dan efisiensi motor yang baik serta memberikan kopel mula berkisar 100% - 125% dari kopel beban penuh. Motor kapasitor ganda mempunyai gerak mula yang lebih besar dibandingkan dengan motor split fase, sehingga lebih baik digunakan untuk sistem yang memerlukan gerak (daya) lebih besar, seperti refrigerator dan alat-alat listrik rumah tangga lainnya. Rangkaian dan diagram vektor motor kapasitor ganda seperti gambar 6.

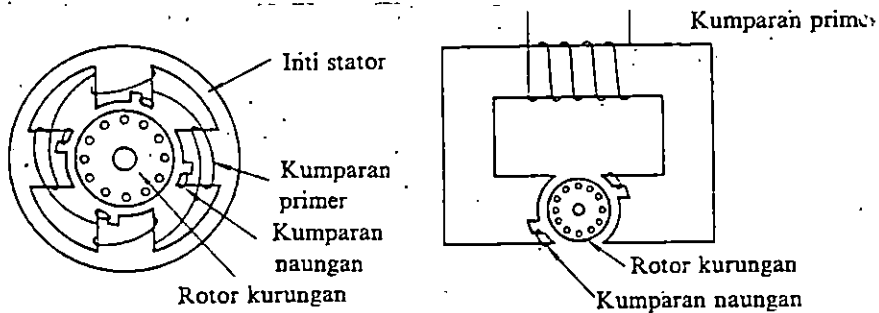


Gambar 6. Rangkaian dan Diagram Vektor Motor Kapasitor Ganda

#### 5. Motor Shaded Pole

Motor shaded pole adalah motor listrik yang mempunyai daya 1/16 Hp ke bawah. Stator motor shaded pole berbentuk sepatu kutub (salient). Kumputan stator hanya terdiri dari kumputan utama. Untuk membentuk medan putar dipasang *shaded coil* yang merupakan suatu rangkaian tertutup pada sepatu kutub tersebut.

Tegangan bolak balik dari kumputan utama akan diinduksikan pada shaded coil. Dengan adanya tegangan induksi ini, maka pada shaded coil akan mengalir arus dan menimbulkan fluks lawan dari kumputan utama. Dengan demikian terjadi beda fase antara fluks kumputan utama dengan fluks shaded coil. Kedua fluks tersebut berbeda nilainya dan dianggap kutub itu menghasilkan fluksi lemah (dalam cincin) dan di *Superimpose* fluks kuat (diluar cincin) sehingga terdapat medan putar. Konstruksi motor shaded pole seperti gambar 7.



Gambar 7. Konstruksi Motor Shaded Pole

## 6. Motor Universal

Motor universal adalah motor seri arus bolak balik. Konstruksi maupun karakteristik motor universal sama dengan motor seri arus searah (motor seri dc). Keuntungan motor universal ini dapat dioperasikan dengan sumber tegangan bolak balik atau dengan tegangan arus searah pada nilai tegangan yang sama.

Stator motor universal dapat berupa sepatu kutub (salient pole) maupun stator silinder (non salient). Motor universal dengan stator sepatu kutub umumnya beroperasi untuk daya 250 Watt (1/4 Hp) kebawah, sedangkan motor dengan stator non salient dioperasikan untuk daya di atas 250 Watt.

Pengaturan kecepatan motor universal dapat dilakukan dengan cara:

### a. Tahanan depan

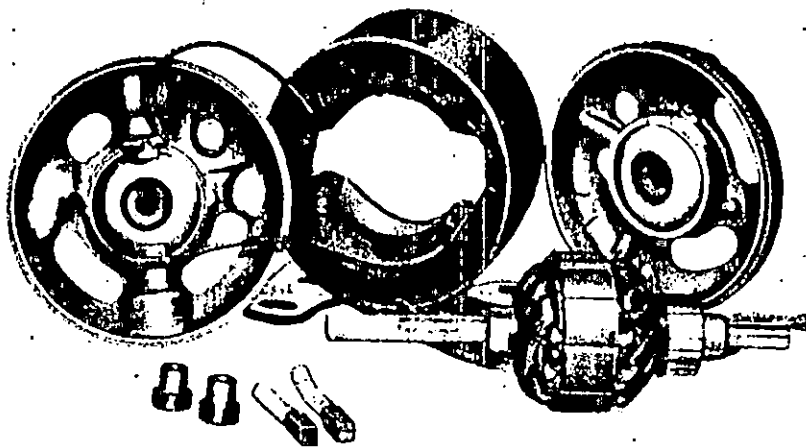
Tahanan depan (reostart resistance) dihubungkan seri dengan motor. Tahanan depan yang diatur bervariasi akan memberikan tegangan masuk bervariasi pada motor, sehingga fungsi tegangan terhadap kecepatan sesuai dengan formula dasar dari motor listrik.



#### b. Kumputaran medan

Kumputaran medan dibuat dalam beberapa tingkat (step) untuk memberikan variasi impedansi lilitan medan, sehingga fungsi fluks medan terhadap kecepatan sesuai dengan rumus dasar motor listrik. Dengan pengaturan tap-tap lilitan medan (impedansi medan), maka kecepatan motor dapat diatur.

Kecepatan motor universal bervariasi menurut beban. Kopel start motor universal cukup besar. Konstruksi motor universal seperti gambar 8.



Gambar 8. Konstruksi Motor Universal

#### 7. Motor Repulsi

Motor repulsi mempunyai dua buah kumputaran yaitu kumputaran medan stator dan kumputaran rotor. Kumputaran medan stator dan kumputaran rotor tidak mempunyai hubungan galvanis antara satu sama lainnya. Konstruksi rotornya hampir sama dengan rotor motor arus searah.

Sikat (brush) dihubungkan secara permanen. Kumputaran stator dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik, sehingga mengalir arus pada stator. Dengan mengalirnya arus pada stator, maka pada rotor timbul tegangan induksi. Arus induksi pada rotor menimbulkan magnet. Resultan fluks dari kedua kutub medan dan kutub jangkar akan menyebabkan terjadi medan putar.

Medan putar ini terjadi pada kedudukan sikat digeser dari garis netral. Garis netral adalah letak garis sumbu sikat segaris dengan sumbu kumparan stator, yaitu garis medan magnet rotor sama dengan statornya.

Kecepatan motor dapat diatur dengan cara menggeser letak sikat kekiri atau kekanan dari garis netral. Semakin besar sudut pergeseran semakin besar perubahan kecepatan motor demikian pula terhadap moment kopel dari motor.

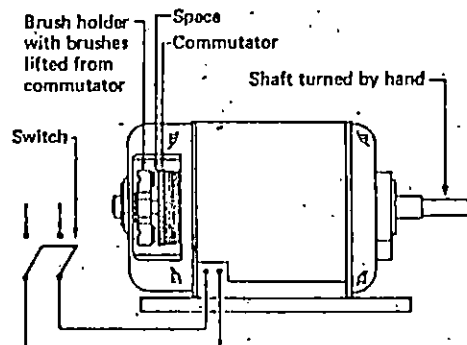
Motor repulsi dapat bekerja menjadi motor induksi dengan menghubungsingkatkan segmen-segmen komutator. Alat yang digunakan untuk hubungan singkat tersebut adalah saklar sentrifugal. Untuk menghindari terjadinya komplikasi pada alat penghubung singkat, maka alur rotor dibuat dua tingkat, dibagian bawah alur dipasang kumparan tipe sangkar dan bagian atas kumparan rotor berhubungan dengan komutator. Dengan demikian motor bekerja sebagai motor induksi. Kecepatan yang diperoleh sesuai dengan jumlah kutub dan karakteristiknya sama dengan motor split fase. Motor repulsi sering dipakai diindustri maupun untuk alat rumah tangga. Motor repulsi mempunyai empat macam type yaitu:

- a. Motor repulsi dengan kumparan rotor lewat komutator dimana sikat-sikatnya dihubungsingkatkan.
- b. Motor repulsion start induksion run, dimana gerak mulanya seperti motor repulsion, bila tercapai kecepatan penuh, kumparan rotor dihubungsingkatkan dengan menggunakan saklar sentrifugal maka motor akan berubah menjadi motor rotor sangkar dengan kecepatan tetap.
- c. Motor repulsion induction full, dimana menggunakan rotor sangkar pada bagian bawah dari alur kumparan rotor (rotor mempunyai dua tingkat alur, yaitu alur sangkar dan alur kumparan). Motor type ini tidak dilengkapi dengan saklar sentrifugal. Prinsip gerak mulanya sama dengan type motor repulsion jenis pertama.

d. Motor repulsion yang dilengkapi dengan kumparan kompensasi. Pada umumnya jenis motor ini sekarang jarang ditemui dan tidak dipakai untuk pekerjaan dengan tegangan satu fase.

Kopel mula motor repulsi sama dengan motor kapasitor start yang berkisar antara 300% - 350% dari kopel beban penuh. Sedangkan untuk arus start pada motor repulsi ini jauh lebih rendah 30% - 40% dibandingkan dengan motor induksi satu fase lainnya. Variasi kecepatan waktu beban penuh terjadi slip antara 2,5 s/d 5%.

Motor-motor repulsi dibuat dalam ukuran 1/4 - 5 Hp pada kecepatan 1800 Rpm dengan kopel mula 350% dari kopel beban penuh. Motor repulsi mempunyai rangkaian rotor yang berdiri sendiri, tetapi tidak seperti motor listrik fase banyak. Karakteristik motor repulsi sama seperti semua motor-motor yang mempunyai lilitan rotor. Komutator ditempatkan sedemikian rupa sehingga medan magnet rotor bergerak dari sumbu medan magnet stator, sehingga didapat pergeseran fase yang diinginkan. Karakteristik motor repulsi ini sangat baik, motor beroperasi dengan kecepatan yang berubah-ubah, disamping itu motor mempunyai gerak mula yang besar, sehingga dapat digunakan untuk beban yang berat. Konstruksi motor repulsi seperti gambar 9.



Gambar 9. Konstruksi Motor Repulsi

### C. Kemungkinan Kerusakan Motor-Motor Listrik

Bagian-bagian utama dari motor yang perlu diperhatikan dalam melakukan reparasi (perbaikan) adalah:

#### 1. Bagian yang bergerak pada motor.

Bagian yang bergerak dari motor listrik dapat dikategorikan ke dalam bagian mekanis yang terdiri dari rotor, bantalan dan poros. Kerusakan yang dialami oleh rotor motor listrik karena adanya gerakan rotor yang tidak teratur (tidak simetris). Kemungkinan ini disebabkan oleh:

- a. Permukaan rotor tidak rata (bergelombang)
- b. Adanya benda keras yang terdapat antara rotor dan stator
- c. Batang/lilitan rotor yang menonjol keluar, sehingga bersinggungan dengan permukaan bagian dalam stator.
- d. Poros rotor terjepit pada bantalan, karena karat atau kurang pelumasan. Kerusakan bantalan motor dapat disebabkan oleh:

- 1). Terjadi keausan pada poros atau bantalan karena kurangnya pelumasan
- 2). Keausan pada bearing, karena kurang pelumas atau beban lebih.
- 3). Poros motor yang lentur atau bengkok, karena sabuk band yang kencang atau poros mendapat beban yang terlalu berat.
- 4). Masuknya benda keras kedalam bearing, karena kurang rapatnya penutup bearing pada frame (tutup stator motor).

Kerusakan pada poros rotor motor dapat disebabkan oleh:

- a). Baut atau pen pulli yang longgar, karena beban tidak konstan (berubah-ubah).
- b). Poros lentur atau lengkung, karena tertimpa oleh benda keras atau beban terlalu berat.
- c). Poros terjepit, karena masuknya benda keras sehingga poros terhalang bergerak.

## 2. Bagian yang tetap (stator)

Bagian statis (tetap) adalah bagian-bagian yang tidak bergerak secara mekanis, sedangkan secara elektromagnet dapat bergerak menurut yang semestinya. Pada motor-motor listrik arus bolak balik bentuk statornya hampir sama. Stator terdiri dari inti stator atau gandar tempat lalu fluks magnet, kerangka rumah motor dan kumparan stator. Gandar terdiri dari laminasi-laminasi besi baja setebal 0,35 - 0,5 mm. Laminasi tersebut berfungsi untuk mengurangi rugi-rugi histeresis dan arus pusar yang terdapat pada gandar stator tersebut. Laminasi-laminasi itu terisolasi satu sama lain dengan menggunakan lapisan vernis.

Kerangka rumah stator dibuat dari baja tuang atau aluminium atau sejenis logam lainnya yang berguna untuk tempat gandar tersebut.

Kumparan stator terdiri dari konduktor-konduktor (penghantar) dengan penampang bulat atau persegi panjang. Untuk motor-motor berkapasitas sedang dan besar, kumparan terdiri dari lilitan tunggal, lilitan gelombang. Untuk memisahkan konduktor satu sama lainnya dalam suatu lilitan dilapisi dengan isolator. Fungsi isolator untuk menghindari hubungan singkat antara konduktor dengan stator. Kerusakan yang disebabkan oleh isolasi hampir jarang terjadi.

Kumparan medan stator diletakkan dalam slot (alur) dari stator, yang berfungsi untuk membentuk medan magnet (medan berputar maju dan mundur), sehingga pada rotor terjadi kopel puntir yang menyebabkan rotor berputar. Dengan demikian pada bagian yang tetap pada motor listrik dapat digolongkan seperti inti stator (gandar) motor, kerangka rumah motor dan kumparan medan stator. Kerusakan yang sering dialami oleh inti stator (gandar), kerangka rumah motor dan kumparan medan stator sebagai berikut:

- a. Pecah atau retaknya gandar, karena tertimpa dengan benda keras.
  - b. Karosi (karat) pada permukaan gandar, hal ini disebabkan oksidasi oksigen dengan besi dan air atau cat (vernish) dari gandar yang terkelupas.
3. Bagian frame (kerangka tutup stator kiri dan kanan)

Bagian frame atau kerangka penutup kiri dan kanan dari gandar motor, adalah tempat kedudukan bantalan poros dari motor listrik. Pada motor-motor listrik yang khusus, sikat dan saklar sentrifugal ditempatkan pada frame di sebelah kiri atau kanan dari frame tersebut. Kerusakan yang sering dialami oleh frame dari motor adalah sebagai berikut:

- a. Retak atau pecahnya frame dapat disebabkan oleh tekanan ikat dari baut pengikat yang tidak merata.
  - b. Baut pengikat dari frame yang longgar, dapat mengakibatkan terganggunya gerakan rotor atau pada bantalan timbul panas yang berlebihan.
  - c. Pemasangan frame yang tidak simetris, menyebabkan rotor tidak dapat bergerak atau timbul bunyi yang gemersik karena sebagian permukaan rotor bersinggungan dengan stator motor.
4. Bagian saklar sentrifugal dan sikat

Kerusakan yang sering terjadi pada bagian saklar sentrifugal dan kerangka adalah sebagai berikut:

- a. Putusnya hubungan terminal saklar sentrifugal atau sikat terhadap rangkaian lainnya, hal ini disebabkan goncangan waktu motor beroperasi.
- b. Tekanan pegas saklar sentrifugal atau sikat yang terlalu kuat. Pegas telah hilang elastisitas karena panas yang berlebihan.

#### D. Instrumen Dan Peralatan Reparasi Motor-Motor Listrik

Instrumen dan peralatan yang diperlukan dalam reparasi motor-motor listrik, terutama untuk alat-alat listrik rumah tangga adalah sebagai berikut:

##### 1. Instrumen kelistrikan:

- a. Multimeter
- b. Tang ampere (ampermeter macam apit)
- c. Maggermeter (500 volt magger)
- d. Takometer
- e. Termometer (200°C termometer bar)
- f. Tester lamp

##### 2. Peralatan reparasi:

- a. Mikrometer
- b. Mistar besi
- c. Siku-siku besi
- d. Kompas
- e. Tang isolasi
- f. Tang pengupas kawat
- g. Obeng (bermacam jenis)
- h. Palu besi/plastik
- i. Kunci pas/shop
- j. Gunting plat/kertas
- k. Kikir (datar, bundar dan persegi)
- l. Gergaji besi dan kayu
- m. Pisau
- n. Pahat besi dan kayu
- o. Pelobang
- p. Solder listrik
- q. Sikat besi halus (sikat kawat)
- r. Hand drill elektrik (bor tangan listrik)
- s. Gerinda listrik
- t. Bantalan pendatar permukaan plat
- u. Oli/gemuk (pelumas)
- v. Triker (penarik puli)
- w. Kunci pipa

3. Peralatan khusus untuk melilit kumparan motor:
  - a. Mesin pembelit kumparan
  - b. Pembentuk kumparan
  - c. Penyangga kumparan
  - d. Sepatu tangan (penekan lilitan)
  - e. Sepatu logam
  - f. Penekan kumparan dalam slot (alur)
  - g. Penekan kumparan T dalam slot



## BAB II

### LANGKAH-LANGKAH REPARASI MOTOR-MOTOR LISTRIK

#### A. Analisis Kerusakan Motor-Motor Listrik

Motor-motor listrik yang mengalami gangguan atau kerusakan tidak akan bekerja menurut semestinya atau tak sesuai dengan yang seharusnya. Untuk mengetahui gangguan ataupun kerusakan tersebut, maka dilakukan diagnosa untuk mencari gangguan atau kerusakan dari motor tersebut.

Diagnosa yang akan dilakukan terhadap motor-motor listrik adalah dengan melakukan pengujian-pengujian dengan tepat yang dapat menyatakan kemungkinan bahwa motor tersebut mengalami gangguan atau kerusakan pada bagian-bagian tertentu seperti bantalan (bearing), saklar (switch), kumparan (coil) atau perlu dilakukan keseluruhan perbaikan kumparan (rewinding).

##### 1. Prosedur analisis gangguan/kerusakan motor.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisis gangguan atau kerusakan motor-motor listrik harus menurut urutan logika yang diiringi oleh skala gejala-gejala gangguan atau kerusakan dari motor listrik tersebut. Bagian-bagian yang perlu dianalisis dari motor-motor listrik adalah sebagai berikut:

- a. Kerusakan pada bagian mekanis
  - b. Kerusakan bearing (bantalan motor)
  - c. Kerusakan stator atau rotor
  - d. Kerusakan kawat penghubung ke sumber tegangan
- ##### 2. Langkah-langkah reparasi / melilit motor split fase
- a. Mengambil data stator dan rotor
  - b. Membongkar lilitan kumparan stator dan rotor
  - c. Memasang isolasi slot stator atau rotor
  - d. Melilit kumparan stator atau kumparan rotor
  - e. Menghubungkan lilitan stator atau rotor serta terminal
  - f. Menguji motor
  - g. Memberikan lak /vernisi (Vernishing)

## B. Gangguan-Gangguan Pada Motor-Motor Listrik

Motor-motor listrik yang akan direparasi terlebih dahulu harus diketahui kerusakan atau gangguan yang dialami oleh motor listrik tersebut. Beberapa jenis gangguan atau kerusakan secara umum adalah sebagai berikut:

1. Motor tidak dapat diasut (start) tanpa beban.
2. Saklar dimasukan pada beban nol, motor berbunyi tapi tidak dapat berputar.
3. Saklar dimasukan pada beban nol, motor berbunyi tapi tidak dapat berputar dan dapat berputar dengan bantuan tangan.
4. Motor berputar terbalik dengan beban atau tanpa beban.
5. Sekring putus atau pemutusan daya dalam keadaan berbeban.
6. Motor mengasut tanpa beban, tetapi hanya berputar pada putaran rendah.
7. Sekring elektromagnetik putus hubungan pada waktu beban terpasang.
8. Sekring putus bila motor dihubungkan dengan sumber tegangan.
9. Kecepatan motor tiba-tiba menurun bila terpasang beban dan tidak memberikan kecepatan normal.
10. Motor gemeretak selama pengasutan.
11. Motor gemerincing selama bekerja.
12. Motor tak akan mengasut dengan beban terpasang.
13. Bantalan berbunyi tidak normal (abnormal).
14. Bantalan jadi panas.
15. Motor bergetar dan membuat bising berlebihan.
16. Motor rusak karena banjir.
17. Motor rusak karena terbakar/api.

Jika dihubungkan dengan sumber tegangan melalui saklar pengasut motor listrik tidak menghasilkan bunyi atau tidak memberikan gejala, maka berkemungkinan gangguan atau kerusakan terjadi pada pengawatan, pengendali atau kumparan motor terbakar. Kemungkinan gangguan atau kerusakan yang terjadi adalah sbb:

1. Gangguan pada sumber tegangan. (jaringan listrik).
2. Putusnya sekering dari pengaman motor.
3. Relay arus lebih (over load) bekerja karena beban lebih atau adanya hubungan singkat.
4. Kesalahan pada pengawatan dari sumber daya ke motor.
5. Kerusakan pada isolasi pengawatan karena terjadi hubungan singkat.
6. Adanya salah satu kawat sumber tegangan yang putus.
7. Rangkaian ke pengendali dapat gangguan, misalkan pengawatan dari saklar elektromagnetik (MCB) yang salah.
8. Terdapat salah satu penghantar dalam alat pengendali (kontrol) ada yang lebur.
9. Tuas (pisau-pisau) dari saklar tidak terhubung dengan sempurna.
10. Kontak dari pemutus daya kotak-kontak, saklar elektromagnetik dan sebagainya kotor, menyebabkan rusak kontak.
11. Reostat pengasut dari motor terbakar.
12. Bagian mekanis dari pengendali ada yang putus atau macetnya pengendali.
13. Kumputan-kumputan utama dan bantu dari motor terbakar.
14. Ada hubungan kumputan motor yang putus.

Pengamatan dan pemeriksaan dilakukan dengan bantuan instrumen dan peralatan reparasi. Setelah dilakukan pemeriksaan dan pengamatan dari beberapa alternatif gangguan atau kerusakan yang dialami oleh motor listrik yang akan direparasi, maka dapat ditentukan bagian mana yang harus diperbaiki.

### C. Membongkar Motor Listrik

Sebelum motor-motor listrik diperbaiki, motor-motor listrik tersebut harus dibongkar terlebih dahulu. Langkah-langkah yang dilakukan waktu pembongkaran motor-motor listrik adalah sebagai berikut:

1. Pisahkan motor listrik dari rangkaian.
2. Lepaskan hubungan pengawatan motor.
3. Lepaskan poros motor listrik dari hubungan sabuk ban atau roda gigi yang menghubungkan ke mesin.

