



BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1 Penyangraian Kopi

Mesin sangrai kopi menjadi penentu proses kimia panas yang diuraikan di atas, menyangkut pada kestabilan suhu ruang sangrai dan proses perpindahan panas ke dalam biji kopi. Bila proses penyangraian biji kopi berlangsung terlalu cepat, biasanya bagian terluar dari biji akan gosong atau berwarna kehitaman carbon. Namun bila penyangraian terlalu lama, biji kopi juga akan terasa pahit.

Pada dasarnya proses sangrai (roasting) adalah proses mengeluarkan air dalam kopi, mengeringkan dan mengembangkan bijinya, mengurangi beratnya hingga 20%, serta yang paling penting adalah mengubah unsur gula menjadi CO₂ sebagai alat transport untuk memberikan aroma pada kopi tersebut.

Penyangrai kopi pada industri rumahan dilakukan secara manual, sehingga banyak energi panas yang terbuang. Selain itu tenaga yang dibutuhkan cukup banyak untuk mengaduk kopi. Hal tersebut membuat penyangrai kopi kurang efisien karena suhu disekitar penyangrai tidak terkontrol, serta pengadukan tidak merata. Hal ini menyebabkan orang yang melakukan proses tersebut mudah lelah apabila dilakukan dalam skala besar dan akan mempengaruhi kualitas kopi.¹

1. *Light Roast*, suhu yang diperlukan 193° C hingga 199° C untuk menghilangkan 3-5% kadar air.



¹ “Tips Menyangrai Biji Kopi Di Rumah Tanpa Mesin Sangrai Kopi” Tips Menyangrai Biji Kopi Di Rumah Tanpa Mesin Sangrai Kopi, 8 februari 2022, <https://coffeeland.co.id>



Gambar 2.1 Hasil penyangraian tingkat *Light Roast* pada biji kopi

2. *Medium Roast*, suhu yang diperlukan 204° C untuk menghilangkan 5-8% kadar air.



Gambar 2.2 Hasil penyangraian tingkat *Medium Roast* pada biji kopi

3. *Dark Roast* adalah proses penyangraian biji kopi yang memerlukan suhu 213 °C hingga 221 °C selama 7 menit untuk menghilangkan 8-14% kadar air.



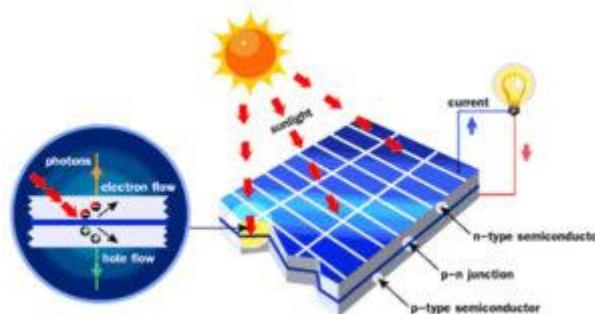
Gambar 2.3 Hasil penyangraian tingkat *Dark Roast* pada biji kopi

Jenis penyangrai berbentuk oven yang dijalankan dengan cara batch atau kontinuous. Pemanasan dikerjakan pada tekanan atmosfer dengan memanfaatkan ruang hawa panas atau gas pembakaran. Bentuk yang paling sering digunakan akan disesuaikan pada penyangraian dengan cara batch ataupun *contionus* adalah drumhorizontal yang mampu berputar. Kebanyakan biji kopi diputar sealiran dengan hawa panas lewat drum ini, kecuali pada sebagian roaster dimana dimungkinkan tercipta aliran silang dengan hawa panas. Hawa yang diperlukan segera dipanaskan memakai gas atau bahan bakar, dan terhadap rancangan baru difungsikan sistem hawa daur ulang yang bisa menurunkan polusi di atmosfer serta menekan budget operasional *Roasting*.



2.2 Solar Cell

Sel surya atau sel fotovoltaik berasal dari bahasa Inggris “Photovoltaic” yang berasal dari kata Yunani dimana “phos” berarti cahaya dan kata “volt” adalah nama satuan pengukuran arus listrik yang diambil dari Alessandro Volta (1745-1827). *Photovoltaic* adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Sedangkan sel surya adalah seperangkat modul untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. *Photovoltaic* biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul dimana didalamnya terdapat banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sel surya memiliki elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek fotovoltaik. Cara kerja dari sel surya ini ialah pada saat terjadinya tumbukan energi pada photon yang ada di bahan semikonduktor maka energi tersebut akan di transfer pada electron yang terdapat pada atom sel surya. Dengan energi yang didapat dari photon, maka electron akan melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada. Dengan melepaskan ikatannya, maka electron tersebut akan menyebabkan terbentuknya lubang atau “hole”.²



Gambar 2.4 Cara kerja panel surya mengubah sinar matahari menjadi listrik

Alat utama untuk menangkap, perubah dan penghasil listrik adalah *Photovoltaic* atau yang disebut Solar Sel. Dengan adanya alat tersebut maka sinar

² “Sel Surya”, Sel Surya, 24 Mei 2022, https://id.wikipedia.org/wiki/Sel_surya



matahari akan dirubah menjadi listrik melalui proses aliran-aliran electron negative dan positif didalam sel modul karena perbedaan electron. Hasil dari aliran electron-elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi battery / aki sesuai tegangan dan ampere yang diperlukan. Rata-rata produk modul solar sell yang ada di pasaran menghasilkan tegangan 12 s/d 18 VDC dan ampere antara 0.5 s/d 0.7 ampere. Tiap modul juga memiliki kapasitas beraneka ragam mulai dari kapasitas 10 WP s/d 200 WP dan juga memiliki tipe monocrystal dan polycrystal.



Gambar 2.5 Panel/Modul Surya

Watt Peak (WP) adalah besarnya atau optimalnya nominal watt tertinggi yang dapat dihasilkan dari sebuah panel surya. Di Indonesia proses photovoltaic optimalnya hanya berlangsung selama 5 jam, maka untuk menghitung panel surya yang digunakan dapat menggunakan rumus di bawah ini. Umumnya solar sel yang banyak dijual di pasaran hanya 50 WP dan 100 WP maka hasil dari perhitungan panel surya dibagi dengan besar WP yang dijual di pasaran.

$$Panel\ Surya = \frac{Total\ Daya}{Waktu\ Optimal} \dots\dots\dots(2.1)$$

2.3 Solar Charge Controller

Solar charge controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. solar charge controller mengatur over charging (kelebihan pengisian – karena batere sudah ‘penuh’) dan kelebihan Voltase dari panel surya/ solar cell. Solar charge controller berfungsi untuk menjaga keseimbangan energi di baterai dengan cara



mengatur tegangan maksimum dan minimal dari baterai tersebut, Alat ini juga berfungsi untuk memberikan pengamanan terhadap sistem yaitu: Proteksi terhadap pengisian berlebih (over charge) di baterai, proteksi terhadap pemakaian berlebih (over discharge) oleh beban, mencegah terjadinya arus balik ke modul surya, melindungi terhadap terjadinya hubungan.

Charge controller biasanya terdiri dari 1 input dengan 2 terminal yang terhubung dengan output panel sel surya, 1 output dengan 2 terminal yang terhubung dengan baterai/aki dan 1 output dengan 2 terminal yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada dioda protection yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel sel surya ke baterai bukan sebaliknya. Seperti yang telah disebutkan, solar charge controller yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Baterai yang sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel sel surya berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. Charge controller akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan turun, maka baterai akan diisi kembali. Charge controller memiliki 2 operasi kerja, yaitu charging mode dan operation mode. Charging mode merupakan suatu mode kerja charge controller saat pengisian baterai. Operation mode adalah kondisi baterai saat menyuplai beban. Apabila ada overdischarge atau overload, maka baterai akan dilepaskan dari beban. Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai. Untuk menentukan kapasitas arus pada charge controller.³

Dalam menentukan besar arus pada SCC maka perlu untuk memahami spesifikasi panel surya.

$$\text{Daya SCC} = I_{sc} \times \text{Jumlah Panel Surya} \dots\dots\dots(2.2)$$

³ “Apa itu Solar Charge Controller? Perbedaan PWM dengan MPPT?”, Apa itu Solar Charge Controller? Perbedaan PWM dengan MPPT
<http://m.icasolar.com/support/blog/pwm>.



Keterangan:

Isc = Arus Short Circuit



Gambar 2.6 Solar Charge Controller (SCC)