4. Lepaskan baut-baut pengikat motor listrik ke mesin.
5. Keluarkan motor listrik dari kerangka mesin.
6. Bebaskan poros motor listrik terhadap puli (cakra ban) atau roda gigi (yang melekat pada poros motor) dengan melonggarkan skerup atau baut pengikat puli.
7. Tarik puli atau roda gigi dengan menggunakan alat triker.
8. Lepaskan frame (penutup kerangka motor) pada sisi kanan dan kiri dari motor dengan langkah-langkah sebagai berikut:
  - a. Bebaskan motor terhadap pengawatan kumparan stator, rotor, sikat-sikat atau saklar sentrifugal, hal ini jangan mengganggu waktu melakukan pembongkaran motor tersebut.
  - b. Longgarkan dan lepaskan baut pengikat frame dengan kunci pas atau mungkin menggunakan obeng.
  - c. Masukkan dua obeng pada sisi yang berlawanan dalam satu garis, ungkitan dengan tekanan yang sama sampai frame tersebut longgar dan keluarkan dari stator motor tersebut.
  - d. Mengeluarkan frame tersebut dari kedudukannya, perlu hati-hati dan jangan sampai merusak kumparan stator atau rotor.
  - e. Keluarkan rotor dari stator motor, jangan sampai rusak kumparan stator atau teras dari motor, mungkin tertarik bersamaan dengan rotor.
9. Lepaskan rotor dari frame yang masih melekat, peganglah rotor dengan tangan dan dengan bantuan palu besi/plastik pukul frame serta melakukan pemutar frame, sehingga rotor keluar dari frame (penutup) tersebut.
10. Bersihkan bagian-bagian yang telah dilepaskan dengan menggunakan tiupan udara, sikat, kain dan sebagainya. Sedangkan untuk kumparan stator atau rotor bersihkan dengan minyak yang dapat menguap, seperti bensin, minyak tanah. Lindungi kumparan terhadap karosi (karatan) seperti vernis, isolasi lak.

#### D. Pengumpulan Data Dari Motor Listrik

Pengumpulan data motor listrik yang akan di reparasi dilakukan dengan 2 (dua) tahap sebagai berikut:

##### 1. Data papan nama

Data yang diperlukan dari papan nama motor adalah semua data yang terdapat pada papan nama motor tersebut sebagai berikut:

- a. Type motor
- b. Pabrik motor tersebut
- c. Nomor / seri dari motor
- d. Daya motor Hp, kW, Watt
- e. Tegangan terminal Volt
- f. Arus beban penuh Ampere
- g. Frekuensi kerja tegangan Cycl, Hz
- h. Putaran beban penuh Rpm
- i. PS (power system)
- j. Temperatur kerja motor  $C^{\circ}$ ,  $F^{\circ}$
- k. Effisiensi motor

##### 2. Data fisik dan konstruksi motor

Data ini diperoleh dari motor yang telah dilakukan pelepasan dan pembongkaran terhadap motor tersebut yang datanya sebagai berikut:

- a. Jumlah kutup (p)
- b. Jumlah slot (alur) stator atau rotor (G)
- c. Jumlah slot per kutup, stator atau rotor (g/s)
- d. Jumlah lamel rotor (k)
- e. Jumlah lilitan tiap kumparan ( $T_m/s/p$ )
- f. Jarak slot per kumparan (s/k)
- g. Diameter dalam stator atau rotor (D) dalam meter
- h. Lebar teras stator atau rotor (L) dalam meter
- i. Tinggi slot termasuk gigi slot ( $h + t$ )
- j. Lebar slot bagian bawah (b)
- k. Lebar slot bagian atas (c)
- l. Tebal isolasi slot dalam milimeter (mm)
- m. Bentuk kumparan (terpusat, rantai atau gelung)

### BAB III

## BENTUK KUMPARAN STATOR DAN ROTOR

Motor listrik satu fase yang umum dikenal dua tipe dilihat dari sudut rotor yang digunakan, yaitu motor listrik dengan rotor sangkar (squirrel cage rotors) dan motor listrik dengan rotor lilit (wound rotors). Kalau dilihat dari sisi teras stator yang digunakan adalah stator sepatu kutub (salient pole) dan stator beralur (non salient).

Pada bab terdahulu telah dijelaskan type motor-motor listrik yang menggunakan rotor sangkar, rotor belitan, stator sepatu kutub (salient pole) dan stator beralur (non salient pole). Motor listrik yang menggunakan stator berbentuk alur (non salient pole) adalah; motor split fase, kapasitor start, kapasitor permanen, kapasitor ganda dan repulsi. Sedangkan motor yang menggunakan stator sepatu kutub (salient pole) adalah motor-motor universal dan shaded pole.

Torsi yang dihasilkan oleh motor listrik adalah interaksi dari kedua medan magnet, yaitu medan stator dan medan rotor. Medan magnet stator terjadi jika kumparan stator dihubungkan dengan sumber tegangan. Sedangkan medan magnet rotor terjadi akibat adanya tegangan induksi dari stator. Hasil medan induksi pada batang atau kumparan rotor akan mengakibatkan terjadi kopel rotor.

Kumparan (coil) terdiri dari beberapa lilitan kawat yang dipasang dalam alur-alur atau sepatu kutub. Jumlah kawat setiap sisi kumparan sama banyaknya dengan jumlah lilitan pada tiap kumparan.

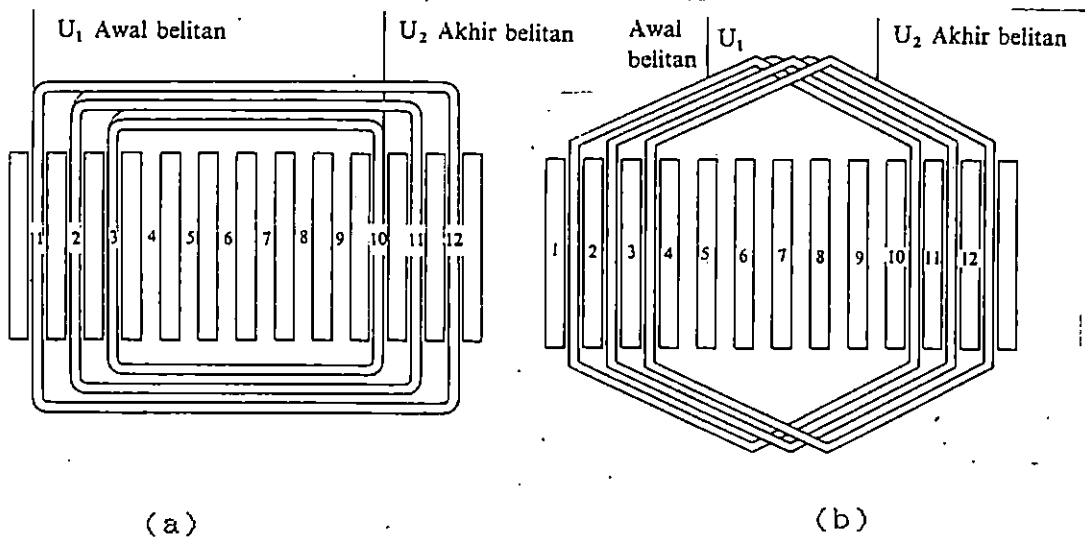
Motor listrik satu fase berdaya kecil, bentuk kumparan stator maupun kumparan rotor ditentukan dari daya dan konstruksi motor tersebut. Daya motor dapat dilihat pada papan nama yang menyatakan spesifik motor, seperti:

- Daya motor dalam HP atau kW
- Tegangan terminal dalam volt
- Arus beban nominal dalam Ampere
- Frekuensi tegangan kerja dalam Hz
- Perputaran beban penuh dalam Rpm
- Faktor kerja motor ( $\text{Cos } \varphi$ )

Bentuk kumparan stator dan rotor pada umumnya terbagi dua yaitu bentuk kumparan terbagi dan bentuk kumparan terpusat. Bentuk kumparan terbagi digunakan pada stator berbentuk kutub alur (non salient pole), sedangkan untuk stator berbentuk sepatu kutub (salient pole) dipakai bentuk kumparan terpusat.

#### A. Kumparan Stator Menggunakan Lilitan Kumparan Terbagi

Kumparan terbagi terdiri dari lilitan satu lapis (single layer) dan lilitan lapis ganda (double layer). Yang dimaksud dengan lilitan satu lapis (single layer) adalah setiap satu alur hanya terdapat satu sisi kumparan. Sedangkan lilitan lapis ganda (double layer) dimana tiap alur diisi dengan beberapa sisi kumparan. Bentuk lilitan kumparan terbagi dan terpusat dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. a) Lilitan Lapis Tunggal  
b) Lilitan Lapis Ganda

Lilitan kumparan stator terdiri dari beberapa lilitan yang dinyatakan dalam ( $T_m$ ), sesuai dengan besarnya tegangan ( $V$ ) yang bekerja pada kumparan tersebut. Pada gambar 11, memperlihatkan bentangan kumparan dengan lebar kumparan  $\tau_p = \tau_p$ . Tiap sisi kumparan dipasang dalam satu alur, sehingga tiap kutub sama dengan jarak alur per kutub ( $q$ ) dan jumlah pasang kutub adalah ( $p$ ), maka jumlah alur stator atau rotor diperoleh:

$$q = \pm G/p$$

$$\tau_p = \pm G/p$$

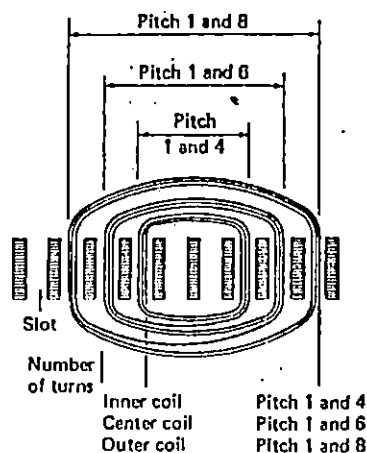
keterangan:

$q$  = jumlah alur per kutub

$\tau_p$  = lebar kumparan

$G$  = jumlah alur

$p$  = jumlah kutub



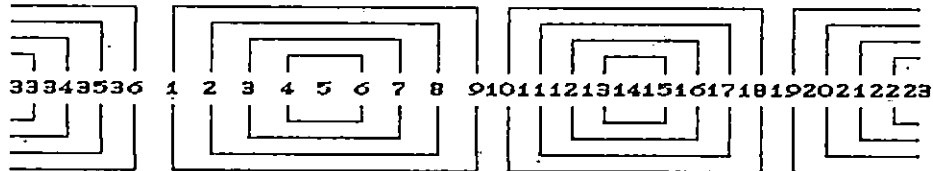
Gambar 11. Bentangan Kumparan Terbagi

Sebagai ilustrasi suatu motor split fase dengan jumlah alur 36, jumlah kutub 4 buah dengan kecepatan 1450 Rpm, maka bentuk bentangan kumparan adalah sebagai berikut:

1. Kumparan stator dengan jumlah alur per kutub ditambah  
 Lebar kumparan ( $\tau_p$ ) =  $\pm G/p = 36/4 = 9$  alur  
 Jumlah alur per kutub ( $q$ ) =  $\pm G/p = 36/2.4 = 3,5$   
 Karena jumlah alur diperpanjang, maka  $q = 4$  alur/kutub. Penyebaran lilitan kumparan utama berdasarkan nomor alur adalah sebagai berikut:



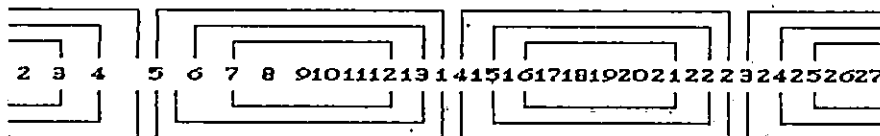
Kumparan Kutub I	Kumparan Kutub II	Kumparan Kutub III	Kumparan Kutub IV
(1 - 9)	(10 - 18)	(19 - 27)	(28 - 36)
(2 - 8)	(11 - 17)	(20 - 26)	(29 - 35)
(3 - 7)	(12 - 16)	(21 - 25)	(30 - 34)
(4 - 6)	(13 - 15)	(22 - 24)	(31 - 33)



Gambar 12. Bentangan Kumparan Utama 36 Alur Dengan 4 Alur Per Kutub

Untuk kumparan bantu sebagian menggunakan alur yang diisi oleh lilitan kumparan utama (coil run), dengan distribusi sebagai berikut:

Kumparan Kutub I	Kumparan Kutub II	Kumparan Kutub III	Kumparan Kutub IV
(5 - 14)	(14 - 23)	(23 - 32)	(32 - 5)
(6 - 13)	(15 - 22)	(24 - 31)	(33 - 4)
(7 - 12)	(16 - 21)	(25 - 30)	(34 - 3)



Gambar 13. Bentangan Kumparan Bantu 36 Alur Dengan 3 Alur Per Kutub

Untuk menunjang perhitungan dalam merancang jumlah belitan kumparan stator ( $T_m$ ) diperlukan faktor lilitan ( $f_w$ ) dan pendistribusian jumlah lilitan tiap alur dengan pendekatan sebagai berikut:

## a. Kumparan utama

alur (1 - 9) dengan jarak 8 alur

alur (2 - 8) dengan jarak 6 alur

alur (3 - 7) dengan jarak 4 alur

alur (4 - 6) dengan jarak 2 alur

Pendekatan sudut jarak alur setiap lilitan kumparan utama adalah:

$$\text{Alur (1-9)} = \sin 1/2 \text{ kisar alur} = 8/9 \times 90^\circ = 0,985$$

$$\text{Alur (2-8)} = \sin 1/2 \text{ kisar alur} = 6/9 \times 90^\circ = 0,866$$

$$\text{Alur (3-7)} = \sin 1/2 \text{ kisar alur} = 4/9 \times 90^\circ = 0,643$$

$$\text{Alur (4-6)} = \sin 1/2 \text{ kisar alur} = 2/9 \times 90^\circ = 0,342$$

---


$$2,836$$

Persentase lilitan kumparan utama tiap alur adalah:

$$\text{Alur (1 - 9)} = 0,985/2,836 \times 100 \% = 34,7 \%$$

$$\text{Alur (2 - 8)} = 0,866/2,836 \times 100 \% = 30,35 \%$$

$$\text{Alur (3 - 7)} = 0,643/2,836 \times 100 \% = 22,67 \%$$

$$\text{Alur (4 - 6)} = 0,342/2,836 \times 100 \% = 12,05 \%$$

Faktor lilitan kumparan utama (fw) adalah

$$fw = \frac{0,985 \times 34,7 + 0,866 \times 30,35 + 0,643 \times 22,69 + 0,342 \times 12,05}{100}$$

$$= 0,79$$

## b. Kumparan bantu

alur (5 - 14) dengan jarak 9 alur

alur (6 - 13) dengan jarak 7 alur

alur (7 - 12) dengan jarak 5 alur

Pendekatan sudut jarak alur setiap lilitan kumparan bantu adalah:

$$\text{Alur (5 - 14)} = \sin 1/2 \text{ kisar alur} = 9/10 \times 90^\circ = 0,987$$

$$\text{Alur (6 - 13)} = \sin 1/2 \text{ kisar alur} = 7/10 \times 90^\circ = 0,89$$

$$\text{Alur (7 - 12)} = \sin 1/2 \text{ kisar alur} = 5/10 \times 90^\circ = 0,707$$

---


$$= 2,584$$

Persentase lilitan kumparan bantu tiap alur adalah:

$$\text{Alur (5 - 14)} = 0,987/2,584 \times 100 \% = 38,19 \%$$

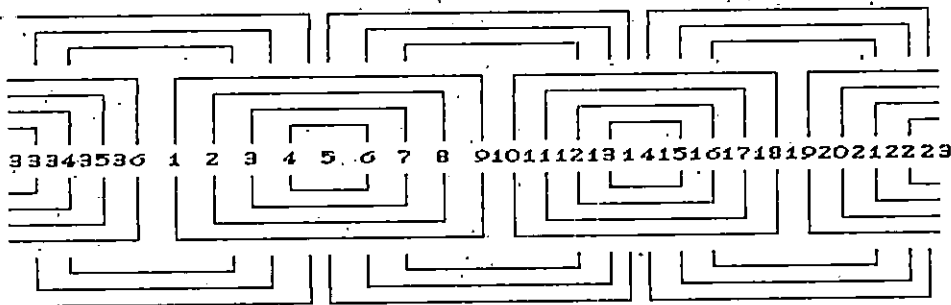
$$\text{Alur (6 - 13)} = 0,89/2,584 \times 100 \% = 34,44 \%$$

$$\text{Alur (7 - 12)} = 0,707/2,584 \times 100 \% = 27,36 \%$$

Faktor lilitan bantu (fwb) adalah:

$$\text{fwb} = \frac{0,987 \times 38,19 + 0,89 \times 34,44 + 0,707 \times 27,36}{100}$$

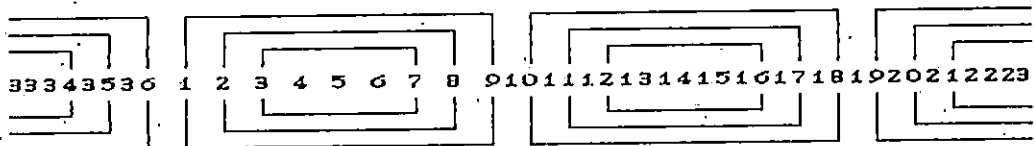
$$= 0,87$$



Gambar 14. Bentangan Kumparan Utama Dan Kumparan Bantu 36 Alur

2. Kumparan stator dengan jumlah alur per kutub dikurangi  
 Lebar kumparan ( $\tau_p$ ) =  $\pm G/p = 36/4 = 9$  alur  
 Jumlah alur per kutub ( $q$ ) =  $\pm G/p = 36/2.4 = 3,5$   
 Karena jumlah alur dikurangi, maka  $q = 3$  alur/kutub.  
 Penyebaran lilitan kumparan utama berdasarkan nomor alur adalah sebagai berikut:

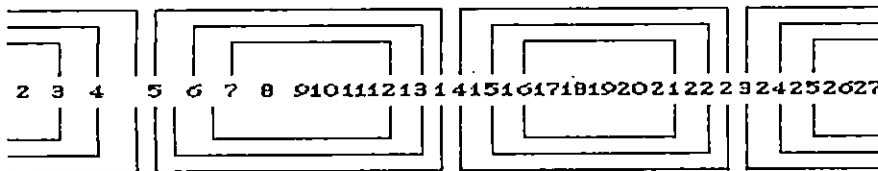
Kumparan Kutub I	Kumparan Kutub II	Kumparan Kutub III	Kumparan Kutub IV
(1 - 9)	(10 - 18)	(19 - 27)	(28 - 36)
(2 - 8)	(11 - 17)	(20 - 26)	(29 - 35)
(3 - 7)	(12 - 16)	(21 - 25)	(30 - 34)



Gambar 15. Bentangan kumparan utama 36 alur dengan 3 alur per kutub

Untuk kumparan bantu sebagian menggunakan alur yang diisi oleh lilitan kumparan utama (coil run), dengan distribusi kumparan sebagai berikut:

Kumparan Kutub I	Kumparan Kutub II	Kumparan Kutub III	Kumparan Kutub IV
(5 - 14)	(14 - 23)	(23 - 32)	(32 - 5)
(6 - 13)	(15 - 22)	(24 - 31)	(33 - 4)
(7 - 12)	(16 - 21)	(25 - 30)	(34 - 3)



Gambar 16. Bentangan Kumparan Bantu 36 alur Dengan 3 Alur Per Kutub

Untuk menunjang perhitungan dalam merancang jumlah lilitan kumparan utama dan kumparan bantu diperlukan faktor lilitan utama ( $f_w$ ) dan faktor lilitan kumparan bantu ( $f_{wb}$ ). Karena bentuk dan jarak kisar kumparan sama, maka  $f_w = f_{wb}$ .

Distribusian jumlah lilitan tiap alur sebagai berikut:

a. Kumparan utama

- alur (1 - 9) dengan jarak 8 alur
- alur (2 - 8) dengan jarak 6 alur
- alur (3 - 7) dengan jarak 4 alur
- alur (4 - 6) dengan jarak 2 alur

Pendekatan sudut jarak alur setiap lilitan kumparan utama adalah:

$$\text{Alur (1-9)} = \sin \frac{1}{2} \text{ kisar alur} = \frac{8}{9} \times 90^\circ = 0,985$$

$$\text{Alur (2-8)} = \sin \frac{1}{2} \text{ kisar alur} = \frac{6}{9} \times 90^\circ = 0,866$$

$$\text{Alur (3-7)} = \sin \frac{1}{2} \text{ kisar alur} = \frac{4}{9} \times 90^\circ = 0,643$$

---

2,494

Persentase lilitan kumparan utama tiap alur adalah

$$\text{Alur (1 - 9)} = 0,985/2,494 \times 100\% = 39,5\%$$

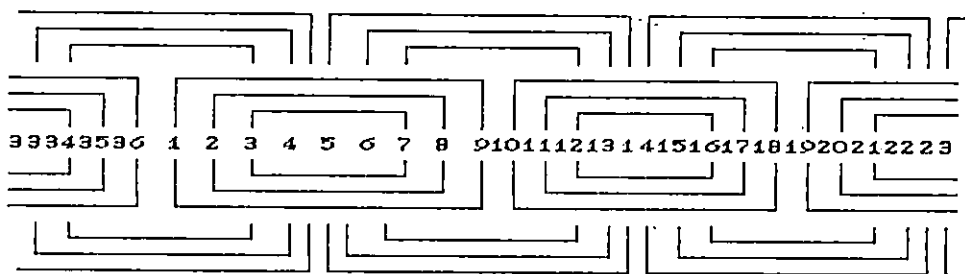
$$\text{Alur (2 - 8)} = 0,866/2,494 \times 100\% = 34,735\%$$

$$\text{Alur (3 - 7)} = 0,643/2,494 \times 100\% = 25,78\%$$

Faktor lilitan kumparan utama (fw) dan faktor lilitan kumparan bantu (fwb)

$$f_w = \frac{0,985 \times 39,5 + 0,886 \times 34,72 + 0,643 \times 25,78}{100}$$

$$= 0,86$$



Gambar 17. Bentangan Kumparan Utama dan Bantu 36 Alur dengan 3 alur per kutub

### 3. Kumparan stator dengan dua kecepatan

Motor split fase mempunyai dua kecepatan dengan tiga jenis kumparan dan jumlah alur stator 36 alur. Jumlah kutub untuk kecepatan pertama dan kedua adalah 8 kutub. Sedangkan jumlah kutub untuk kumparan bantu adalah 6 kutub. Distribusi kumparan dalam alur stator sebagai berikut:

#### a. Kecepatan pertama dengan 6 kutub untuk kumparan utama

K1	K2	K3	K4	K5	K6
1-7	7-13	13-19	19-25	25-31	31-1
2-6	8-12	14-18	20-24	26-30	32-36
3-5	9-11	15-17	21-23	27-29	33-35

#### b. Kecepatan kedua dengan 8 kutub untuk kumparan utama

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
3-7	8-11	12-16	17-20	21-25	26-29	30-34	35-2
4-8		13-15		22-24		31-33	

## c. Kumparan bantu dengan 6 kutub

K1	K2	K3	K4	K5	K6
4-10	10-16	16-22	22-28	28-34	34-4
5-9	11-15	17-21	23-27	29-33	35-3
6-8	12-14	18-20	24-26	30-32	36-2

## 4. Bentuk kumparan utama dengan dua kecepatan

Motor split fase mempunyai dua kecepatan dengan empat jenis kumparan dan jumlah alur stator 36 alur.

## a. Kecepatan pertama dengan 6 kutub untuk kumparan utama

K1	K2	K3	K4	K5	K6
1-7	7-13	13-19	19-25	25-31	31-1
2-6	8-12	14-18	20-24	26-30	32-36
3-5	9-11	15-17	21-23	27-29	33-35

## b. Kumparan bantu (start) dengan 6 kutub (Kb)

4 - 10      16 - 22      28 - 34

## c. Kecepatan kedua dengan 8 kutub untuk kumparan utama

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
1-5	5-10	10-14	14-19	19-23	23-27	27-32	32-1
2-4	6-9	11-13	15-18	20-22	24-26	29-31	33-36

## d. Kumparan bantu dengan 8 kutub

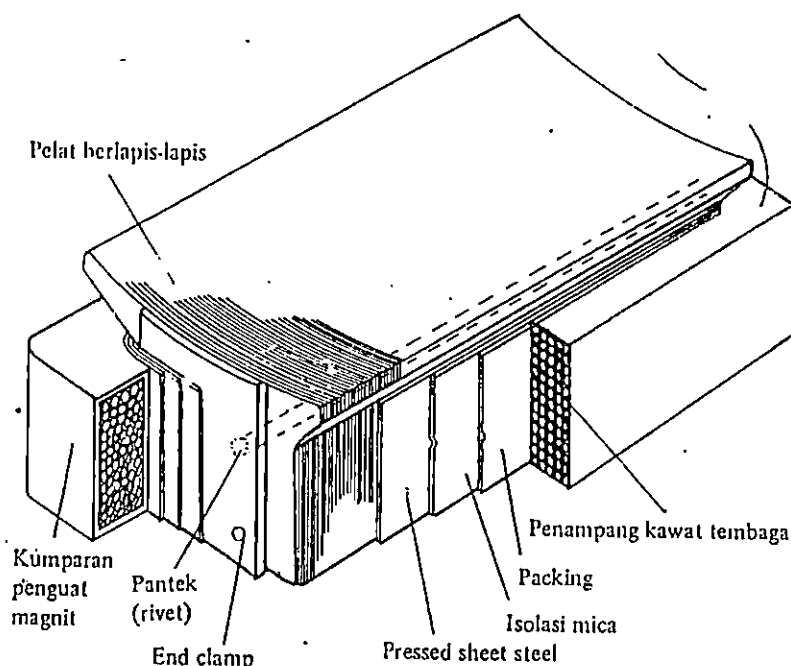
3 - 7      12 - 16      21 - 25      30 - 34

## B. Kumparan Stator Menggunakan Lilitan Kumparan Terpusat

Motor-motor listrik berdaya kecil yang menggunakan kumparan terpusat adalah motor univesal, shaded pole dan motor repulsi start. Bentuk kumparan terpusat ini sangat sederhana dimana lilitan kawat pada alur sepatu kutub (salient pole) sedemikian rupa sehingga tiap kutub mempunyai satu sisi kumparan. Kumparan terpusat sebelum ditempat pada teras sepatu kutub terlebih dahulu dibungkus atau dibelut dengan pita.

Penempatan kumparan ini pada sepatu kutub dilapisi dengan kertas isolasi (prespan) seperti pada gambar 17. Kerugian menggunakan kumparan terpusat antara lain:

1. Konstruksi garis tengah inti stator atau rotor sangat besar.
2. Mempunyai kepala kumparan yang besar serta tebal.
3. Mempunyai sisi kumparan juga besar serta tebal.
4. Banyak gaya motor listrik (magnit) yang bocor pada kepala kumparan dan sisi kumparan.
5. Kepala kumparan tidak bisa disatukan dalam satu kepala kumparan yang sama.



Gbr 18. Kumparan Terpusat Pada Teras Sepatu Kutub

Untuk menentukan jumlah lilitan dari kumparan terpusat terlebih dahulu harus diketahui panjang teras ( $lp$ ), tebal ( $bp$ ) dan tinggi ( $hw$ ) kumparan dalam satuan meter. Jumlah lilitan kumparan dinyatakan ( $T_m$ ) dan panjang penghantar (kawat) rata-rata dalam kumparan ( $L_{rat}$ ) maka rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah lilitan sebagai berikut:

$$T_m = \frac{V \cdot \rho_{cu} \cdot p}{\rho \cdot I_m \cdot L_{rat}} \quad \text{atau}$$

$$T_m = \frac{V \cdot p}{0,0172 \cdot \delta \cdot L_{rat}} \quad \text{lilit}$$

Dimana:  $I_m$  = kuat arus medan dalam ampere  
 $\rho$  = tahanan jenis penghantar dalam ohm/m  
 $\delta$  = kepadatan arus dalam ampere/mm<sup>2</sup>  
 $L_{rat}$  = panjang lilitan rata dalam meter  
 $V$  = tegangan terminal motor dalam volt  
 $p$  = jumlah kutub motor  
 $q_{cu}$  = penampang penghantar (kawat) dalam mm<sup>2</sup>

Persamaan diatas sangat dipengaruhi dengan besarnya daya motor atau kuat arus ( $I_m$ ) yang diperlukan dan kepadatan arus ( $\delta$ ) yang mengalir dalam penghantar. Berdasarkan rumus untuk menentukan penampang penghantar ( $q_{cu}$ ) dan hasil pengamatan dari motor-motor berdaya kecil, maka diperoleh tabel hubungan kuat arus dan kerapatan arus dalam penghantar sebagai berikut:

Tabel 1. Hubungan Arus dan Kepadatan Arus Dalam Kumputaran

Arus Medan ( $I_m$ Amp)	Kepadatan Arus ( $\delta$ Amp/mm <sup>2</sup> )
0,1 s/d 0,5	2,5 s/d 3,2
0,5 s/d 1,0	3,2 s/d 4,0
1,0 s/d 5,0	4,0 s/d 4,5
5,0 s/d 10,0	4,5 s/d 6,2

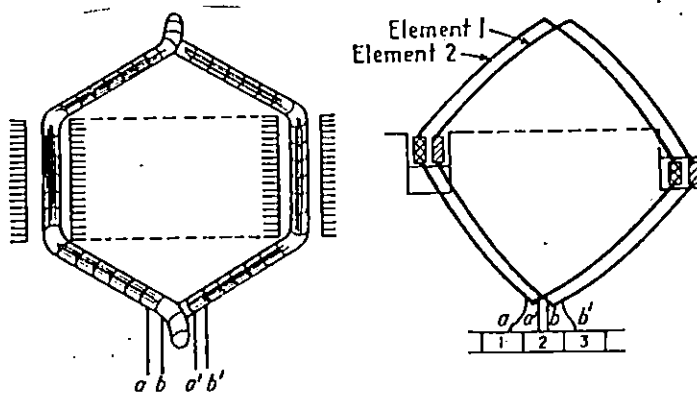
### C. Kumputaran Rotor

Motor-motor listrik berdaya kecil yang mempunyai rotor lilit adalah motor universal dan repulsi. Belitan kumputaran rotor hampir sama dengan lilitan kumputaran rotor mesin listrik arus searah. Kumputaran rotor ini dikenal dalam dua type yaitu type kumputaran gelung (lingkar) dan type kumputaran gelombang. Dari kedua type kumputaran ini yang membedakannya terletak pada keadaan sambungan ujung kumputaran-kumputaran terhadap komutator, dalam hal ini konstruksi rotor dapat dilihat pada gambar 18. Ada beberapa masalah yang diperlukan dalam kumputaran rotor yaitu:

- Bagaimana cara menggulung kumputaran rotor yang memenuhi persyaratan dengan metode sesedehana mungkin.



komulasi yang lebih baik dari lilitan diameter, dalam hal ini berarti garis gaya maksimum dapat diliputi oleh sebuah kumparan.



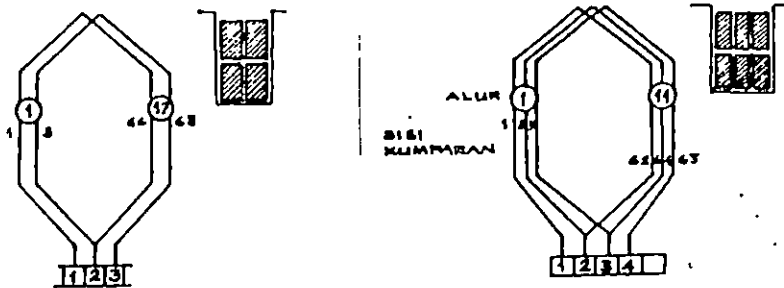
Gambar 19. Bentangan Kumparan Rotor

Jumlah sisi kumparan pada alur tiap lapis dinyatakan dengan  $u$ , sedangkan tiap alur diperoleh  $2u$  sisi kumparan. Jumlah kumparan yang terdapat pada rotor dinyatakan dengan  $s$ , maka jumlah alur rotor dinyatakan dengan  $G$ . Dalam hal ini diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$G = s/2u \text{ alur} \quad \text{atau} \quad s = G \cdot 2u \text{ buah kumparan}$$

Jumlah lamel pada komutator dinyatakan dengan  $k$ , maka hubungan jumlah lamel komutator dengan jumlah alur pada rotor dan jumlah kumparan yang terdapat pada rotor sebagai berikut:

$$k = s/2 \text{ lamel} \quad \text{atau} \quad k = u \cdot G \text{ lamel}$$



Gambar 20. Lebar Kumparan, Kisar Komutator Dan Lapis Dalam Alur ( $u$ )

- Jumlah lilitan tiap alur yang akan dipakai serta diameter kawat digunakan.
- Kumputaran rotor tersebut harus rapi, beraturan yang menyangkut pembentukan medan magnet dengan memenuhi persyaratan untuk ruang yang tersedia.
- Kumputaran rotor harus tahan terhadap gaya sentrifugal yang terjadi kerana berputarnya rotor.
- Isolasi yang digunakan harus cocok dengan tegangan serta kenaikan panasnya motor.
- Ujung-ujung kawatkumputaran harus sedekat mungkin dengan terminal komutator dimana akan dipasang sambungan tersebut.

#### 1. Kumputaran gelung tunggal.

Lilitan rotor terdiri dari beberapa kumputaran, sedangkan kumputaran yang terdiri dari beberapa lilitan penghantar (kawat). Kumputaran yang terdapat dalam alur rotor yang terdiri dari sisi kumputaran dan kepala kumputaran. Pada rotor yang mempunyai satu sisi kumputaran setiap alur maka sistem kumputaran ini disebut kumputaran lapis tunggal. Sedangkan untuk satu alur terdapat sisi kumputaran bawah dan sisi kumputaran atas, maka sistem kumputaran ini disebut kumputaran berlapis.

Setiap alur rotor biasanya dalam praktek diberi nomor. Pemberian nomor ini tergantung dengan sistem kumputaran yang akan dipasang. Untuk sistem kumputaran tunggal maka penomoran alur sesuai dengan jumlahnya alur yang terdapat pada rotor tersebut. Sedangkan untuk sistem kumputaran berlapis, maka setiap alur mempunyai satu sisi bernomor ganjil dan satu sisi bernomor genap. Gambar 18 sebuah bentangan dari beberapa kumputaran dimana  $Y_1$  merupakan lebar kumputaran yang kira-kira sama dengan jarak kutub  $\tau_p$ . Bila lebar kumputaran sama dengan jarak kutub ( $Y_1 = \tau_p$ ), maka lilitan kumputaran ini disebut lilitan diameter. Jika ( $Y_1 < \tau_p$ ), maka lilitan kumputaran ini disebut lilitan tali busur atau lilitan dengan kisar kumputaran diperpendek. Dari kedua bentuk lilitan kumputaran tersebut dimana lilitan tali busur yang mempunyai

Persyaratan yang harus dipenuhi untuk kumparan gelung tunggal yaitu:

- $p/a$  harus merupakan bilangan bulat
- $s/p = k/p$  harus bilangan bulat
- $Y_c = 1$

#### Contoh

Sebuah rotor motor universal untuk mesin blender, jumlah kutub stator ( $p$ ) = 2. Jumlah alur rotor ( $Gr$ ) = 16 alur, sisi kumparan tiap alur  $u = 1$ , dan kisar komutator ( $Y_c$ ) = 1. Sistem lilitan yang digunakan lilitan gelung tunggal.

#### Penyelesaian

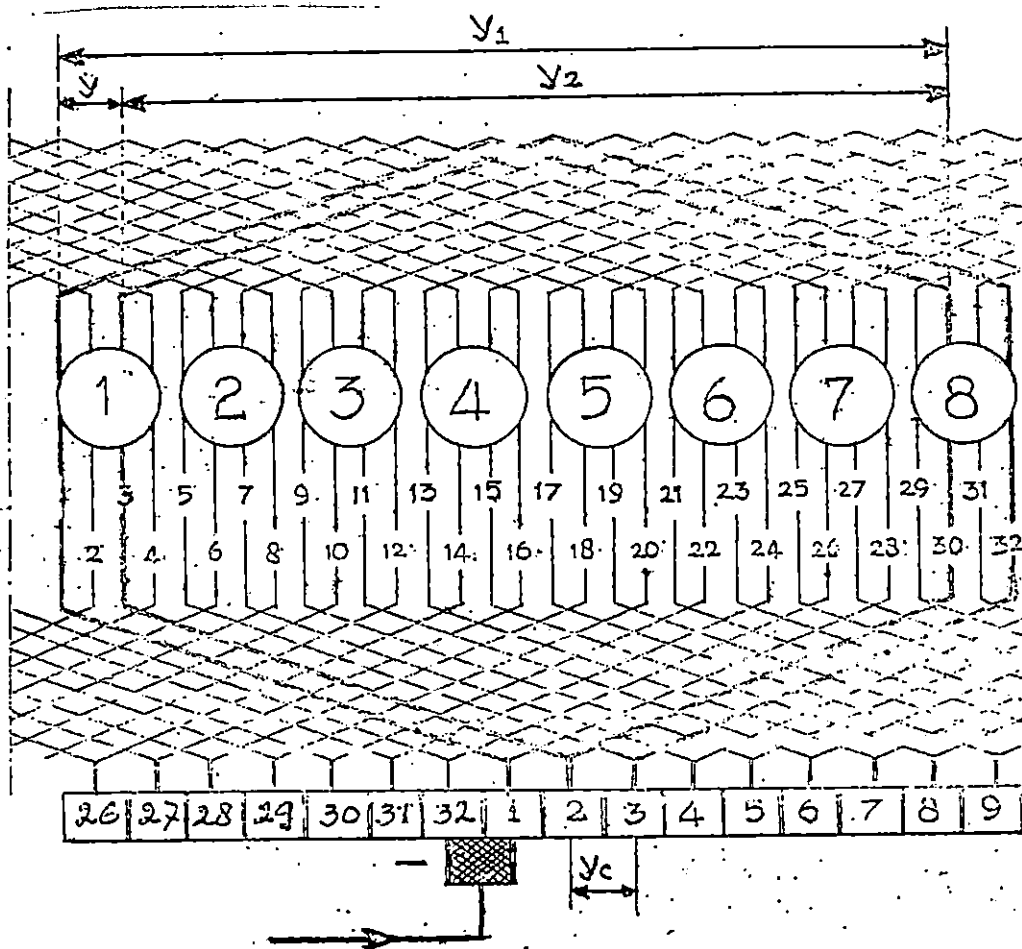
Jumlah sisi kumparan ( $s$ ) =  $Gr \cdot 2u = 16 \cdot 2 \cdot 1 = 32$  buah

Jumlah lemel komutator ( $k$ ) =  $s/2 = 32/2 = 16$  lemel

Kisar kumparan sama dengan jarak kutub ( $Y = \tau p$ ) =  $\pm Gr/p = \pm 24/2 = 6$  alur

Tabel lilitan kumparan gelung tunggal

Lamel	Sisi kumparan	Lamel
1	1 - 8	2
2	2 - 9	3
3	3 - 10	4
4	4 - 11	5
5	5 - 12	6
6	6 - 13	7
7	7 - 14	8
8	8 - 15	9
9	9 - 16	10
10	10 - 1	11
11	11 - 2	12
12	12 - 3	1

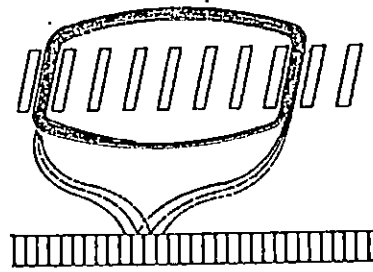


Gambar 21. Bentangan Lilitan Kumaran Gelung Tunggal

## 2. Kumaran gelung majemuk.

Kumaran gelung majemuk, terdiri dari dua kumaran gelung tunggal atau lebih yang disusun sedemikian rupa dalam peredaran tertutup. Jumlah batang penghantar (kawat) yang terdapat didalam tiap alur dinyatakan dengan  $m$ . Sedangkan ketentuan tentang parameter lilitan sama dengan kumaran gelung tunggal dan persyaratan yang harus dipenuhi pada kumaran gelung majemuk sebagai berikut:

- $a/k = k/mp$
- $k/m$  harus bilangan bulat dimana  $2a = m.p$  atau  $a = mp$
- $Y_c = m$



Gambar 22. Bentangan Kumparan Gelung Majemuk ( $m = 3$ )

#### Contoh

Sebuah rotor motor universal untuk mesin varum cleaner, jumlah kutub stator  $p = 2$ , jumlah alur rotor  $Gr = 24$  alur dan sisi kumparan tiap alur ( $u$ ) = 1 dan jumlah batang penghantar tiap sisi kumparan ( $m$ ) = 2. Jenis lilitan yang digunakan lilitan gelung majemuk yaitu  $Y_c = m = 2$ .

#### Penyelesaian

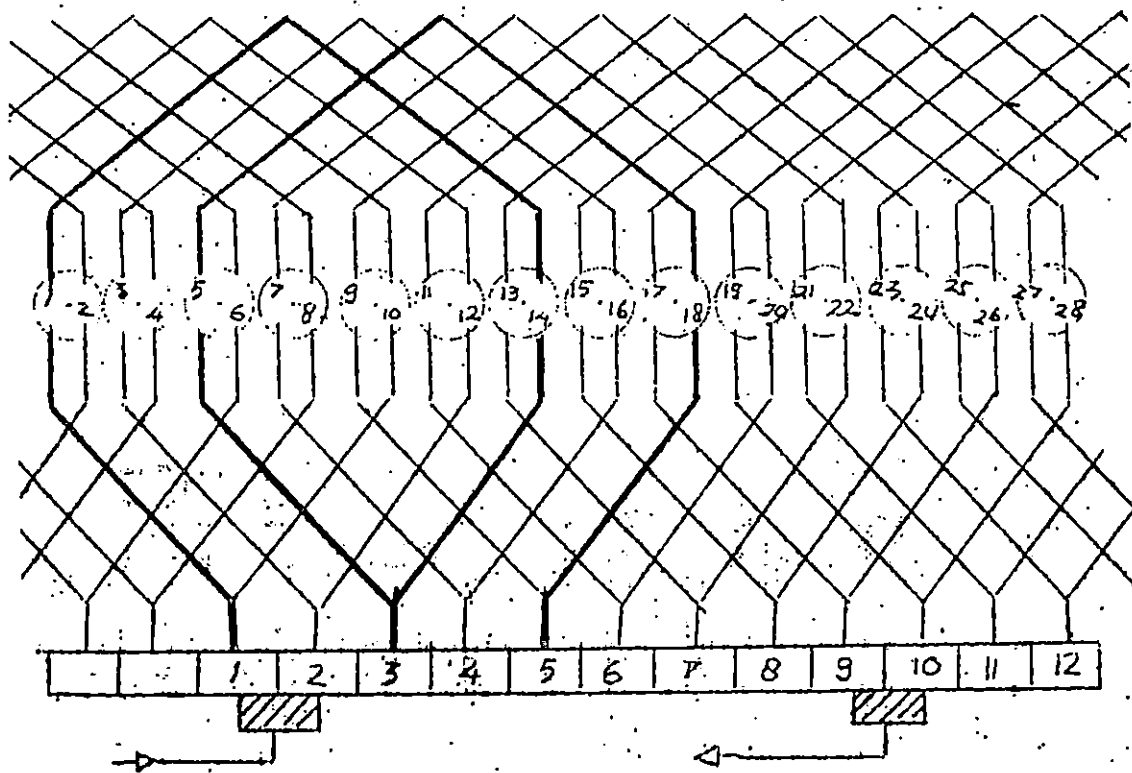
Jumlah kumparan  $s = Gr \cdot 2u = 24 \cdot 2 \cdot 1 = 48$  buah

Jumlah lamel komutator  $k = s/2 = 48/2 = 24$  lamel

Kisar kumparan rotor  $Y = \pm Gr/p = 24/2 = 12$  alur

Tabel lilitan gelung majemuk dengan  $m = 2$

Lamel	Sisi Kumparan	Lamel
1	1 - 12	3
2		4
3	2 - 13	5
4		6
5	3 - 14	7
6		8
7	4 - 15	9
8		10
9	5 - 16	11
10		12
11	6 - 17	13
12		14
13	d s t	15



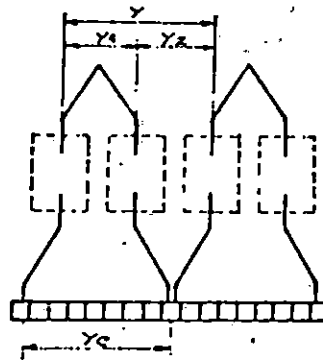
Gambar 23. Bentangan Kumputan Gelung Majemuk

### 3. Kumputan gelombang tunggal.

Pada kumputan gelombang tunggal untuk menentukan lebar kumputan ( $Y_1$ ) prinsipnya sama dengan kumputan gelombang tunggal, dimana ujung-ujung penghantar kumputan yang dihubungkan dalam bentuk gelombang pada komutator ( $Y_c$ ).

Bila sebuah lilitan diletakkan salah satu ujung penghantar pada komutator dilemel 1, maka untuk ujung yang lainnya berkisar sejauh  $p$  terletak disebelah kanan atau kiri dari lamel pertama tadi. Dengan demikian jarak lamel pertama dengan lamel berikutnya dinyatakan dengan  $Y_c$ , maka diperoleh sebagai berikut:

$$Y_c = (k \pm 1)/p \text{ lamel atau } Y_c = \pm G/2 \text{ lamel.}$$



Gambar 24. Lilitan Gelombang Tunggal

## Contoh

Sebuah rotor motor repulsi induksi start untuk mesin gerinda yang mempunyai kutub stator  $p = 4$ , jumlah alur rotor  $Gr = 31$  alur. Sisi kumparan tiap alur  $u = 1$ . Sistem lilitan yang digunakan lilitan gelombang tunggal.

## Penyelesaian

Jumlah kumparan rotor  $s = Gr \cdot 2u = 31 \cdot 2 \cdot 1 = 62$  buah

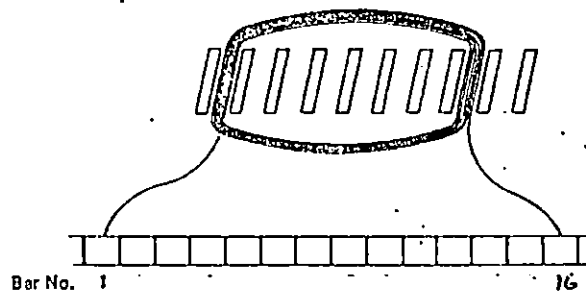
Jumlah lamel komutator  $k = s/2 = 62/2 = 31$  lamel

kisar lamel komutator  $Y_c = (k \pm 1)2/p = (31 \pm 1)2/4 = 15$  atau 16 lamel.