2.4 Baterai

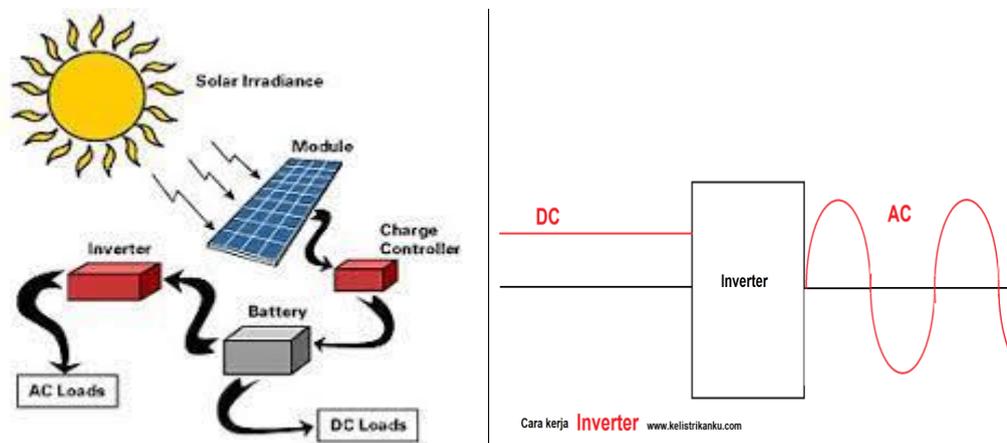
Penyimpanan baterai menggunakan cara elektro-kimia adalah bentuk energi semi-teratur. Listrik yang dihasilkan dari penyimpanan baterai mudah diubah menjadi panas atau cahaya, tetapi proses konversi dalam baterai relatif tidak efisien. Jenis baterai dikategorikan sebagai primer dan sekunder. Baterai primer tidak dapat dibalik baterai tidak dapat diisi ulang dan dibuang setelah energi dikonsumsi. Sel alkali yang umum adalah contoh dari jenis ini. Baterai sekunder dapat diisi ulang. Baterai timbal- asam adalah jenis yang paling umum dan digunakan dalam sistem mobil dan cadangan. Efisiensi baterai sekunder biasanya 70 hingga 80% untuk siklus pulang-pergi (pengisian dan pengosongan). Energi hilang dalam bentuk panas untuk siklus pengisian dan pengosongan. Jenis umum lainnya dari baterai sekunder termasuk nikel-kadmium (NiCad), nikellogam hidrida (NiMh), lithium-ion, seng-udara, dan polimer lithium. Untuk mengetahui berapa banyak energi yang dapat disimpan dalam suatu baterai maka perlu mengkonversi AH menjadi WH atau daya per jam (Watt- Hours). Catatan bahwa energi listrik pada baterai tidak dapat 100% digunakan maka daya listrik pada beban perlu dikurangi sekiranya 5%



Gambar 2.7 Baterai

2.5 Inverter

Inverter merupakan suatu alat yang dipergunakan untuk mengubah tegangan searah menjadi tegangan bolak-balik dan frekuensinya dapat diatur. Inverter memiliki berbagai jenis sesuai dengan fungsi dan keinginan penggunaannya sesuai kebutuhan.⁴



Gambar 2.8 Inverter mengubah tegangan DC menjadi AC

⁴ Ani Mardatila. (2020). "Fungsi Inverter Pengertian Manfaat Dan Jenisnya Yang Perlu Diketahui", Fungsi Inverter Pengertian Manfaat Dan Jenisnya Yang Perlu Diketahui <https://www.merdeka.com/sumut/fungsi-inverter-pengertian-manfaat-dan-jenisnya-yang-perlu-diketahui-klm.html>



Inverter yang akan saya bahas pada penelitian ini adalah inverter jenis push-pull secara sederhana prinsip kerja inverter dan bentuk gelombang yang dihasilkan dari inverter.

2.5.1 Prinsip kerja inverter

Prinsip kerja inverter dengan menggunakan 4 sakelar. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa pulse width modulation (PWM) dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC.

Dengan menutup S1 maka arus yang mengalir ke trafo adalah I1, sedangkan pada saat menutupnya S2 (S1 buka) maka yang mengalir adalah I2. Selanjutnya dengan mengulang-ulang proses diatas maka akan dihasilkan tegangan bolak-balik (AC) yang kemudian tegangannya dinaikkan dengan transformator. Inverter ini sendiri terdiri dari beberapa sirkuit penting yaitu sirkuit converter (yang berfungsi untuk mengubah daya komersial menjadi dc serta menghilangkan ripple yang terjadi pada arus ini) serta sirkuit inverter (yang berfungsi untuk mengubah arus searah menjadi bolak-balik dengan frekuensi yang dapat diatur-aturl). Inverter juga memiliki sebuah sirkuit pengontrol. Dan juga inverter adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC (Direct Current) menjadi tegangan AC.

(Alternating Current). Keluaran suatu inverter dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (sine wave), gelombang kotak (square wave) dan sinus modifikasi (sine wave modified). Sumber tegangan masukan inverter dapat S1 S2 S2 S1 V CT t + S2 S1 - Input DC Trafo Step Up14 Politeknik Negeri Sriwijaya 9 menggunakan baterai, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Inverter dalam proses mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan mutivibrator.