Kisar kumparan rotor  $Y = \pm Gr/p = \pm 31/4 = \pm 7,75$  karena bilangan ini bukan bilangan bulat maka diperoleh  $Y = 8$

Tabel lilitan gelombang tunggal

Lamel	Sisi kumparan	Lamel
1	1 - 8	16
2	2 - 9	17
3	3 - 10	18
4	4 - 11	19
5	5 - 12	20
6	6 - 13	21
7	7 - 14	22
8	8 - 15	23
9	9 - 16	24
10	10 - 17	25
11	11 - 18	26
	d s t	



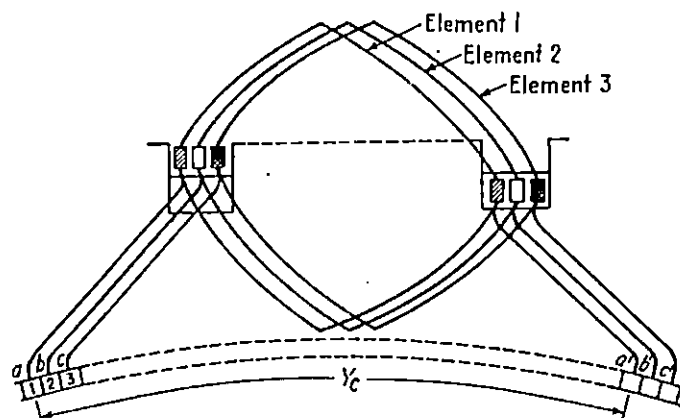
Gambar 25. Bentangan Lilitan Gelombang Tunggal

#### 4. lilitan gelombang majemuk

lilitan gelombang majemuk yang terdiri dari dua lilitan gelombang tunggal atau lebih yang menjadikan lilitan setangkup. Tiap lilitan gelombang tunggal yang terbagi dalam dua batang rotor sehingga jumlah batang penghantar didalam tiap alur dinyatakan ( $m$ ) batang. Dengan demikian pada lilitan gelombang majemuk dimana  $2a = 2m$  atau  $a = m$ . Kelipatan dari lilitan yang ditentukan dengan mengubah kisar komutator ( $Y_c$ ), untuk itu diperoleh sebagai berikut:

$$Y_c = (k \pm m)/p \text{ lamel}$$

Untuk memenuhi persyaratan setangkup dimana  $k/a = k/m$ , hal ini harus dalam bilangan bulat. Bila  $p/m$  sebagai bilangan bulat, ini dapat dihubungkan majemuk pada ujung lilitan ke komutator ( $Y_c$ ) harus dapat dibagi dengan jumlah batang penghantar  $m$ . Akhirnya  $k/ua = k/um$  harus merupakan bilangan bulat juga.



Gambar 26. Lilitan Gelombang Majemuk



## Contoh

Sebuah rotor motor repulsi induksi start untuk pompa air dengan kutub stator  $p = 2$ , jumlah alur rotor  $G_r = 24$  alur. Lilitan kumparan dengan sistem lilitan gelombang majemuk. Jumlah batang penghantar  $m = 3$  dan  $u = 3$ .

## Penyelesaian:

Jumlah sisi kumparan  $s = G_r \cdot 2u = 24 \cdot 2 \cdot 3 = 144$  buah

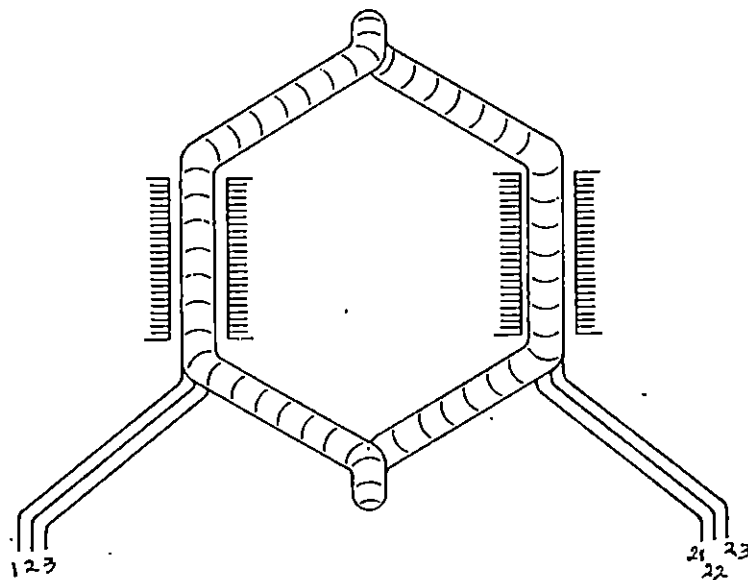
Jumlah lamel komutator  $k = 144/2 = 72$  alur

Kisar komutator  $Y_c = (k \pm m)/p = (72 \pm 3)/1 = 21$  atau 27 alur, maka diambil untuk  $y_c = 21$  lamel.

Kisar kumparan rotor  $r_p = \pm G_r/p = \pm 24/2 = 12$  alur.

Tabel lilitan gelombang majemuk dengan  $m = 3$

Lamel	Sisi Kumparan	Lamel
1		21
2	1 - 21	22
3		23
4		24
5	2 - 22	25
6		26
7		27
8	3 - 23	28
9		29
10		12
11	4 - 24	13
12		14
13	d s t	15



Gambar 27. Bentangan Lilitan Gelombang Majemuk

## BAB IV

### PERENCANAAN LILITAN MOTOR-MOTOR LISTRIK

Untuk merancang suatu kumparan atau lilitan motor-motor listrik yang perlu mendapat perhatian utama adalah jenis dan konstruksi motor tersebut. Rotor motor-motor listrik fase tunggal atau motor yang bertenaga kecil terdiri dari rotor sangkar dan rotor lilit. Sedangkan stator motor ada yang menggunakan stator sepatu kutub (salient) dan motor stator beralur (non salient). Supaya motor dapat berputar, dibutuhkan interaksi dari dua medan magnet. Cara yang umum untuk membuat medan magnet adalah dengan menggunakan dua kumparan yang keduanya dialiri arus dari satu sumber tegangan. Salah satu dari kumparan ditempatkan secara permanen dibagian stator dan yang lainnya ditempatkan dibagian rotor.

Semua motor induksi satu fase yang menggunakan rotor sangkar dan stator berbentuk alur (salient pole) kumparan statornya disusun menyebar pada alur-alur sekeliling inti stator, kecuali motor shaded pole. Kumparan stator ini dihubungkan dengan sumber tegangan dan medan magnet yang dihasilkan akan menginduksikan arus pada kumparan rotor (batang penghantar pada rotor).

Motor universal gulungan medannya bertipe sepatu kutub dan bersamaan dengan gulungan jangkar (rotor) dihubungkan dengan sumber tegangan. Berikut ini akan dijelaskan motor-motor yang berkonstruksi stator non salient, stator salient, rotor sangkar dan rotor lilit.

#### A. Motor-Motor Non Salient

Motor-motor listrik yang menggunakan konstruksi stator berbentuk alur (non salient) ada yang menggunakan rotor sangkar dan ada yang menggunakan rotor lilit. Motor yang termasuk kedalam bentuk motor diatas adalah motor split fase, motor kapasitor start, motor kapasitor permanen, motor kapasitor ganda dan motor repulsi.

### 1. Kumparan utama stator

Dalam merancang atau merencanakan jumlah lilitan kumparan utama, terlebih dahulu harus diketahui besaran-besaran yang ada pada motor listrik tersebut serta dimensi-dimensi dari inti stator itu. Dari besaran dan dimensi motor dapat digunakan beberapa rumus imperis berdasarkan teori perencanaan mesin listrik sebagai berikut:

$$\text{Kopel (torsii) motor (M)} = \frac{V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi}{\omega} \text{ (Nm)} \quad (1)$$

$$\text{Kecepatan sudut rotor } (\omega) = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (2)$$

$$\text{Daya input motor dalam (kVA) Pin} = C_o D^2 L n_s \quad (3)$$

$$\text{Koeffisien output motor } C_o = 11 \text{ kw Bav Ac } 10^{-3} \quad (4)$$

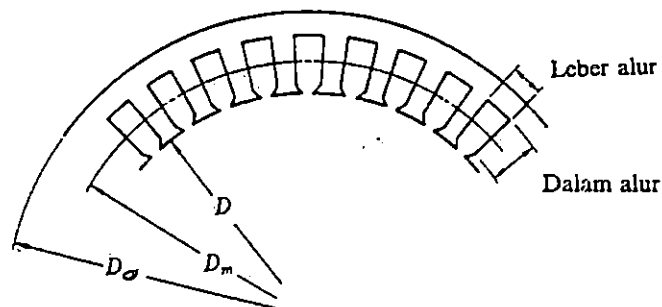
$$\text{Daya output motor Pin} = \frac{\text{Hp. } 0,746}{\text{Cos } \varphi \cdot \eta} \text{ kVA} \quad (5)$$

Dari persamaan (3) dan (5), maka diperoleh hubungan koeffisien output motor dengan daya output dan dimensi motor sebagai berikut:

$$C_o = \frac{\text{Hp. } 0,746}{\text{Cos } \varphi \cdot \eta \cdot D \cdot L \cdot n_s^2} \quad (6)$$

Keterangan :

- Pin : Daya input motor
- Hp : Daya output motor
- C<sub>o</sub> : koeffisien output motor
- D : Diameter bagian dalam stator (m)
- L : Laber teras stator (m)
- n<sub>s</sub> : Kecepatan sinkron motor (Rps)
- Cos φ : Faktor kerja motor
- n : Kecepatan motor beban penuh (Rpm)
- η : Effisiensi motor (%)



Gbr 28. Penampang Teras Stator Dan Dimensinya

Dari beberapa pengamatan diperoleh hubungan antara faktor kerja dengan efisiensi motor. Untuk motor dengan daya 75 Watt maka faktor kerja ( $\text{Cos } \varphi = 0,55$ ) dan efisiensi ( $\eta = 50\%$ ). Sedangkan motor dengan daya 750 Watt diperoleh  $\text{Cos } \varphi = 0,65$  dan  $\eta = 70\%$ . Pada tabel 2 dibawah ini dijelaskan hubungan daya motor dengan efisiensi dan faktor kerja untuk daya motor 1/20 Hp sampai dengan 10 Hp dengan tegangan kerja 110/220 Volt.

TABEL 2  
HUBUNGAN DAYA TERHADAP EFFISIENSI  
DAN FAKTOR KERJA MOTOR

Daya (Hp)	Effisiensi $\eta$	Cos $\varphi$
1/20	0,38	0,46
1/18	0,39	0,47
1/16	0,40	0,48
1/12	0,43	0,49
1/10	0,46	0,50
1/8	0,48	0,51
1/6	0,53	0,54
1/4	0,57	0,56
1/3	0,61	0,59
1/2	0,65	0,62
3/4	0,67	0,64
1	0,69	0,65
1 1/2	0,73	0,69
2	0,77	0,74
3	0,80	0,76
5	0,83	0,77
7 1/2	0,85	0,78
10	0,86	0,82

Kuat medan (fluks) maksimum pada teras motor yang berhubungan dengan kerapatan fluk dan luas kutub adalah :  $\phi_m = \text{Bav. } \pi \cdot D \cdot L / p$  (7)

Dengan mensubsitusikan persamaan (4) dan (7) maka diperoleh persamaan kuat medan maksimum yang bekerja pada teras motor sebagai berikut:

$$\phi_m = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot \text{Co. } 10^3}{11 \cdot \text{fw. } p \cdot \text{ac}} \text{ meter:Weber} \quad (8)$$

Untuk motor-motor listrik berdaya kecil harga ac berkisar dari 500 - 25.000. amper/meter. Harga pendekatan untuk motor listrik yang digunakan pada alat-alat rumah tangga dengan beban spesifik adalah 20.000 amp/m, maka persamaan diatas dapat dipermudah menjadi:

$$\phi_m = \frac{0,0143 D. L. Co}{fw. p} \text{ meter weber} \quad (9)$$

Tegangan induksi (E) pada kumparan motor adalah:

$$E = 4,44. f. fw. \phi_m. T_m \text{ Volt} \quad (10)$$

Perbandingan tegangan induksi stator terhadap tegangan terminal = 0,95. Dengan demikian persamaan (11) menjadi  $E = 0,95. \text{ Volt}$ .

Untuk menentukan jumlah belitan ( $T_m$ ) kumparan stator dipakai rumus sebagai berikut:

$$T_m = \frac{0,214 V}{f. fw. \phi_m} \text{ lilitan} \quad (11)$$

Untuk menghitung besar arus nominal (I) motor yang tidak tercantum pada papan namanya dipakai persamaan

$$I = \frac{Hp. 746}{V. \text{Cos } \varphi. \eta} \text{ Amper} \quad (12)$$

Pada tabel 3 dibawah ini diperlihatkan hubungan antara daya output dengan daya input (VA) dan arus beban penuh berdasarkan faktor kerja motor serta efisiensi motor dari hasil pengamatan diatas.

TABEL 3  
HUBUNGAN DAYA OUTPUT, DAYA INPUT DAN  
ARUS BEBAN PENUH MOTOR

DAYA OUTPUT		DAYA INPUT V A	ARUS BEBAN PENUH (AMP)
HP	WATT		
1/20	37	70,84	0,322
1/18	42	80,30	0,365
1/16	47	89,76	0,408
1/12	62	118,58	0,539
1/10	75	143,44	0,652
1/8	95	201,96	0,918
1/6	125	265,54	1,207
1/4	187	397,54	1,807
1/3	249	529,32	2,406
1/2	374	794,86	3,613
3/4	560	1190,20	5,410
1	746	1251,80	5,698
1,5	1120	1880,78	8,549
2	1490	2505,58	11,389
3	2238	3758,48	17,084
5	3780	6263,40	28,470
7,5	5595	9395,98	42,709
10	7460	12528,12	56,941

Untuk menghitung distribusi jumlah lilitan pada setiap slot (alur) dari kumparan stator motor, perlu diketahui jumlah alur stator (G), kecepatan motor ( $n_s$ ), frekuensi motor (f) dan faktor belitan (fw). Kecepatan motor sinkron berdasarkan frekuensi tegangan kerja mempunyai kaitan yang erat terhadap jumlah kutub motor. Tabel 3 diperlihatkan hubungan frekuensi dan jumlah kutub terhadap kecepatan motor.

$$n = \frac{120 f}{p} \longrightarrow n_s = \frac{n}{60}$$

p = jumlah kutub  
f = ferekuensi tegangan (Hz)  
 $n_s$  = kecepatan sinkron (Rps)

TABEL 4  
HUBUNGAN KECEPATAN SINKRON PER DETIK TERHADAP FREKUENSI  
KERJA DAN JUMLAH KUTUB

Jumlah Kutub	KECEPATAN SINKRON PER DETIK (ns)			
	60 HZ	50 HZ	40 HZ	25 HZ
2	60	50	40	25
4	30	25	20	12,5
6	20	16,67	13,33	8,33
8	15	12,5	10,0	6,25
10	12	10	8,0	5,0
12	10	8,33	6,66	4,16
14	8,57	7,31	5,68	3,57
16	7,5	6,25	5,0	3,13
18	6,66	5,56	4,44	2,94
20	6,0	5,0	4,0	2,5
22	5,45	4,55	3,64	2,27
24	5,0	4,17	3,33	2,08
26	4,62	4,18	3,07	1,92
28	4,29	3,57	2,86	1,78
30	4,0	3,33	2,66	1,66
32	3,75	3,13	2,5	1,56
34	3,53	2,94	2,35	1,47
36	3,33	2,77	2,22	1,38
38	3,0	2,63	2,11	1,30
40	3,0	2,5	2,0	1,25

Pada umumnya motor-motor listrik berfase tunggal, hanya 2/3 dari jumlah slot yang terisi oleh kumparan lilitan pada stator motor tersebut. Faktor lilitan ( $f_w$ ) =  $f_d \cdot f_p$ . Untuk motor satu fase faktor distribusi lilitan ( $f_d$ ) =  $2/\pi$ , sedangkan faktor puncak lilitan ( $f_p$ ) = 1. Faktor lilitan ( $f_w$ ) biasanya berkisar antara 0,75 s/d 0,85.

Sebagai koreksi hasil perhitungan jumlah lilitan kumparan stator dari persamaan (11) dapat digunakan persamaan dibawah ini.

$$T_m = \frac{14,96 V_p}{f \cdot D \cdot L \cdot C_o} \text{ lilit} \quad (13)$$

Untuk menentukan jumlah lilitan tiap slot dari masing-masing lilitan, terlebih dahulu harus ditentukan jumlah lilitan pada setiap kutub.

Jumlah lilitan tiap kutub ( $T_{mp}$ )

$$T_{mp} = T_m/p$$

Jumlah lilitan tiap alur per kutub ( $T_{slot}$ )

$$T_{slot} = 2 \cdot T_{mp}/g$$

$g$  = jumlah alur yang diisi penghantar per kutub.

Menentukan diameter kawat kumparan stator dapat dilakukan dengan dua cara yaitu berdasarkan panjang rata-rata tiap lilitan kumparan kutub ( $l_{mt}$ ) dan kepadatan arus dalam kawat ( $\delta$ ).

Tahanan kumparan per kutub ( $R_{mp}$ ) dihitung berdasarkan panjang rata-rata tiap lilitan kumparan kutub ( $l_{mt}$ ) dan jumlah lilitan kumparan stator ( $T_m$ ) dalam temperatur kerja  $35^\circ\text{C}$  s/d  $75^\circ\text{C}$  sebagai berikut:

$$R_{mp} = \frac{T_m \cdot l_{mt} \cdot 2p}{46 \text{ qcu}} \quad \text{dan} \quad I = 0,95 \cdot V/R_{mp}$$

Dari kedua persamaan diatas diperoleh persamaan untuk menentukan diameter kawat ( $d_{cu}$ ) kumparan stator sebagai berikut:

$$d_{cu} = 0,242 \cdot \sqrt{\frac{I \cdot T_m \cdot l_{mt} \cdot p}{V}} \quad \text{mm} \quad (14)$$

Dimana;  $I$  = arus yang mengalir pada kawat dalam Amper  
 $T_m$  = jumlah lilitan per kutub  
 $l_{mt}$  = pajang rata-rata tiap kutub dalam meter  
 $p$  = jumlah kutub motor  
 $V$  = tegangan terminal motor dalam Vlot

Berdasarkan kepadatan arus dalam penghantar ( $\delta$ ), diturunkan dari beberapa persamaan sebagai berikut:

$$\text{Penampang penghantar (qcu)} = I/\delta \quad \text{mm}^2 \quad (15)$$

$$\text{Kuat arus motor kerja normal (I)} = \frac{H_p \cdot 746}{V \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (16)$$

Kunci dalam penyelesaian kedua persamaan diatas sangat ditentukan oleh ketepatan menentukan besarnya kepadatan arus dalam penghantar. Dari hasil pengamatan untuk motor berdaya kecil satu fase kepadatan arus ( $\delta$ ) berkisar antara  $3 \text{ amp/mm}^2$  sampai dengan  $4,5 \text{ Amp/mm}^2$ . Bertolak dari ketetapan ini maka persamaan yang dipakai untuk menentukan diameter penghantar kumparan stator adalah:



$$dcu = 0,535 \sqrt{\frac{Hp. 746}{V. \cos \varphi. \eta}} \text{ mm}^2 \quad (17)$$

## 2. Kumparan bantu stator

Jumlah lilitan kumparan bantu serta diameter yang digunakan, sangat ditentukan oleh kopel mula yang dihasilkan oleh kumparan bantu dengan sudut pergeseran letak kumparan tersebut. Pergeseran letak kumparan utama terhadap kumparan bantu berkisar antara  $30^\circ$  sampai dengan  $90^\circ$  listrik. Perbandingan jumlah lilitan kumparan utama dan kumparan bantu disimbulkan dengan (k). Nilai (k) berkisar antara 0,5 sampai dengan 0,75. Untuk menentukan jumlah lilitan kumparan bantu digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Tm.fw. k = fwb. Tmb \quad \text{atau} \quad Tmb = k \frac{Tm. fw}{fwb} \quad (18)$$

Harga (k) yang kecil ( $k = 0,5$ ) hanya digunakan untuk digunakan motor split fase dan kapasitor start. Sedangkan harga (k) diambil besar ( $k = 0,75$ ) digunakan untuk motor kapasitor permanen (run kapacitor) dan motor kapasitor ganda. Dengan demikian diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Tmb = k. \frac{0,214. fw. V}{f. fwb. \phi_m} \text{ lilitan} \quad (19)$$

Dimana : Tmb = jumlah lilitan kumparan bantu  
 fw = faktor lilitan kumparan utama  
 fwb = faktor lilitan kumparan bantu  
 k = faktor perbandingan kedua kumparan

Perbandingan diameter penghantar kumparan bantu (dcub) dengan diameter penghantar kumparan utama disimbulkan dengan (kcu). Harga (kcu) berkisar antara 1 sampai dengan 1,25. Untuk motor permanen kapasitor dan kapasitor ganda dipakai harga  $kcu = 1$ . Sedangkan untuk motor split fase dan kapasitor start digunakan harga  $kcu = 1,25$ .

Persamaan yang digunakan untuk menghitung diameter penghantar kumparan bantu adalah:

$$d_{cu} = k_{cu} \cdot d_{cub} \quad \text{atau} \quad d_{cub} = d_{cu}/k_{cu} \quad (20)$$

Substitusikan salah satu persamaan diameter penghantar kumparan utama ke dalam diameter kumparan bantu, maka persamaannya akan menjadi sebagai berikut:

$$d_{cub} = \frac{0,535}{k_{cu}} \sqrt{\frac{H_p \cdot 746}{V \cdot \cos \varphi \cdot \eta}} \quad \text{mm} \quad (21)$$

Contoh 1.

Motor split fase dengan teras stator 32 alur dan kecepatan 1500 Rpm, frekuensi 50 Hz. Daya motor = 0,25 Hp, tegangan kerja  $V = 220$  Volt, faktor kerja  $\cos \varphi = 0,56$  dan efisiensi motor  $\eta = 57\%$ . Diameter teras stator  $D = 0,075$  m, lebar teras stator  $L = 0,0436$  m. Jumlah kutub  $p = 4$ .

Tentukanlah beberapa besaran yang diperlukan dalam mereparasi motor tersebut:

Penyelesaian:

Arus nominal motor (I)

$$I = \frac{H_p \cdot 746}{V \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad \text{Ampere}$$

$$I = \frac{0,25 \cdot 746}{220 \cdot 0,56 \cdot 0,570} = 2,7 \quad \text{Amp}$$

ns berdasarkan tabel = 25 Rps

Koeffisien output motor ( $C_o$ )

$$C_o = \frac{H_p \cdot 0,746}{D^2 \cdot L \cdot ns \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{0,25 \cdot 0,746}{0,075^2 \cdot 0,0436 \cdot 25 \cdot 0,56 \cdot 0,57}$$

$$= \frac{0,1865}{0,001957} = 95,3$$

Jumlah lilitan kumparan utama ( $T_m$ )

$$T_m = \frac{14,98 \cdot V \cdot p}{f \cdot D \cdot L \cdot C_o}$$

$$= \frac{14,98 \cdot 220 \cdot 4}{50 \cdot 0,075 \cdot 0,0436 \cdot 95,3} = 846 \quad \text{lilitan}$$

Jumlah lilitan kumparan utama per kutub

$$\begin{aligned} T_{mp} &= T_m/p = 846/4 \\ &= 212 \text{ lilitan} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk kumparan bantu, dimana faktor lilitan dari kedua kumparan tersebut dianggap sama yaitu  $f_w = f_{wb}$  dan ratio lilitan ( $k$ ) = 0,5 maka diperoleh:

$$T_b = k \cdot T_m \cdot f_w/f_{wb} = 0,5 \cdot 846 = 423 \text{ lilitan}$$

Distribusi lilitan kumparan utama dan lilitan kumparan bantu

$$\text{Kisar alur per kutub } (\tau_p) = \pm G/p = 32/4 = \pm 8 \text{ alur}$$

$$\text{Jumlah alur per kutub } (g_p) = \pm 2/3 \cdot G/p = 2/3 \cdot 32/4 = \pm 5,33$$

alur. Karena harga jumlah alur per kutub tidak bilangan bulat maka digunakan tanda (+) atau (-) untuk memperoleh

harga bulat tersebut. Disini dapat digunakan dua cara yaitu dengan memperbanyak jumlah alur per kutub atau memperkecil

jumlah alur per kutub. Bila jumlah alur per kutub diperkecil, maka sisi kumparan adalah 2 alur per kutub,

sedangkan jika diperbanyak, maka sisi kumparan 4 alur per kutub. Untuk jumlah alur per kutub yang diperbanyak, maka

ada alur yang dipakai bersama oleh kumparan utama dan kumparan bantu.

Distribusi kumparan dari kedua cara tersebut:

1. Jumlah alur per kutub diperkecil:

Distribusi kumparan utama.

Kumparan Kutub 1	Kumparan Kutub 2	Kumparan Kutub 3	Kumparan Kutub 4
(1 - 8)	(9 - 16)	(17 - 24)	(25 - 32)
(2 - 7)	(10 - 15)	(18 - 23)	(26 - 31)

Jumlah lilitan tiap sisi kumparan

$$(1 - 8) = T_{mp}/2 = 212/2 = 106 \text{ lilitan}$$

$$(2 - 7) = T_{mp}/2 = 212/2 = 106 \text{ lilitan}$$

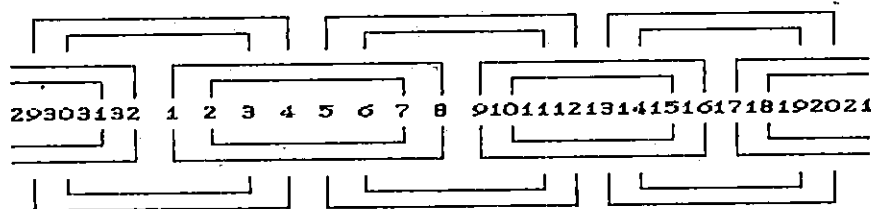
Distribusi kumparan bantu.

Kumparan Kutub 1	Kumparan Kutub 2	Kumparan Kutub 3	Kumparan Kutub 4
(5 - 12)	(13 - 20)	(21 - 28)	(29 - 4)
(6 - 11)	(14 - 19)	(22 - 27)	(30 - 3)

Jumlah lilitan tiap sisi kumparan

$$(5 - 12) = Tbp/2 = 106/2 = 53 \text{ lilitan}$$

$$(6 - 11) = Tbp/2 = 106/2 = 53 \text{ lilitan}$$



Gambar 29. Bentangan Kumparan Utama Dan Bantu

## 2. Jumlah alur per kutub diperbanyak

Langkah kisar kumparan diperpanjang maka  $\tau_p = 9$  alur  
maka jumlah sisi kumparan per kutub adalah 4 alur.

Distribusi Kumparan Utama.

Kumparan Kutub 1	Kumparan Kutub 2	Kumparan Kutub 3	Kumparan Kutub 4
(1 - 9)	(9 - 17)	(17 - 25)	(25 - 1)
(2 - 8)	(10 - 16)	(18 - 24)	(26 - 32)
(3 - 7)	(11 - 15)	(19 - 23)	(27 - 31)
(4 - 6)	(12 - 14)	(20 - 22)	(28 - 30)

Kisar kumparan per kutub

- (1 - 9) jarak kisar 8 alur
- (2 - 8) jarak kisar 6 alur
- (3 - 7) jarak kisar 4 alur
- (4 - 6) jarak kisar 2 alur

Sudut kisar kumparan per kutub

$$(1 - 9) = \sin 1/2 \text{ coil span} = 8/9 \cdot 90^\circ = 0,985$$

$$(2 - 8) = \sin 1/2 \text{ coil span} = 6/9 \cdot 90^\circ = 0,866$$

$$(3 - 7) = \sin 1/2 \text{ coil span} = 4/9 \cdot 90^\circ = 0,643$$

$$(4 - 6) = \sin 1/2 \text{ coil span} = 2/9 \cdot 90^\circ = 0,342$$

$$\text{Jumlah} = 2,836$$

Persentase lilitan tiap alur per kutub

$$(1 - 9) = 0,985/2,836 \cdot 100\% = 34,6\%$$

$$(2 - 8) = 0,866/2,836 \cdot 100\% = 30,6\%$$

$$(3 - 7) = 0,643/2,836 \cdot 100\% = 22,7\%$$

$$(4 - 6) = 0,342/2,836 \cdot 100\% = 12,1\%$$

Jumlah lilitan tiap alur per kutub berdasarkan persentase

$$(1 - 9) = 34,6\%. \text{ Tmp} = 0,346. 212 = 73 \text{ lilitan}$$

$$(2 - 8) = 30,6\%. \text{ Tmp} = 0,306. 212 = 65 \text{ lilitan}$$

$$(3 - 7) = 22,7\%. \text{ Tmp} = 0,227. 212 = 48 \text{ lilitan}$$

$$(4 - 6) = 12,1\%. \text{ Tmp} = 0,121. 212 = 26 \text{ lilitan}$$

Kumparan Bantu.

Kumparan Kutub 1	Kumparan Kutub 2	Kumparan Kutub 3	Kumparan Kutub 4
------------------	------------------	------------------	------------------

$$(5 - 13) \quad (13 - 21) \quad (21 - 29) \quad (29 - 5)$$

$$(6 - 12) \quad (14 - 20) \quad (22 - 28) \quad (30 - 4)$$

$$(7 - 11) \quad (15 - 19) \quad (23 - 27) \quad (31 - 3)$$

$$(8 - 10) \quad (16 - 18) \quad (24 - 26) \quad (32 - 2)$$

Jarak kisar alur per kutub dan sudut kisar lilitan tiap alur perkutub sama dengan kumparan utama, maka persentase lilitan tiap alur per kutubnya juga sama.

Jumlah lilitan tiap alur per kutub berdasarkan persentase

$$(5 - 13) = 34,6\%. \text{ Tbp} = 0,346. 106 = 37 \text{ lilitan}$$

$$(6 - 12) = 30,6\%. \text{ Tbp} = 0,306. 106 = 32 \text{ lilitan}$$

$$(7 - 11) = 22,7\%. \text{ Tbp} = 0,227. 106 = 24 \text{ lilitan}$$

$$(8 - 10) = 12,1\%. \text{ Tbp} = 0,121. 106 = 13 \text{ lilitan}$$

### 3. Diameter kawat kumparan utama dan kumparan bantu.

Untuk menentukan diameter kawat kumparan utama dan bantu dapat dilakukan dengan mengukur panjang lengkungan rata-rata dari kumparan per kutub atau kerapatan arus yang mengalir dalam kumparan tersebut. Dalam hal ini dilakukan dengan menghi tung panjang lengkungan rata-rata dari kumparan per kutub dengan perkiraan keliling per kutub hanya  $\frac{2}{3}$  untuk mendapatkan panjang rata-rata tiap kutub sebagai berikut:

$$\text{lmt} = \frac{4}{3} (\pi \cdot D/p + L) \text{ meter}$$

$$= \frac{4}{3} (3,14 \cdot 0,075/4 + 0,0436) = 0,137 \text{ m}$$

$$\text{dcu} = 0,25 \sqrt{\frac{T_m \cdot \text{lmt} \cdot I \cdot p}{V}}$$

$$= 0,25 \sqrt{\frac{846 \cdot 0,137 \cdot 2,7 \cdot 4}{220}}$$

$$= 0,25 \sqrt{5,689} = 0,597 \text{ mm}$$

Dasar perhitungan dalam menentukan diameter kawat kumparan adalah besarnya tahanan kawat yang biasanya ini digunakan untuk tegangan arus searah (dc), bila dikonversikan kedalam tegangan arus bolak balik (ac) harus dikalikan dengan faktor tegangan tersebut yang harganya adalah 1,25. Jadi diameter kawat yang bisa digunakan untuk itu adalah:

$$d_{cu} = 1,25 \cdot d_{cu \text{ hitung}} = 1,25 \cdot 0,597 = 0,75 \text{ mm}$$

Menentukan diameter kawat untuk kumparan bantu, hal ini dapat dikalikan dengan faktor perbandingan antara kumparan utama dan bantu. Faktor perbandingan ( $k_{cu}$ ) = 1 s/d 1,25 dari diameter kawat kumparan utama, untuk ini diambil  $k_{cu} = 1,25$  karena motor tersebut diperlukan kopel mula yang besar. Maka diameter kawat kumparan bantu ( $d_{cu/b}$ ) =  $d_{cu}/k_{cu} = 0,75/1,25 = 0,6 \text{ mm}$

#### Contoh 2.

Motor kapasitor start (motor kapsul kompresor unit) yang digunakan untuk kulkas. Data motor diambil dari pelat nama dan ukuran fisik motor sebagai berikut:

Type C-P-250 LOV. No. 803.235.20

PH 1.  $n = 3000 \text{ Rpm}$ . 220 V/50 Hz. 220 V/60Hz

0,5 Hp. Diamter stator  $D = 0,064 \text{ m}$ , Lebar teras  $L = 0,051 \text{ m}$

Jumlah alur stator  $G = 24$  alur, rotor sangkar.

Rancanglah para meter yang diperlukan untuk reparasi kumparan motor tersebut.

Penyelesaian:

Faktor kerja motor dan randemen mekanis berdasarkan tabel 2 yaitu  $\cos \varphi = 0,65$  dan  $\eta = 0,96$ .

Kecepatan motor dalam detik ( $n_s$ ) = 50 Rps dan jumlah kutub ( $p$ ) = 4. Arus nominal motor ( $I$ )

$$I = \frac{Hp \cdot 746}{V \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{0,5 \cdot 746}{220 \cdot 0,65 \cdot 0,69} = 2,57 \text{ Amp}$$

Koeffisien output motor ( $C_o$ )

$$C_o = \frac{Hp. 0,746}{D^2 \cdot L \cdot ns \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{0,5 \cdot 0,746}{0,064^2 \cdot 0,051 \cdot 50 \cdot 0,65 \cdot 0,69}$$

$$= \frac{0,25}{0,00483} = 51,76$$

Tegangan per lilitan pada motor

$$E_t = \frac{0,0634 \cdot f \cdot D \cdot L \cdot C_o}{p}$$

$$= \frac{0,0634 \cdot 50 \cdot 0,064 \cdot 0,051 \cdot 51,76}{2}$$

$$= 0,536 \text{ Volt/lilit}$$

Jumlah lilitan kumparan utama ( $T_m$ )

$$T_m = 0,95 \text{ V}/E_t = 0,95 \cdot 220/0,536$$

$$= 389,9 \text{ lilit atau } \pm 390 \text{ lilit.}$$

Jumlah lilitan kumparan per kutub ( $T_{mp}$ )

$$T_{mp} = T_m/p = 390/2 = 195 \text{ lilit}$$

Jumlah jarak alur per kutub ( $\tau_p$ ) =  $\pm G/p = \pm 24/2 = 12$  alur.

Jumlah alur per kutub =  $\pm (2/3)(G/p) = \pm (2/3)(24/2) = 8$

Jika jumlah alur per kutub diperbanyak, maka distribusi kumparan utama dan kumparan bantu adalah:

Distribusi Kumparan Utama.

Kumparan Kutub 1	Kumparan Kutub 2
(1 - 12)	(13 - 24)
(2 - 11)	(14 - 23)
(3 - 10)	(15 - 22)
(4 - 9)	(16 - 21)
(5 - 8)	(17 - 20)

Kisar kumparan per kutub

(1 - 12)	jarak kisar 10 alur
(2 - 11)	jarak kisar 8 alur
(3 - 10)	jarak kisar 6 alur
(4 - 9)	jarak kisar 4 alur
(5 - 8)	jarak kisar 2 alur

Sudut kisar kumparan per kutub

(1 - 12),	sin 1/2. Coil span = 10/12.	$90^\circ = 0,966$
(2 - 11),	sin 1/2. Coil span = 8/12.	$90^\circ = 0,866$
(3 - 10),	sin 1/2. Coil span = 6/12.	$90^\circ = 0,707$
(4 - 9),	sin 1/2. Coil span = 4/12.	$90^\circ = 0,5$
(5 - 8),	sin 1/2. Coil span = 2/12.	$90^\circ = 0,259$
	Jumlah	= 3,298

Persen lilitan per kutub

(1 - 12)	= 0,966/3,298. 100% = 29,27%
(2 - 11)	= 0,866/3,298. 100% = 26,25%
(3 - 10)	= 0,707/3,298. 100% = 21,44%
(4 - 9)	= 0,5/3,298. 100% = 15,16%
(5 - 8)	= 0,259/3,298. 100% = 7,85%

Jumlah lilitan tiap alur per kutub berdasarakan persentase

(1 - 12)	= 29,27%. Tmp = 0,2927. 195 = 57 lilitan
(2 - 11)	= 26,25%. Tmp = 0,2625. 195 = 51 lilitan
(3 - 10)	= 21,44%. Tmp = 0,2144. 195 = 42 lilitan
(4 - 9)	= 15,16%. Tmp = 0,1516. 195 = 30 lilitan
(5 - 8)	= 7,85%. Tmp = 0,0785. 195 = 15 lilitan
(2 - 8)	= 30,6%. Tmp = 0,306. 212 = 65 lilitan

Faktor lilitan kumparan utama (fw) adalah:

$$fw = \frac{28,27 + 22,73 + 14,16 + 7,58 + 1,88}{100} = \pm 0,75$$

Distribusi Kumparan Bantu.

Kumparan kutub 1	Kumparan kutub 2
(7 - 18)	(19 - 6)
(8 - 17)	(20 - 5)
(9 - 16)	(21 - 4)
(10 - 15)	(22 - 3)

Kisar kumparan per kutub

(7 - 18)	jarak kisar 10 alur
(8 - 17)	jarak kisar 8 alur
(9 - 16)	jarak kisar 6 alur
(10 - 15)	jarak kisar 10 alur



Besar sudut kisar kumparan bantu tiap alur per kutub

$$(7 - 18), \sin 1/2 \text{ coil span} = 10/12 \cdot 90^\circ = 0,966$$

$$(8 - 17), \sin 1/2 \text{ coil span} = 8/12 \cdot 90^\circ = 0,866$$

$$(9 - 16), \sin 1/2 \text{ coil span} = 6/12 \cdot 90^\circ = 0,707$$

$$(10 - 15), \sin 1/2 \text{ coil span} = 4/12 \cdot 90^\circ = 0,5$$

$$\text{Jumlah} = 3,039$$

Persentase lilitan tiap kumparan per kutub

$$(7 - 18) = 0,966/3,039 \cdot 100\% = 31,79\%$$

$$(8 - 17) = 0,866/3,039 \cdot 100\% = 28,85\%$$

$$(9 - 16) = 0,707/3,039 \cdot 100\% = 23,26\%$$

$$(10 - 15) = 0,5/3,039 \cdot 100\% = 16,45\%$$

Jumlah lilitan kumparan bantu berdasarkan persentase

$$(7 - 18) = 0,3179 \cdot 182 = 58 \text{ lilitan}$$

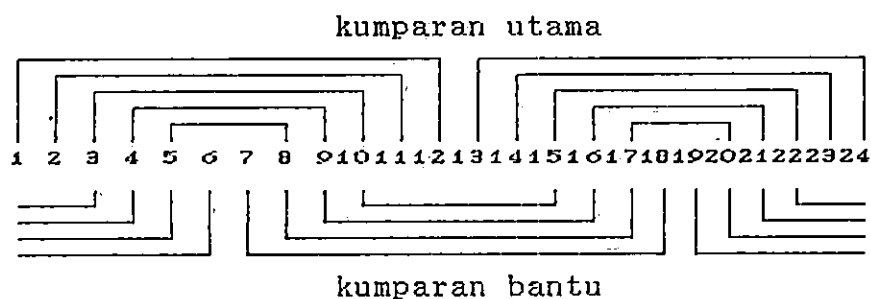
$$(8 - 17) = 0,2885 \cdot 182 = 53 \text{ lilitan}$$

$$(9 - 16) = 0,2326 \cdot 182 = 42 \text{ lilitan}$$

$$(10 - 15) = 0,1645 \cdot 182 = 30 \text{ lilitan}$$

Faktor lilitan kumparan bantu (fwb)

$$\text{fwb} = \frac{30,71 + 24,98 + 16,44 + 8,23}{100} = 0,804$$



Gambar 30. Bentangan Kumparan Utama dan Bantu

Nilai perbandingan (k) diambil 0,5 sedangkan (fw) = 0,75 dan (fwb) = 0,804 maka jumlah lilitan kumparan bantu adalah:

$$\text{Tmb} = k \cdot \text{Tm} \cdot \text{fw}/\text{fwb}$$

$$= 0,5 \cdot 390 \cdot 0,75/0,804$$

$$= 181,9 \text{ atau } 182 \text{ lilit}$$

Diameter kawat kumparan utama dan bantu berdasarkan panjang lilitan rata-rata tiap kutub.

$$\begin{aligned} \text{Lmt} &= (\pi \cdot D/p + L)4/3 \text{ meter} \\ &= (3,14 \cdot 0,064/2 + 0,051)4/3 = 0,202 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{dcu} &= 0,25 \sqrt{\frac{T_m \cdot \text{lmt} \cdot I \cdot p}{V \cdot \cos \varphi \cdot \eta}} \\ &= 0,25 \sqrt{\frac{390 \cdot 0,202 \cdot 2,57 \cdot 2}{220 \cdot 0,64 \cdot 0,69}} \\ &= 0,25 \cdot 2,0415 = 0,51 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena perhitungan ini bertitik tolak pada tahanan kawat dengan sumber arus searah (dc). Untuk tahanan kawat dengan sumber arus bolak balik (ac), maka harus dikalikan dengan faktor tegangan arus bolak balik yang besarnya 1,25. Dengan demikian diameter kawat yang bisa digunakan adalah:

$$\text{dcu} = 1,25 \cdot 0,51 = 0,65 \text{ mm}$$

Sebagai kontrol dalam menentukan diameter kawat berdasarkan kerapatan arus yang mengalir dalam kumparan, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{dcu} &= 0,25 \sqrt{\frac{\text{Hp} \cdot 746}{D \cdot \cos \varphi^2 \cdot \eta^2}} \\ &= 0,25 \sqrt{\frac{250}{0,064 \cdot 0,64^2 \cdot 0,69^2}} \\ &= 0,25 \cdot 2,414 = 0,604 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari kedua data diatas padat diambil nilai rata-rata sebagai berikut:

$$\text{dcu} = (0,65 + 0,604)/2 = 0,627 \text{ atau } 0,6 \text{ mm}$$

Menentukan diameter kawat kumparan bantu (dcu/b), berdasarkan perbandingan antara kumparan utama dan bantu adalah (kcu) = 1,25 maka

$$\text{dcu/b} = \text{dcu/kcu} = 0,6/1,25 = 0,48 \text{ atau } 0,5 \text{ mm}$$

Menentukan kapasitor start (Cst) digunakan pada motor ini dimana arus start (Ist) adalah 1,5 In.

$$\text{Ist} = 1,5 \cdot 2,57 = 3,855 \text{ Amp}$$

Arus pada kumparan bantu saat start ( $I_b$ )

$$I_b = \sqrt{I_{st}^2 - I_n^2}$$

$$I_b = \sqrt{3,855^2 - 2,57^2} = 2,87 \text{ Amp}$$

Maka kapasitor start yang digunakan adalah:

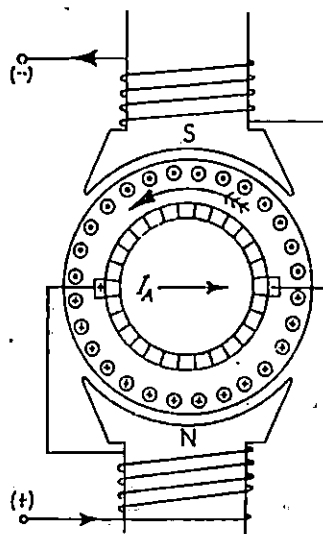
$$C_{st} = 3185 \cdot I_b / V = 3185 \cdot 2,87 / 220 = 41,55 \mu F$$

### B. Stator Salient (sepatu kutub)

Stator salient adalah susunan dari laminasi material yang tebalnya 0,3 sampai 0,5 dilapisi (coating) dengan vernis atau lapisan oksid, dikerjakan dengan proses pemanasan. Motor-motor induksi satu fase yang memakai stator sepatu kutub adalah motor universal (motor seri ac) dan motor shaded pole.

1. Persamaan tegangan medan stator dan rotor motor universal

Dalam merancang kumparan motor Universal terlebih dahulu harus diketahui diagram rangkaian dari motor tersebut. Bentuk diagram rangkaian motor Universal seperti gambar 31.



Gambar 31. Rangkaian Motor Universal

Persamaan untuk tegangan masuk terhadap tegangan yang terdapat pada rotor dan kumparan stator sebagai berikut:

$$V = E_r + I(2 X_f) \text{ Volt} \quad (22)$$

Pada motor Universal, lilitan kumparan stator terhubung seri dengan lilitan kumparan rotor, maka arus yang mengalir pada lilitan kumparan stator akan sama dengan arus yang mengalir pada lilitan kumparan rotor. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$I = I_r = I_m$$

Dengan dasar persamaan tersebut diatas, maka persamaan (22) dapat diturunkan sebagai berikut:

$$E_r = V \cos \phi \longrightarrow V = V \cos \phi + I_m (2X_f) \text{ maka}$$

$$I_m (2X_f) = V (1 - \cos \phi) \quad (23)$$

Dimana :  $E_r$  = Tagangan pada rotor (Volt)  
 $I \cdot 2X_f$  = Tagangan pada kumparan stator (Volt)

#### a. Kumparan Stator

Untuk menghitung jumlah lilitan kumparan stator dan lilitan kumparan rotor dari motor Universal perlu diperhatikan kedua besaran tegangan yang terdapat pada motor tersebut. Untuk menghitung jumlah lilitan kumparan stator, berdasarkan faktor koefisien output motor :

$$C_o = \frac{Hp. 0,746}{D^2 \cdot L \cdot ns \cdot \cos \phi \cdot \eta}$$

Bentuk lilitan kumparan stator motor Universal adalah kumparan terpusat dengan faktor lilitan (fw) sama dengan satu. Berdasarkan tegangan induksi pada stator, maka kuat medan (fluks) adalah:

$$\phi_m = 0,00364 \cdot \pi p \cdot L \cdot C_o \text{ meter-weber} \quad (24)$$

Persamaan (24) disubstitusikan kedalam persamaan tegangan induksi pada kumparan stator maka diperoleh:

$$V (1 - \cos \phi) = 4,44 f \cdot kw \cdot \phi_m \cdot Tms$$

Jumlah lilitan kumparan stator ( $T_{ms}$ )

$$T_{ms} = \frac{61,73 \cdot V(1 - \cos \varphi)}{f \cdot \tau_p \cdot L \cdot Co} \text{ lilitan} \quad (25)$$

Menentukan diameter penghantar kumparan stator ( $d_{cu}$ ) dengan menggunakan persamaan dibawah ini adalah:

$$d_{cu} = 0,29 \sqrt{\frac{I \cdot (1 - \cos \varphi)}{\cos \varphi \cdot \eta}} \text{ mm} \quad (26)$$

Bila ditinjau besarnya diameter kawat yang digunakan pada kumparan stator dari tahanan kumparan, hal ini berkait dengan panjang rata-rata tiap kumparan ( $l_{mt}$ ). Persamaan yang digunakan untuk ini adalah:

$$d_{uc} = 0,5 \sqrt{\frac{I \cdot T_m \cdot l_{mt} \cdot p}{V}} \text{ mm} \quad (27)$$

Persamaan (28) dapat dikatakan sebagai kontrol dalam menentukan diameter kawat kumparan. Jika terjadi perbedaan nilai dari persamaan (26) dan (27), sebaiknya diambil nilai rata-ratanya dari kedua persamaan tersebut.

b. Kumparan Rotor.

Jumlah lilitan kumparan rotor ( $T_{mr}$ ) dapat dihitung dengan menurunkan beberapa persamaan diatas maka diperoleh:

$$T_{mr} = \frac{0,225 \cdot V \cdot \cos \varphi}{f \cdot \phi_m} \text{ lilitan} \quad (28)$$

Jumlah tiap unit kumparan rotor ( $T_{tu}$ ), ditentukan dari jumlah alur rotor ( $G$ ) dan lamel kolektor rotor ( $S$ ). Bila jumlah ( $G$ ) = ( $S$ ) maka jumlah tiap unit kumparan rotor adalah:

$$T_{tr} = T_{mr}/G \text{ lilitan} \quad (29)$$

Bila jumlah ( $G$ ) kecil dari ( $S$ ) sebesar ( $s$ ) kali maka persamaan (29) akan menjadi:

$$T_{tr} = T_{mr}/s \cdot G \text{ lilitan} \quad (30)$$

Perbandingan diameter penghantar kumparan rotor dengan diameter penghantar kumparan stator (kcu) yang berkisar antara 0,35 s/d 0,5. Untuk motor universal dengan daya dibawah 150 watt digunakan harga (kcu = 0,35), sedangkan untuk daya diatas 150 watt digunakan harga (kcu = 0,5). Dengan demikian persamaan yang dipakai untuk menentukan diameter lilitan kumparan rotor adalah:

$$d_{cur} = (0,35 - 0,5) \text{ kcu mm} \quad (31)$$

Contoh 3.

Motor Universal/Vacum Cleaner

Type. Sc.880 E, Merek. Sanyo

Daya 620 Watt/ 220 Volt

Frekuensi (f) = 50 Hz.

Parameter motor

Stator

$$D = 0,0467 \text{ m}$$

$$p = 2$$

$$L = 0,002 \text{ m}$$

$$\tau_p = 0,033 \text{ m}$$

Rotor

$$D_a = 0,046 \text{ m}$$

$$L_a = 0,0021 \text{ m}$$

$$G = 22 \text{ alur}$$

$$S = 22 \text{ lamel}$$

Pada tabel diperoleh  $\cos \varphi = 0,64$ .  $\eta = 0,67$ .  $n_s = 50$

Penyelesaian:

1. Kumparan stator (Tms) dan (dcur)

Kuat arus kerja normal (I)

$$\begin{aligned} I &= \frac{Hp. 0,746}{V. \cos \varphi. \eta} \\ &= \frac{0,620}{220. 0,64. 0,67} = 6,5 \text{ Amp} \end{aligned}$$

Faktor spesifik output ( $C_o$ )

$$C_o = \frac{H_p \cdot 0,746}{D^2 \cdot L \cdot n_s \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$C_o = \frac{0,620}{0,0467^2 \cdot 0,002 \cdot 50 \cdot 0,64 \cdot 0,67} = 6631,02$$

$$\begin{aligned} \phi_m &= 0,00364 \cdot \tau_p \cdot L \cdot C_o \\ &= 0,00364 \cdot 0,033 \cdot 0,002 \cdot 6631,02 \\ &= 0,0016075 \text{ m Wbr} \end{aligned}$$

Jumlah lilitan kumparan stator ( $T_{ms}$ )

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{0,225 \cdot V(1 - \cos \varphi)}{f \cdot \phi_m} = \frac{0,225 \cdot 220(1 - 0,64)}{50 \cdot 0,0016075} \\ &= 221,7 \text{ dibulatkan } 222 \text{ lilitan} \end{aligned}$$

Untuk mengoreksi ( $T_{ms}$ ) dapat digunakan persamaan

$$\begin{aligned} T_{ms} &= \frac{61,73 \cdot V(1 - \cos \varphi)}{f \cdot \tau_p \cdot L \cdot C_o} = \frac{61,73 \cdot 220(1 - 0,64)}{50 \cdot 0,033 \cdot 0,002 \cdot 6631,02} \\ &= 221,4 \text{ dibulatkan } 222 \text{ lilitan} \end{aligned}$$

Jumlah lilitan kumparan per kutub ( $T_{mp}$ )

$$T_{mp} = T_m/p = 222/2 = 111 \text{ lilitan}$$

Diameter kawat kumparan stator ( $d_{cu}$ )

$$\begin{aligned} d_{cu} &= 0,29 \sqrt{\frac{I(1 - \cos \varphi)}{0,64 \cdot 0,67}} \\ &= 0,29 \sqrt{\frac{6,75(1 - 0,64)}{0,64 \cdot 0,67}} \\ &= 0,68 \text{ dibulatkan } 0,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Kumparan rotor ( $T_{mr}$ ) dan ( $d_{cur}$ )

$$\begin{aligned} T_{mr} &= \frac{0,225 \cdot V \cdot \cos \varphi}{f \cdot \phi_m} = \frac{0,225 \cdot 220 \cdot 0,64}{50 \cdot 0,0016075} \\ &= 394,029 \text{ dibulatkan } 394 \text{ lilitan} \end{aligned}$$

Jumlah bilitan tiap kumparan rotor ( $T_{as}$ ) adalah:

$$T_{as} = T_{mr}/S = 394/22 = 17,9 \text{ dibulatkan } 18 \text{ lilitan}$$

Diameter kawat kumparan rotor ( $d_{uc/r}$ ), dimana daya motor besar dari 150 watt, maka harga perbandingan ( $k_{cu}$ ) diambil 0,5 diperoleh diameternya sebagai berikut:  
 $d_{uc/r} = k_{cu} \cdot d_{cu} = 0,5 \cdot 0,7 = 0,35 \text{ mm}$

#### Contoh 4

Motor Universal / Alat Belender

Type, L 3/4 N. Max 5 menit

Daya 250 Watt/ 125 Volt,  $f = 50 \text{ Hz}$

Stator non salient

$$\text{diameter stator (D)} = 0,036 \text{ m}$$

$$\text{lebar stator (L)} = 0,031 \text{ m}$$

$$\text{tebal kutub } (\tau_p) = 0,026 \text{ m}$$

$$\text{tinggi kumparan (hf)} = 0,029 \text{ m}$$

Rotor salient

$$\text{diameter rotor (D}_a) = 0,035 \text{ m}$$

$$\text{panjang rotor (L}_a) = 0,029 \text{ m}$$

$$\text{jumlah alur rotor (G)} = 12 \text{ alur}$$

$$\text{jumlah lamel komutator (S)} = 12 \text{ lamel}$$

$$\text{Faktor kerja motor } (\cos \varphi) = 0,59$$

$$\text{Randemen mekanis motor } (\eta) = 0,61$$

Penyelesaian:

Motor bekerja pada arus (I)

$$I = \frac{Hp \cdot 746}{V \cdot \cos \varphi \cdot \eta}$$

$$= \frac{250}{125 \cdot 0,59 \cdot 0,61} = 5,56 \text{ Amp}$$

$$Co = \frac{Hp \cdot 0,746}{D^2 \cdot L \cdot ns \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{0,250}{0,036^2 \cdot 0,031 \cdot 50 \cdot 0,59 \cdot 0,61}$$

$$= 345,78$$

$$\text{Arus kuat medan } (\phi_m) = 0,00364 \cdot \tau_p \cdot L \cdot Co$$

$$= 0,00364 \cdot 0,0262 \cdot 0,031 \cdot 345,78$$

$$= 0,0010223 \text{ Wbr}$$



Jumlah lilitan kumparan stator ( $T_m$ )

$$T_m = \frac{0,225 \cdot V(1 - \cos \varphi)}{f \cdot \phi_m} = \frac{0,225 \cdot 125(1 - 0,59)}{50 \cdot 0,0010223}$$

$$= 225 \text{ lilit}$$

Jumlah lilitan kumparan stator per kutub ( $T_{mp}$ )

$$T_{mp} = T_m/p = 225/2 = \pm 113 \text{ lilitan}$$

Diameter kawat kumparan stator ( $d_{cu}$ )

$$d_{cu} = 0,25 \sqrt{\frac{I(1 - \cos \varphi)}{\cos \varphi \cdot \eta}} = 0,25 \sqrt{\frac{5,56(1 - 0,59)}{0,59 \cdot 0,61}}$$

$$= 0,63 \text{ mm}$$

Berdasarkan panjang rata-rata lilitan stator ( $l_{mt}$ ) maka diperoleh diameter kawat yang digunakan sebagai koreksi persamaan untuk menentukan diameter kawat diatas adalah.

$$l_{mt} = 2(0,031 + 0,286) = 0,119 \text{ m}$$

$$d_{cu} = 0,242 \sqrt{\frac{I \cdot l_{mt} \cdot T_m \cdot p}{125}}$$

$$= 0,242 \sqrt{\frac{5,56 \cdot 0,119 \cdot 225 \cdot 2}{125}}$$

$$= 0,242 \sqrt{\frac{297,738}{125}} = 0,3735 \text{ mm atau } \pm 0,4 \text{ mm}$$

Karena perhitungan diameter kawat kumparan stator berdasarkan panjang rata-rata yang berhubungan dengan tahanan kawat maka harus dikalikan pada faktor arus bolak balik, maka diperoleh diameter kawat adalah:

$$d_{cu} = 1,25 \cdot 0,4 = 0,5 \text{ mm}$$

Dengan mengambil nilai rata-rata dari kedua besaran diatas maka diameter kawat yang bisa dipedomani adalah:

$$d_{cu} = (0,63 + 0,5)/2 = 0,565 \text{ mm atau } \pm 0,6 \text{ mm}$$

Menentukan jumlah lilitan kumparan rotor dan diameter kawat rotor ( $T_{mr}$ )

$$T_{mr} = \frac{0,225 \cdot V \cdot \cos \varphi}{f \cdot \phi_m} = \frac{0,225 \cdot 125 \cdot 0,59}{50 \cdot 0,0010223}$$

$$= \frac{29,205}{0,0511} = \pm 572 \text{ lilitan}$$

Jumlah lilitan kumparan tiap unit kumparan pada rotor adalah:

$$T_{ms} = T_{ma}/S = 572/12 = \pm 48 \text{ lilit}$$

Untuk menentukan diameter kawat kumparan rotor ( $d_{cu/a}$ ), berdasarkan ketentuan motor universal dimana perbandingan diameter kawat stator dan rotor ( $k_{cu}$ ) = 0,5 maka diperoleh diameter kawat kumparan rotor adalah:

$$d_{cu/a} = k_{cu} \cdot d_{cu} = 0,5 \cdot 0,6 = 0,3 \text{ mm}$$

Bila motor universal yang terasnya dalam bentuk teras transformator core type, maka jumlah lilitan kumparan stator dibuat mempunyai step-step kecepatan. Persamaan menentukan tegangan per lilit ( $E_t$ ) = 0,8  $\sqrt{P}$  Pin. Sedangkan pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan mengatur step kumparan medan, dimana setiap step 5% dari jumlah lilitan kumparan pada tegangan kerja motor. Untuk menentukan step kecepatan motor universal yang dimulai dari kecepatan rendah (step 1), kecepatan menengah (step 2) dan kecepatan tinggi (step 3), maka dapat dibuat persamaan sebagai berikut:

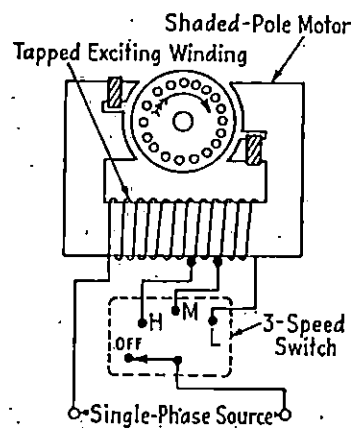
$$\text{Step 1 } (T_{m1}) = T_{m3} (1 + 0,1) \text{ lilitan}$$

$$\text{Step 2 } (T_{m2}) = T_{m3} (1 + 0,05) \text{ lilitan}$$

$$\text{Step 3 } (T_{m3}) = 0,95 \cdot V/E_t \text{ lilitan}$$

## 2. Motor Shaded Pole.

Motor shaded pole yang umum digunakan pada alat-alat rumah tangga dengan dua bentuk teras stator yaitu teras transformator core type dan teras berkutub yang mirip dengan motor DC. Yang akan dibahas terlebih dahulu adalah jenis teras transformator core type, lihat gambar 32 dibawah ini.



Gambar 32: Motor shaded pole dengan teras core type

Persamaan-persamaan dasar yang umum digunakan untuk menentukan arus normal ( $I$ ) dan daya input ( $P_{in}$ ) sebagai berikut:

$$I = \frac{Hp. 746}{V. \cos \varphi. \eta} \text{ Amp dan } P_{in} = \frac{Hp. 0,746}{\cos \varphi. \eta} \text{ kVA}$$

Berdasarkan prinsip dari transformator core type maka persamaan untuk menentukan daya input adalah:

$$P_{in} = I. V. 10^{-3} = 4,44. f. \phi_m. T_m. I. 10^{-3} \text{ kVA} \quad (32)$$

Perkalian antara  $T_m$  dan  $I$  adalah lilitan ampere yang disimbolkan dengan  $A_t$  atau  $A_t = T_m. I$  sedangkan perbandingan  $\phi_m/A_t = r$  adalah konstanta dari konstruksi teras yang digunakan maka persamaan (31) maka diperoleh:

$$\phi_m = \sqrt{\frac{r. 10^3}{4,44. f}} \cdot \sqrt{P_{in}} \quad (33)$$

Berdasarkan persamaan tegangan induksi dalam lilitan adalah

$E = 4,44. f. \phi_m. T_m$  dimana  $E_t = E/T_m$  merupakan tegangan (Volt) per lilitan medan, maka persamaan (32) menjadi

$$E_t = \sqrt{4,44. f. r. 10^3} \cdot \sqrt{P_{in}} \quad (34)$$

dimana  $\sqrt{4,44. f. r. 10^3} = K$  adalah konstanta konstruksi teras yang digunakan, jenis teras

transformator core type dengan harga (K) = 0,75 s/d 0,85. Pada motor shaded pole biasanya harga K diambil 0,8 maka persamaan 34 menjadi:

$$E_t = 0,8 \sqrt{P_{in}} \quad (35)$$

Jumlah lilitan kumparan stator motor shaded pole diperoleh sebagai berikut:

$$T_m = \frac{0,95 V}{E_t} \text{ lilitan} \quad (36)$$

Sebagai kontrol terhadap persamaan (35) dapat juga dipedomani persamaan dibawah ini:

$$\phi_m = B_m \cdot A_t \text{ dimana } B_m = \frac{K \sqrt{P_{in}}}{4,44 \cdot f \cdot A_t} \text{ Wb/m}^2$$

Untuk menentukan tegangan per lilitan ( $E_t$ ) adalah:

$$E_t = 4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot A_t \text{ atau}$$

$$T_m = \frac{0,95 V}{4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot A_t} \quad (37)$$

Dimana :  $A_t$  = luas teras (  $\pi r \cdot L$  )  $m^2$

$B_m$  = kerapatan medan  $Wb/m^2$

$V$  = tegangan terminal motor Volt

$f$  = frekuensi tegangan kerja Hz

Pengaturan kecepatan motor dengan membuat step-step pada kumparan medan, ini berarti mengatur tegangan input yang mengakibatkan berkurangnya arus kuat medan yang dibangkitkan. Pengaturan setiap step dengan menambah atau mengurangi tegangan berkisar 5% dari tegangan normal kumparan medan. Dengan demikian dapat diturunkan persamaan (35) untuk tiga step kecepatan sebagai berikut:

Kecepatan tinggi (step ke 3)

$T_{m3}$  lilitan

Kecepatan menengah (step ke 2)

$T_{m2} = T_{m3} (0,95 - 0,05)$  lilitan

Kecepatan rendah (step ke 1)

$T_{m1} = 1,05 T_{m3}$  lilitan

Menentukan diameter kawat kumparan medan berdasarkan panjang lilitan rata-rata dalam kumparan medan, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$d_{cu} = 0,242 \cdot \sqrt{\frac{I \cdot l_{mt} \cdot T_m}{V}} \text{ mm}^2$$

Sedangkan berdasarkan kerapatan arus dalam penghantar untuk kumparan medan, setelah disesuaikan dengan beberapa pengamatan pada motor-motor shaded pole yang menggunakan teras transformator core type umum untuk alat-alat listrik rumah tangga yaitu:

$$d_{cu} = 0,125 \cdot \sqrt{\frac{Hp \cdot 746}{V \cdot \cos^2 \varphi \cdot \eta}} \text{ mm}^2$$

### 3. Motor Repulsi

Motor repulsi yang digunakan untuk alat-alat rumah tangga pada stator dibagi dalam dua jenis teras, yaitu teras non salient (alur-alur) dan teras salient (sepatu kutub). Sedangkan rotornya mempunyai rotor lilitan yang sama dengan mesin listrik DC.

#### a. Teras stator kutub alur (non salient pole)

Persamaan yang dapat digunakan dalam menentukan jumlah lilitan kumparan medan, distribusi kumparan dan diameter kawat yang digunakan umumnya sama dengan motor split fase. Bertolak dari karakteristik dan jenis bahan yang digunakan maka terdapat perbedaan pada penentuan beban spesifik motor (ac), hal ini disesuaikan dengan yang umum digunakan. Sedangkan persamaan untuk menentukan koefisien output motor ( $C_o$ ) dan arus kuat medan ( $\phi_m$ ) adalah sama terhadap motor split fase yaitu:

$$C_o = \frac{Hp \cdot 0,746}{D^2 \cdot L \cdot n_s \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad \text{dan}$$

$$\phi_m = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot C_o \cdot 10^3}{11 \cdot f_w \cdot p \cdot ac} \text{ m} \cdot \text{Wbr}$$

Berdasarkan tegangan induksi pada kumparan, maka tegangan per lilit ( $E_t$ ) sebagai berikut:

$$E_t = \frac{1267,42 \cdot f \cdot D \cdot L \cdot C_o}{p \cdot ac} \text{ Volt/lilit}$$

Jadi jumlah lilitan kumparan stator ( $T_m$ ) adalah:

$$T_m = 0,95 \cdot V/E_t \text{ lilitan atau}$$

$$T_m = \frac{0,0075 \cdot p \cdot ac}{f \cdot D \cdot L \cdot C_o} \text{ lilitan}$$

Harga beban spesifikasi ( $ac$ ) perlu diadakan pengamatan terhadap bahan dan konstruksi stator, sedangkan rancangan secara teoritis ( $ac$ ) = 500 s/d 25.000 Amp/m.

Jumlah lilitan kumparan per kutub ( $T_p$ )

$$T_p = T_m/p$$

Karena pada stator motor repulsi tidak adanya kumparan bantu maka faktor distribusi kumparan sama dengan satu.

Jumlah alur per kutub ( $g$ ) =  $\pm G/2p$ , nilai + dan - ini tergantung dari kondisi stator untuk mendapatkan harga yang bulat, maka jumlah lilitan per alur ( $T_s$ ) adalah:

$$T_s = T_m/p \cdot g \text{ lilitan}$$

b. Teras stator sepatu kutub (salient pole)

Motor repulsi yang menggunakan teras sepatu kutub, luasnya kutub ( $A_p$ ) berdasarkan tebal ( $\tau_p$ ) tempat kumparan medan dan lebar teras ( $L$ ) yang bentuk persamaannya adalah:

$$A_p = \tau_p \cdot L \cdot m^2$$

Berdasarkan persamaan-persamaan dibawah ini dapat ditentukan tegangan per lilit ( $E_t$ ) untuk kumparan medan motor adalah sebagai berikut:

$$\phi_m = B_{av} \cdot \tau_p \cdot L \quad \text{dan} \quad C_o = 11 \cdot kw \cdot B_{av} \cdot ac \cdot 10^{-3}$$

Diperoleh arus kuat medan yang terdapat pada teras motor dengan mensubsitusikan persamaan diatas adalah:

$$\phi_m = \frac{\tau_p \cdot L \cdot Co \cdot 10^3}{11 \cdot kw \cdot ac}$$

Nilai arus kuat medan tersebut dapat dimasukkan ke dalam persamaan tegangan induksi pada kumparan medan, maka diperoleh tegangan per lilit yang bisa digunakan menghitung jumlah lilitan kumparan medan ( $T_m$ ) adalah:

$$E_t = 0,02 \cdot f \cdot \tau_p \cdot L \cdot Co \text{ Volt/lilit}$$

$$T_m = \frac{47,5 \cdot V}{f \cdot \tau_p \cdot L \cdot Co} \text{ lilitan}$$

c. Teras rotor motor bentuk alur (rotor salient)

Kumparan rotor yang ditempatkan pada alur-alur, untuk menentukan jumlah lilitan kumparan pada rotor bertolak dari diameter rotor dan panjang rotor maka luas teras yang berkaitan dengan persamaan arus kuat medan rotor adalah sebagai berikut:

$$\phi_m = Bav \cdot \frac{\pi \cdot Da \cdot L}{p}$$

$$Co = 11 \cdot kwr \cdot Bav \cdot ac \cdot 10^{-3}$$

Untuk menentukan tegangan per lilit rotor ( $E_r$ ) adalah

$$E_r = 0,02 \cdot f \cdot \pi \cdot Da \cdot La \cdot Co$$

$$T_a = \frac{47,5 \cdot Va}{fa \cdot \pi \cdot Da \cdot La \cdot Co} \text{ lilitan}$$

Jumlah lilitan kumparan tiap unit kumparan pada rotor ( $T_s$ ) adalah  $T_s = T_a/S$  lilitan

Dimana :  $Da$  = Diameter rotor dalam m

$La$  = Panjang rotor dalam m

$Va$  = Tegangan pada rotor dalam Volt

$fa$  = frekuensi rotor dalam Hz

$T_a$  = Jumlah lilitan kumparan rotor

$T_s$  = Jumlah lilitan unit kumparan rotor

## BAB V

### TEKNIK REPARASI KUMPARAN STATOR MOTOR

Pada bab-bab terdahulu telah dibicarakan tentang kerusakan (gangguan) pada motor-motor listrik, perlengkapan yang digunakan untuk reparasi, bentuk-bentuk lilitan stator atau rotor, perhitungan yang berhubungan dengan rancangan jumlah lilitan kumparan serta penampang kawat yang dipakai. Dalam bab ini akan dijelaskan teknik-teknik perbaikan suatu motor listrik setelah melalui beberapa diagnosa terhadap motor tersebut. Dari hasil diagnosa tersebut diperoleh beberapa prosedur perbaikan yang akan dilakukan. Prosedur kerja untuk perbaikan suatu motor listrik sebagai berikut:

- Memeriksa, membongkar dan melepaskan kumparan.
- Membuat mal kumparan stator atau rotor.
- Membuat kumparan diatas mal dan memasang kumparan tersebut kedalam sepatu kutub/ alur stator atau rotor.
- Melakukan penyambungan ujung-ujung kumparan dan mengikat dengan benang atau pita ban serta mengujinya.
- Memasang kembali perlengkapan motor dan mengoperasikan motor tersebut (test).

Perbaikan yang akan dijelaskan disini untuk motor-motor listrik berdaya kecil, yang berhubungan dengan perbaikan kumparan stator dan rotor. Jenis kumparan stator dan rotor yang dibicarakan dalam perbaikan berupa stator teras sepatu kutub dan teras teras beralur serta teras rotor beralur. Motor-motor listrik yang diambil sebagai sampel dalam perbaikan ini adalah motor split fase dan motor universal.

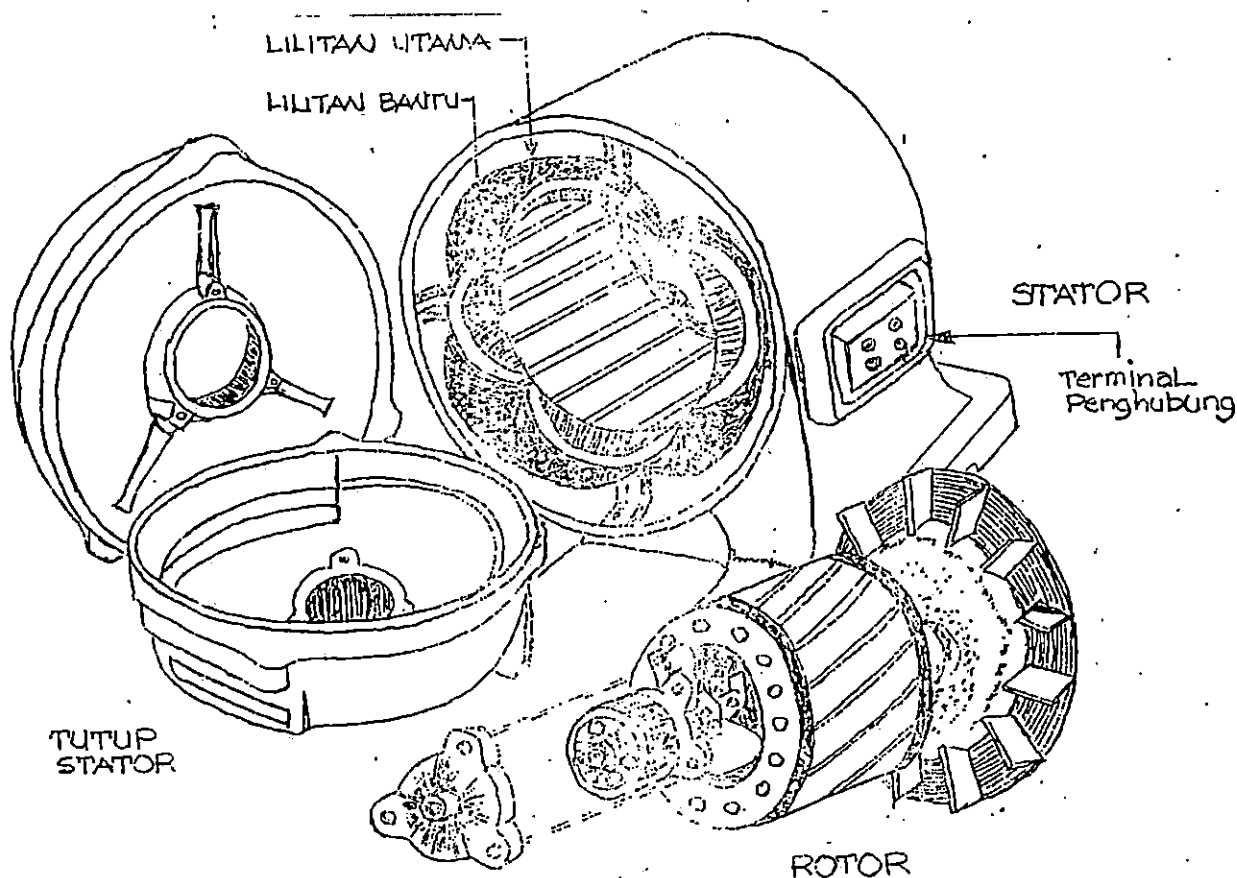
#### A. Perbaikan Motor Split Fase.

##### 1. Memeriksa, membongkar dan melepaskan kumparan.

- Letakkan motor yang akan diperbaiki diatas meja kerja serta siapkan alat-alat reperaturasi, instrumen dan peralatan khusus. Setelah dilakukan pengetesan dengan menggunakan multimeter atau megger lakukan pencatatan data yang diperoleh.

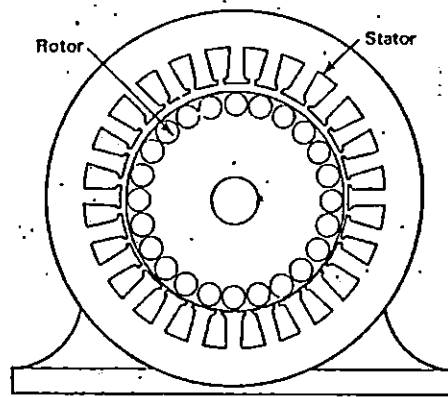


- Waktu membongkar motor, berilah tanda pada tutup sebelah kiri satu titik dan rumah motor juga diberikan satu titik dengan alat penitik. Sedangkan pada sisi sebelah kanan pada motor antara tutup dan rumah motor ditandai masing-masing dua titik.
- Kendorkan dan lepaskan mur-mur atau baut-baut pengikat tutup tersebut sedikit demi sedikit secara merata. Lepaskan mur atau baut tersebut, masukan dua ujung obeng dalam alur tutup dan longgarkan tutup dengan ungkitan. Kemudian lepaskan tutup dengan kedua tangan. Bila tutup tidak mempunyai alur, pakailah pahat dan pukullah secara perlahan-lahan dengan kekuatan merata disekelilingnya. Dengan bantuan kedua obeng ungkit tutup sampai terlepas. Bila terlalu keras pergunakan alat trekker.



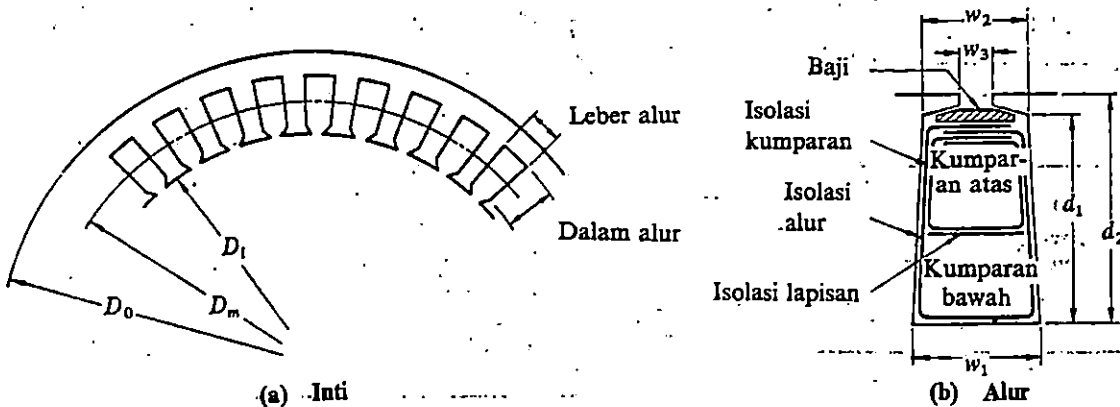
Gambar 33. Motor Setelah Dibongkar

- Periksa tiap-tiap kumparan utama dan kumparan bantu mana yang akan dibongkar. Bila tidak ada tanda untuk spesifikasi kumparan, maka kumparan tersebut perlu rancangan baru. Bila masih ada spesifikasi kumparan, lakukan pencatatan jumlah alur tiap kutub, jarak sisi lilitan setiap kutub serta jumlah kumparan utama dan kumparan bantu.
- Keluarkan atau lepaskan lilitan kumparan bantu dengan hati-hati dan hitunglah jumlah lilitannya serta buat diagram bentangan dari kumparan tersebut. Ukurlah penampang (diameter) kawat email yang dipakai dengan mikrometer atau sirbel pengukur.



Gambar 34. Motor Split Fase Setelah Dibongkar

2. Membuat mal untuk lilitan kumparan utama dan bantu.
  - Ukurlah teras stator dengan menggunakan vernier kaliper untuk merancang bentuk kumparan utama dan kumparan bantu. Data pengukuran inti stator antara lain diameter luar ( $D_o$ ), diameter dalam ( $D_i$ ) dan diameter kepusat dalamnya alur ( $D_m$ ). Disamping ukuran diameter diperlukan juga lebar inti stator ( $L$ ) dan ukuran dari alur seperti tinggi alur ( $h$ ), lebar bagian bawah alur ( $w_1$ ), lebar bagian atas alur ( $w_2$ ). Dimensi seperti yang telah disebutkan diatas dapat dilihat seperti pada gambar 35.



Gambar 35. Ukuran Inti Stator dan Alur Motor

- Buatlah gambar bentuk dari mal lilitan dengan menggunakan papan kayu atau plywood, karena kayu atau plywood merupakan bahan yang paling baik untuk membuat mal. Bentuk mal ini ada dua macam bentuknya yaitu bentuk mal lancip dan mal datar. Ukuran mal harus disesuaikan dengan ruangan yang terdapat pada rumah motor yang akan diperbaiki.

Cara pertama:

Bentuk mal lancip untuk satu atau beberapa tingkat dapat diperhatikan pada gambar 36 dengan bentuk kumparan terbagi.

Lebar kumparan (A) =  $(\pi D_m \cdot Y) / G$  Cm

Dimana:  $D_m$  = Diameter dipusat dalam alur dalam Cm

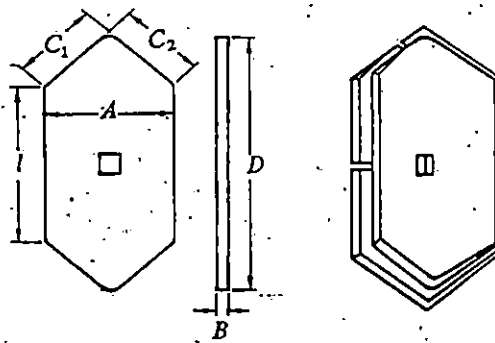
$G$  = Jumlah alur stator

$Y$  = Jumlah alur diantara kisar kumparan

Tebal mal (t) =  $w_1 - 2\beta$  Cm

Dimana:  $w_1$  = lebar alur bagian bawah dalam Cm

$\beta$  = tebal isolasi yang digunakan dalam Cm



Gambar 36. Mal Kumparan Terbagi

Besar kepala kumparan (b) =  $0,45 \sqrt{A}$  Cm

Panjang mal ( $L_t$ ) =  $L + 2 \alpha$  Cm

Dimana: L = tebal teras stator dalam Cm

$\alpha$  = besar isolasi yang menonjol dari teras

biasanya berkisar 0,3 s/d 0,5 Cm

Contoh

Sebuah stator motor dengan dimensi sebagai berikut:

Diameter kepusat alur  $D_m = 7,5$  Cm

Jumlah alur G = 24 alur

Lebar teras stator L = 4,36 Cm

Jumlah kutub p = 4

Bentuk kumparan terbagi dengan langkah sbb:

1 - 8  $\rightarrow$  Y1 = 7 (kisar alur kumparan)

2 - 7  $\rightarrow$  Y2 = 5

3 - 6  $\rightarrow$  Y3 = 3

Penyelesaian

$\alpha = 0,3$  cm     $\beta = 0,2$  mm

$A_1 = (\pi \times D_m \times Y_1)/G = (3,14 \times 7,5 \times 7)/24 = 7,87$  cm

$L_{t1} = L + 2 \alpha = 4,36 + 2,03 = 4,96$  cm

$b_1 = 0,45 \sqrt{A_1} = 0,45 \sqrt{7,87} = 1,17$  cm

$x_1 = L_{t2} + 2 b_2 = 4,96 + 2 \cdot 1 = 6,96$  cm

Tebal mal (t)  $w_1 = 2 \beta = 1,2 - 2 \cdot 0,2 = 0,8$  cm

$L_{t1} = L_{t2} = L_{t3} = 4,96$  cm

$A_2 = (\pi \times D_m \times Y_2)/G = (3,14 \times 7,5 \times 5)/24 = 4,90$  cm

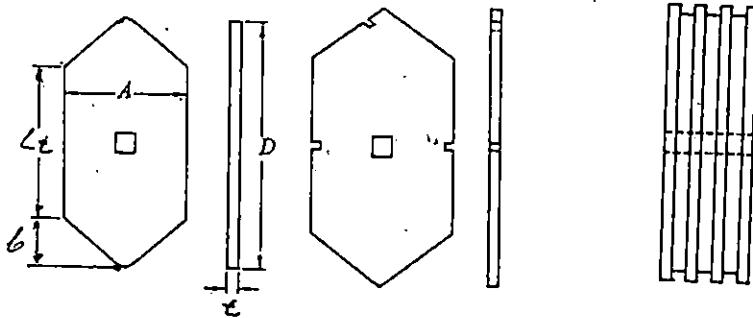
$b_2 = 0,45 \sqrt{A_2} = 0,45 \sqrt{4,90} = 1$  cm

$x_2 = L_{t1} + 2b_1 = 4,96 + 2 \cdot 1,17 = 7,3$  cm

$$A_3 = (\pi \times D_m \times Y_3)/G = (3,14 \times 7,5 \times 3)/24 = 2,94 \text{ cm}$$

$$b_3 = 0,45 \downarrow A_3 = 0,45 \downarrow 2,94 = 0,77 \text{ cm}$$

$$x_3 = Lt_3 + 2 \cdot b_3 = 4,96 + 2 \cdot 0,77 = 6,5 \text{ cm}$$



Gambar 37. Mal Kumbaran Bertingkat Tiga

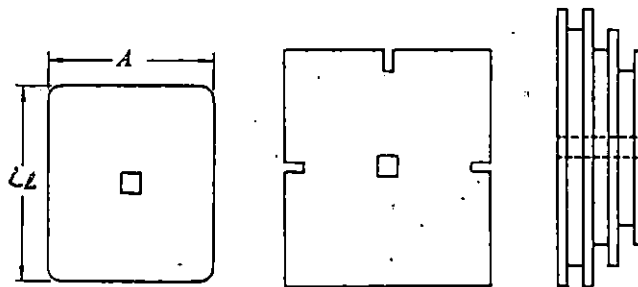
Cara kedua:

Mal kumbaran dalam bentuk datar bertingkat dapat dilihat pada gambar 38. Untuk menentukan lebar mal (A) sama dengan cara pertama. Sudut-sudut dari mal tersebut dibulatkan dengan bantuan kikir halus atau kertas gosok.

$$\text{Panjang mal kumbaran (Lb)} = L + 2 \alpha + b \text{ cm}$$

$$\text{Tingginya kepala kumbaran (b)} = 0,45 \downarrow A \text{ cm}$$

$$\text{Tebal mal (t)} = w_1 - 2 \beta \text{ cm}$$



Gambar 38. Mal Kumbaran Datar

Contoh

Sebuah stator motor dengan dimensi sebagai berikut:

Diameter kepusat alur  $D_m = 7,5$  Cm

Jumlah alur  $G = 24$  alur

Lebar teras stator  $L = 4,36$  Cm, Jumlah kutub  $p = 4$

Bentuk kumparan terbagi dengan langkah sbb:

1 - 8  $\rightarrow Y_1 = 7$  (kisar alur kumparan)

2 - 7  $\rightarrow Y_2 = 5$

3 - 6  $\rightarrow Y_3 = 3$

Penyelesaian:

Untuk mal 1.

Tebal mal pertama (A1)

$$A_1 = (\pi \cdot D_m \cdot Y_1) / G = (3,14 \times 7,5 \times 7) / 24 = 6,87 \text{ cm}$$

$$b_1 = 0,45 \downarrow A_1 = 0,45 \downarrow 6,87 = 1,179 \text{ cm}$$

$$Lb_1 = L + 2 \alpha \cdot b_1 = 4,36 + 2 \cdot 0,3 + 1,179 = 7,14 \text{ cm}$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = w_1 - 2 \beta = 1,2 - 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ cm}$$

Untuk mal 2.

Tebal mal pertama (A2)

$$A_2 = (\pi \cdot D_m \cdot Y_2) / G = (3,14 \times 7,5 \times 5) / 24 = 4,9 \text{ cm}$$

$$b_2 = 0,45 \downarrow A_2 = 0,45 \downarrow 4,9 = 0,996 \text{ cm}$$

$$Lb_2 = L + 2 \alpha \cdot b_2 = 4,36 + 2 \cdot 0,3 + 0,996 = 5,96 \text{ cm}$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = w_1 - 2 \beta = 1,2 - 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ cm}$$

Untuk mal 3.

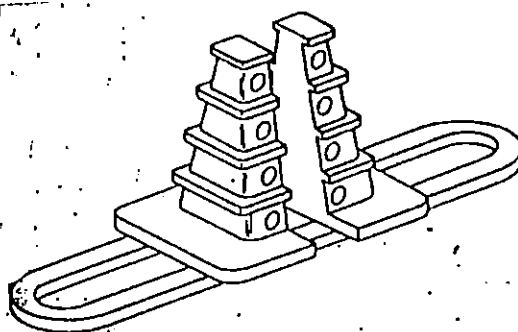
Tebal mal pertama (A3)

$$A_3 = (\pi \cdot D_m \cdot Y_3) / G = (3,14 \times 7,5 \times 3) / 24 = 2,94 \text{ cm}$$

$$b_1 = 0,45 \downarrow A_3 = 0,45 \downarrow 2,94 = 0,77 \text{ cm}$$

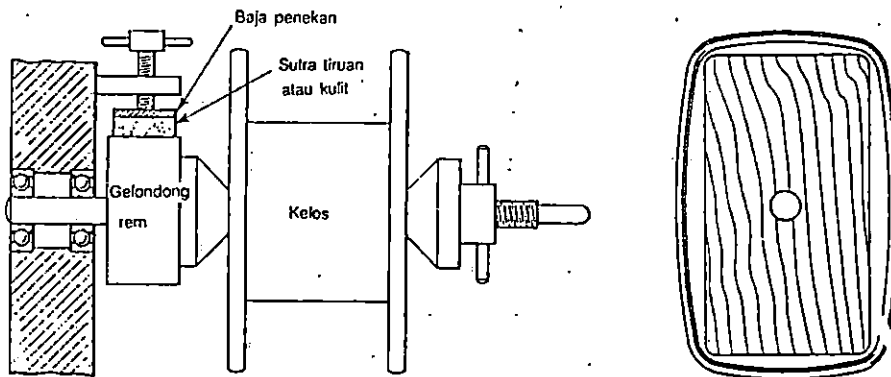
$$Lb_1 = L + 2 \alpha \cdot b_3 = 4,36 + 2 \cdot 0,3 + 0,77 = 5,73 \text{ cm}$$

$$t_1 = t_2 = t_3 = w_1 - 2 \beta = 1,2 - 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ cm}$$



Gambar 39. Mal Kumparan Datar Bertingakat

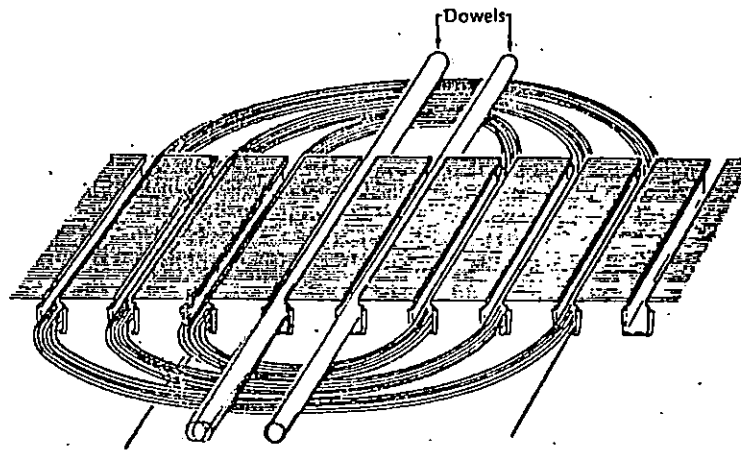
Setelah mal dibuat bersihkan permukaannya dengan kertas gosok atau amplas dan diberikan lobang dengan bor sesuai baut pengikat pada pertengahan dari mal tersebut. Tebal mal tersebut dibuat miring dengan sudut  $\pm 5^\circ$  seperti pada gambar 40.



Gambar 40. Susunan Mal Yang disiapkan

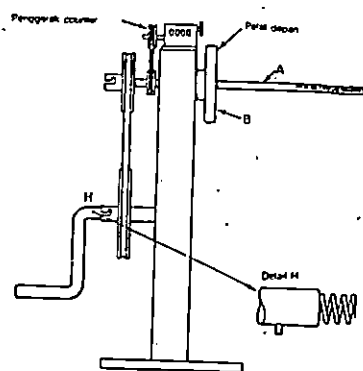
3. Membuat kumparan diatas mal, memasang isolasi pada alur dan memasangkan kumparan dalam alur-alur motor.

- Membuat kumparan utama atau bantu dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan mal kumparan dan kumparan pin. Kumparan pin yaitu melilit langsung pada rumah motor dengan bantuan pasak yang dibuat dari kayu (bambu). Pasak-pasak tersebut dimasukan dalam alur-alur yang tidak diisi oleh lilitan kawat.
- Kumparan pin ini memasukan batang kawat satu persatu secara melingkari pasak-pasak yang dipasang pada alur tersebut. Setiap memasukan batang kawat ini dilakukan menghitung sampai jumlah lilitan tiap alur terpenuhi. Setelah itu pindah ke alur yang lain dengan cara yang sama.

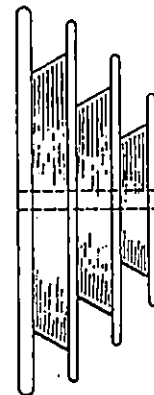


Gambar 41. Kumparan Pin

- Membuat kumparan dengan bantuan mal kumparan dapat dilakukan memakai mesin penggulung atau melilit dengan tangan. Bila melilit kumparan dengan bantuan mesin penggulung, masukan lobang mal kedalam sumbu (as) mesin penggulung dan berilah tali secukupnya pada tempat lilitan untuk mengikat lilitan tersebut nantinya. Putarlah mesin penggulung kearah kanan, dan bacalah tachometer yang terdapat pada mesin tersebut sesuai dengan jumlah lilitan yang dibutuhkan.
- Lepaskan lilitan dari mal tersebut dan ikat dengan tali yang tersedia. Lakukan kerja sama sampai jumlah lilitan kumparan untuk semua jumlah kutub yang diperlukan telah disiapkan.



(a)

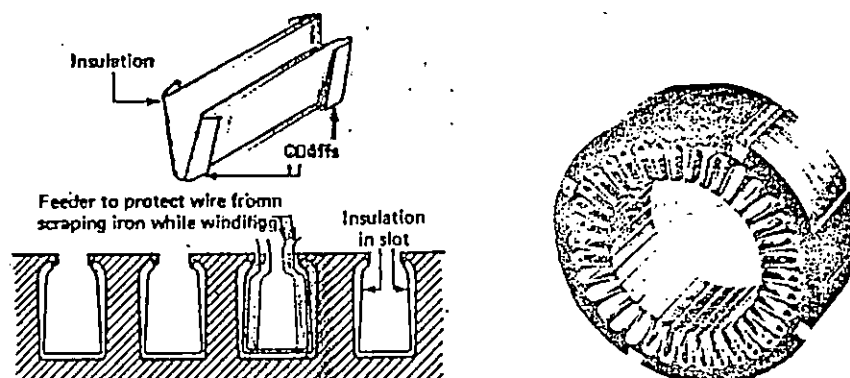


(b)

Gambar 42. a. Mesin Penggulung  
b. Mal Lilitan

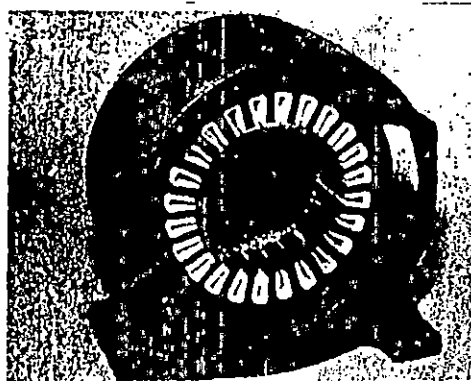


- Pemasangan isolasi pada alur-alur stator dengan prespan, mika atau teryline. Tebal isolasi ini berukuran tebal 0,3 s/d 0,5 mm. Dalam penggunaan isolasi ini harus disesuaikan dengan ukuran alur dan daya dari motor. Pemotongan kertas isolasi memanjang dengan lebar yang cukup dan pelindungan tepi ditambah lekuk dahulu sebelum isolasi tersebut dimasukan dalam alur, hal ini dapat dilihat pada gambar 43.



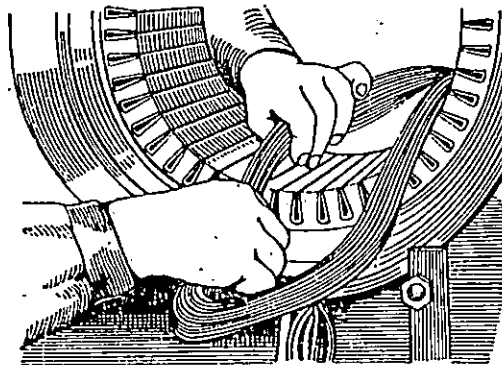
Gambar 43. Pemasangan Isolasi Pada Alur Stator

- Pemasangan isolasi ini dalam alur motor dengan bantuan kayu atau bambu yang dibuat serupa kutub alur. Ukuran kayu tersebut lebih kecil dari ukuran alur sebesar tebalnya isolasi yang dipergunakan. Pada gambar 44, diperlihatkan isolasi dalam keadaan terpasang pada alur-alur stator motor.



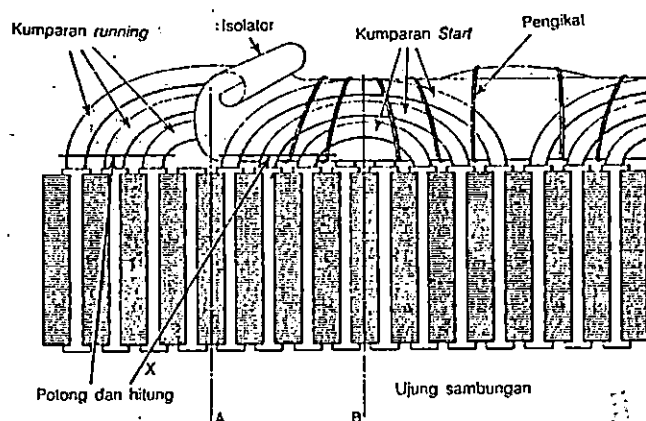
Gambar 44. Isolasi Terpasang Pada Alur Stator

- Masukkan kumparan-kumparan tersebut kedalam alur-alur stator motor satu persatu dengan hati-hati dan jangan sampai ada kawat yang rusak atau lecet. Untuk mendapatkan kawat dalam alur supaya rata dibantu memakai alat penekan T (ebonit) dan pasang bambu atau kayu. Setelah pekerjaan memasukan kumparan kedalam alur stator, maka tutuplah permukaan alur-alur tersebut dengan prespan dan pasanglah dengan pasak bambu atau pasang kayu.



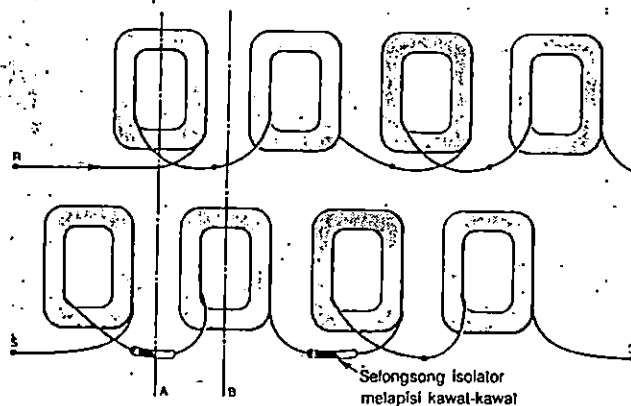
Gbr 45. Memasukan Kumparan Dalam Alur Dengan Tangan

4. Mengikat kepala kumparan dan menghubungkan ujung-ujung kumparan serta mengujinya.
  - Kedua jenis kumparan tersebut terpasang dengan rapi, dimana kumparan utama (running) terletak dibagian bawah dan kumparan bantu (starting) dibagian atas. Kertas tipis (isolasi) dipasang antara kedua kumparan pada bagian kepala kumparan tersebut. Lakukan penyatuan dari kedua kepala kumparan dengan mengikat menggunakan tali (benang) sedemikian rupa, supaya kelihatan rapi dan tidak bersinggungan nantinya kepala kumparan tersebut terhadap tutup motor maupun padam rotor.
  - Untuk mendapatkan kerapian hasil ikatan tersebut dibantu menggunakan palu (martil) plastik atau palu kayu yang dapat dilihat pada gambar 46, susunan kedua kepala kumparan tersebut.



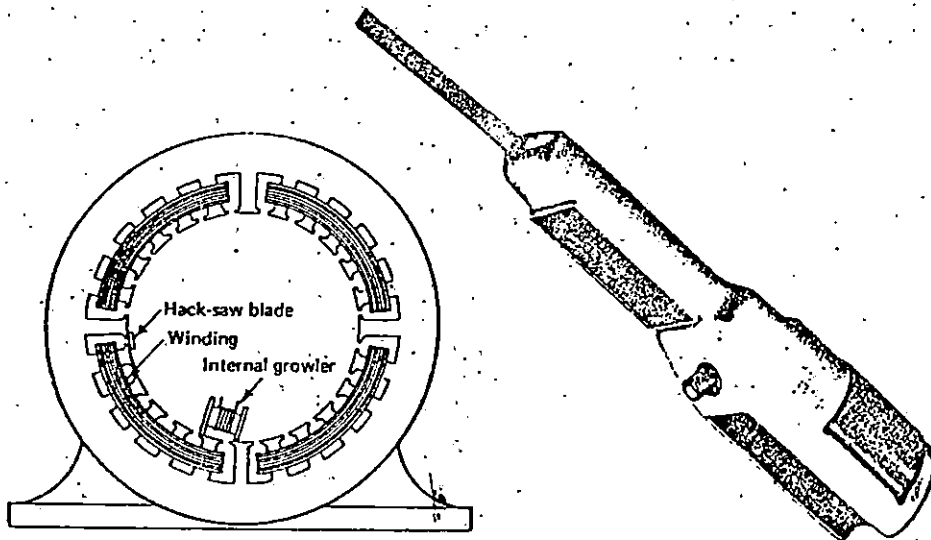
Gambar 46. Mengikat Kedua Kepala Kumparan

- Setelah merapikan kepala kumparan dari sisi kiri dan kanan motor, maka ujung-ujung kedua kumparan dilakukan penyambungan seperti terlihat pada gambar 47. Untuk motor standar hubungannya akan membentuk arah medan magnet yang ber kutub utara dan selatan. Arah panah yang masuk ke kumparan dapat dinyatakan pembentukan medan magnet utara sedangkan arah panah keluar kumparan dinyatakan medan magnet selatan. Dengan demikian terbentuklah didalam stator motor suatu susunan medan magnet pada setiap kumparan yang merupakan medan magnet utara selatan sedemikian rupa. Penyambungan ujung-ujung kumparan yang satu dengan ujung yang lainnya dipuntir supaya rapat dengan hati-hati dan jangan sampai putus. Lakukan penyolderan pada sambungan tersebut dan tutup sambungan tersebut dengan slof atau isolasi band.



Gbr 47. Hubungan Antara Kumputan Utama dan Bantu

- Pemeriksaan atau pengujian kumparan yang telah dilakukan pelilitan baru, dapat menggunakan alat meger atau growler. Pemeriksaan menggunakan meger untuk memastikan bahwa semua kumparan sudah terisolasi dengan baik antara kumparan terhadap kerangka stator dan antara kumparan utama dengan kumparan bantu. Pengujian ini cukup dengan meger 500 Volt untuk motor-motor listrik. Sedangkan pengujian menggunakan alat growler untuk mengetahui hubungan singkat antara lilitan kumparan dengan yang lainnya. Penggunaan alat growler ini sangat sederhana, dimana alat tersebut diletakan diatas setiap alur, bila terjadi hubungan singkat maka batang besi tipis tertarik dengan kuat pada alur yang berisi sisi kumparan lain dari kumparan yang diperiksa. Waktu pemeriksaan kumparan motor yang berhubungan paralel harus dibuka sebelum melakukan pemeriksaan dimulai. Cara penempatan alat growler ini pada alur stator dapat dilihat pada gambar 48.



Gambar 48. Penggunaan Growler

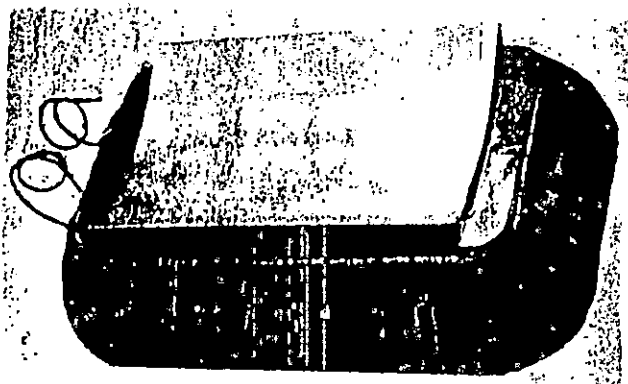
- Memberikan lak atau vernis pada kumparan ini sangat penting dalam operasi motor, karena menambah ketahanan kelembaban dan pengamanan isolasi antara lilitan kumparan. Vernis ini juga mengikat seluruh kumparan terhadap aksi getaran didalam kumparan. Disamping itu juga menambah kumparan terhadap sifat kekebalan air dan debu.
5. Memasang kembali peralatan motor dan mencobanya pengoperasian motor tersebut.
- Masukkan rotor kedalam rumah motor dengan hati-hati jangan sampai bersinggungan dengan kumparan.
  - Pasanglah frame (penutup) kiri dan kanan sesuai dengan tanda-tanda yang dibuat sebelum dilakukan pembongkaran motor tersebut.
  - Kencangkan mur atau baut sedikit demi sedikit hingga merata dengan cara menyilang, sambil memutar poros motor pelan-pelan.
  - Lakukan operasi motor tanpa beban selama  $\pm 1$  jam dan tempetatur kerja berkisar  $\pm 40^{\circ}$ . Disamping itu amati arus motor selama operasi.

## B. Perbaikan Motor Universal.

Kita pengetahui bahwa motor universal adalah motor seri arus bolak balik dimana konstruksinya sama dengan motor seri arus searah, yang terdiri dari kumparan medan (salient field) dan rotor lilitan. Kerusakan yang mungkin terjadi pada motor ini adalah pada kumparan medan atau kumparan rotor. Untuk perbaikan motor tersebut akan dijelaskan satu persatu dari kumparan yang terdapat pada motor.

### 1. Perbaikan kumparan medan (saleint field).

Kumparan medan pada motor universal dalam bentuk kumparan terpusat yang ditempatkan pada teras stator bentuk sepatu kutub (salient pole). Kumparan medan yang dibungkus dengan pita atau hanya sebagian yang dibungkus pada kepala kumparan saja, dan ditempatkan diseliling inti besi berbentuk sepatu kutub yang menempel pada dinding stator seperti terlihat pada gambar 49. Kumparan-kumparan medan ini sangat sederhana yang ditempatkan dengan hanya menempelkan kertas isolasi disetiap sisinya dan diikat kuat dengan cara membawanya setengah lingkaran kumparan, dibawah pembungkus pita sebelum kabel itu keluar.



Gambar 49. Kumparan Medan Motor Universal

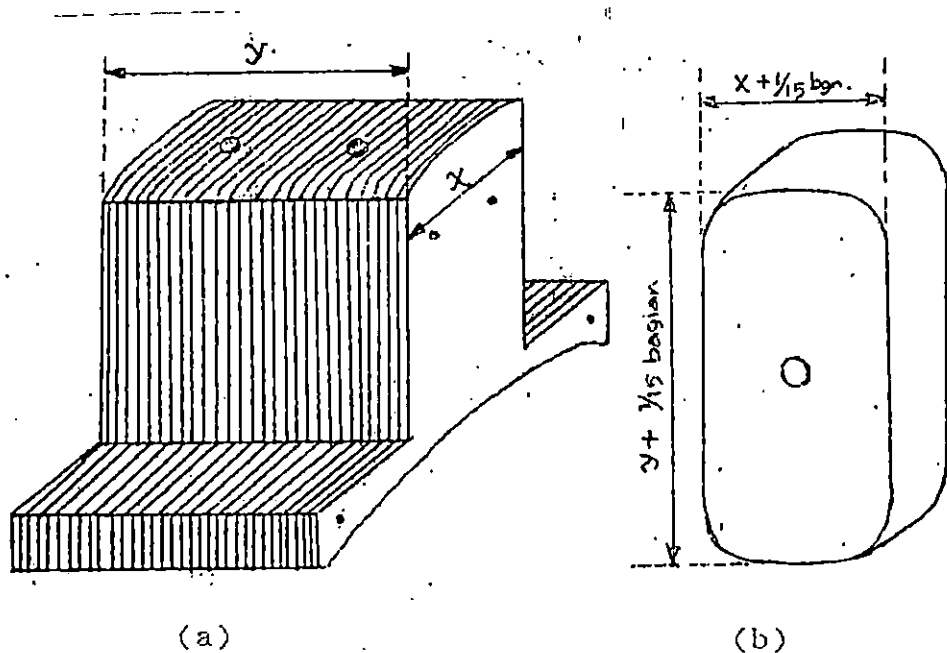
a. Membuat mal kumparan medan motor universal

- Membuat mal untuk kumparan medan diperlukan data tentang ukuran-ukuran dari sepatu kutub. Ukuran tersebut berupa lebar kutub ( $b$ ), lebar teras kutub ( $L$ ) dan tinggi leher sepatu kutub ( $h$ ) atau tinggi kumparan. Gambar 50, memperlihatkan konstruksi dari sepatu kutub dengan dimensi-dimensinya. Untuk membuat mal kumparan dapat menggunakan papan kayu atau plywood.
- Menentukan ukuran-ukuran mal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Lebar kutub untuk mal } (b') &= b + 1/15 b \\ &= 1,06 b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar teras untuk mal } (L') &= L + 1/15 L \\ &= 1,06 L \end{aligned}$$

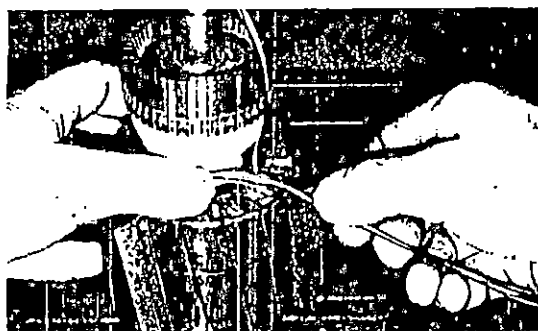
$$\begin{aligned} \text{Tebal untuk mal } (h') &= h + 1/15 h \\ &= 1,06 h \end{aligned}$$



Gambar 50. a) Sepatu kutub  
b) Mal kumparan medan

- Lilitlah mal kumparan dengan diameter kawat yang sesuai dengan yang dikehendaki. Melilit kumparan medan ini dapat menggunakan mesin penggulung atau dengan tangan, dilakukan rapat dan rapi sesuai dengan jumlah lilitan yang diinginkan.

- Lepaskan kumparan dari mal dan balut dengan pita ban supaya rapat dan kelihatan baik.
  - Pasang kumparan-kumparan medan pada sepatu kutub, sesuai dengan tempat yang disediakan pada rumah motor.
  - Sambunglah ujung-ujung kumparan medan tersebut satu dengan yang lainnya sehingga menjadi pasangan kutub.
- b. Membuat mal kumparan rotor motor universal
- Membuat lilitan kumparan rotor dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan mal kumparan dan melilit langsung pada teras rotor tersebut. Melilit kumparan dengan mal biasanya digunakan untuk motor berdaya besar, serta mempunyai diameter kawat dalam ukuran besar atau tebal.
  - Melilit kumparan rotor langsung pada teras rotor tersebut, biasanya pada motor berdaya kecil dan diameter kawat dalam ukuran kecil. Ukuran kawat yang digunakan untuk melilit langsung pada teras berkisar 0,1 s/d 0,5 mm. Cara melilit kumparan rotor dapat dilihat pada gambar 51.



Gambar 51. Cara melilit kumparan rotor

- Sebelum melilit kumparan rotor, terlebih dahulu alur-alur rotor diapsang kertas presspan (fish paper) dan berilah kelebihan kertas tersebut sedikit pada bibir alur. Melilit kedalam alur-alur rotor dengan bantuan kayu atau bambu untuk menekan kawat kedalam alur.



- Bersihkanlah ujung-ujung kawat email dan masukan pangkalnya kedalam lamel, sedangkan ujung yang lain dimasukkan ke lamel lainnya secara Ye yang dikehendaki.
  - Patrilah kawat-kawat tersebut pada lamel sehingga berhubungan dengan baik dan rapi.
  - Lakukan pengujian rotor tersebut dengan growler.
  - Kalau sudah baik, ikat dengan tali kawat lilitan pada tempat yang terdekat lamel komutator sehingga rapat.
  - Berilah lak atau vernis sehingga merata pada rotor dan keringkan menggunakan oven listrik atau sinari dengan lampu pijar  $\pm 75$  watt selama  $\pm 4$  jam dimana sisi dan bagian atas dari tempat pengeringan tersebut ditutup rapi.
  - Bersihkanlah lamel-lamel komutator dengan kertas gosok yang halus sampai bersih dari kotoran-kotoran minyak maupun dari lak dengan memutar-mutar rotor tersebut.
2. Memasang kembali peralatan motor dan uji coba
- Masukan rotor yang sudah dililit tadi kedalam rumah motor, serta tutuplah menggunakan frame samping kiri dan kanan sesuai dengan tanda yang dibuat semula.
  - Pasang dan kencangkan mor atau baut pengikat frame dengan menyilang, sehingga rapatnya merata. Putar sumbu motor atau as dengan tangan sehingga mudah berputar.
  - Pasang sikat-sikat arang, sehingga tersinggungnya dengan komutator betul-betul rapat dan aturlah kedudukan sikat arang betul bersinggungan pada komutator.
  - Atur pengawatan pada terminal motor yang berhubungan dengan kumparan medan dan sikat arang sesuai dengan kehendak operator.
  - Operasikan motor universal yang telah diperbaiki tersebut selama  $\pm 1$  jam, catat perubahan besaran seperti arus, kecepatan dan temperatur kerja sesuai dengan ketentuan yang terdapat pada papan nama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jurek Stefan F, 1978. Electrical Machines For Technicians And Technician Engineering. Longman London and New York
- Rosenberg Robert, 1969. Electric Motor Repair. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Soepatah Bambang Cs, 1978. Mesin Listrik I. Dekmenjur Depdikbud Jakarta.
- Sujud Abdul, 1952. Mesin Arus Searah 2. H. Stam Jakarta.
- Soelaiman Mhd Ts, 1984. Mesin Tak Serempak Dalam Praktek. PT. Pradnya Paramita Jakarta.
- Siskind Charles S, 1959. Electrical Machines Direct & Alternating Current. Mc Graw-Hill Kogakusha Tokyo.
- Vinogradov N, 19.. Electrical Machine Winder. Mir Publishers Moscow.