Gambar 2.9 Inverter

2.6 Motor Listrik

Motor listrik merupakan termasuk kedalam kategori mesin listrik dinamis dan merupakan sebuah perangkat elektromagnetik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada motor listrik tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnet. Sebagaimana kita ketahui bahwa kutub-kutub dari magnet yang senama akan tolak-menolak dan kutub-kutub tidak senama akan tarik-menarik. Maka kita dapat memperoleh gerakan jika kita menempatkan sebuah magnet pada sebuah poros yang dapat berputar dan magnet yang lain pada suatu kedudukan yang tetap. Dari beberapa pengertian tersebut dapat diperoleh kesimpulan, bahwa motor listrik adalah sebuah sistem yang bekerja dengan memanfaatkan energi listrik yang diubah menjadi energi mekanis/gerak dan dipengaruhi oleh gaya elektromagnetik, sehingga motor dapat berputar selama arus listrik yang mengalir pada sistem motor listrik tercukupi dengan baik.⁵

⁵ I Nyoman Bagia, I Made Parsia, Motor-Motor Listrik, Edisi ke-1. (Kupang: Rasibook, 2018), 29



2.7 Motor AC

Motor AC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan tegangan AC (Alternating Current). Motor AC memiliki dua buah bagian utama yaitu “stator” dan “rotor”. Stator merupakan komponen Motor AC yang statis, Stator mempunyai coil yang di aliri oleh arus listrik bolak balik dan nantinya akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Rotor merupakan komponen Motor AC yang berputar dan letaknya berada di dalam (di sebelah dalam stator). Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros dimana torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar. Motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variabel untuk mengendalikan kecepatan sekaligus menurunkan konsumsi dayanya. Motor AC berfungsi untuk merubah energi listrik dari arus listrik AC menjadi energi mekanis. Energi mekanis yang terbangkitkan berupa energi putaran poros rotor motor listrik. Fungsi motor listrik ini merupakan kebalikan dari generator AC yang berfungsi untuk merubah energi mekanis menjadi energi listrik AC.

2.7.1 Jenis-jenis motor AC

1. Motor AC Sinkron

Motor sinkron adalah motor listrik AC, yang pada kondisi *steady*, kecepatan putaran rotor nya tersinkronisasi atau sebanding dengan frekuensi gelombang arus AC. Jika kita kaitkan dengan rumus putaran rotor mesin AC di bawah ini, maka kecepatan rotor akan selalu sebanding dengan frekuensi listrik supply dan berbanding terbalik dengan jumlah kutub magnet.⁶

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} \dots\dots\dots(2.3)$$

⁶ Zuriman Anthony, Mesin Listrik Arus Bolak-Balik, Edisi Revisi. (Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2019), 126



Keterangan:

N_s = kecepatan putaran stator motor (rpm)

f = frekuensi sumber listrik AC (Hz),

P = jumlah kutub magnet untuk setiap fase listrik.

Adapun cara kerja motor sinkron yaitu bila kumparan stator atau armatur mendapatkan tegangan sumber bolak-balik (AC) 3 fasa, maka pada kumparan stator timbul fluks magnet putar. Fluks magnet putar ini setiap saat akan memotong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul GGL armatur (E_{am}). Fluks putar yang dihasilkan oleh arus bolak-balik tidak seluruhnya tercakup oleh kumparan stator. Dengan perkataan lain, pada kumparan stator timbul fluks bocor dan dinyatakan dengan hambatan armatur (R_{am}) dan reaktansi armatur (X_{am}). Kumparan rotor terletak antara kutub-kutub magnet KU dan KS yang juga mempunyai fluks magnet. Kedua fluks magnet tersebut akan saling berinteraksi dan mengakibatkan rotor berputar dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator. Motor listrik AC tipe sinkron terletak pada sistem eksitasi pada rotornya. Rotor motor AC sinkron memiliki kutub magnet dengan posisi yang tetap. Kutub magnet tersebut terkunci dengan medan magnet yang terbangkitkan di stator. Sehingga pada saat medan magnet stator berputar akibat gelombang listrik AC, rotor motor akan ikut berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan gelombang listrik AC.

Motor AC sinkron dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe:

- Motor sinkron dengan Magnet Permanen

Cara paling mudah untuk mendapatkan medan magnet pada rotor motor listrik sinkron adalah dengan menggunakan magnet permanen. Dengan cara ini akan didapatkan motor listrik yang lebih awet, konsumsi listrik yang relatif hemat karena tidak dibutuhkannya eksitasi pada rotor, serta kerugian panas yang sangat kecil. Dibandingkan dengan motor listrik



induksi, motor sinkron dengan magnet permanen memiliki beberapa kelebihan serta kekurangan.⁷



Gambar 2.10 Motor sinkron dengan Magnet Permanen

- Motor Sinkron Reluktansi

Motor sinkron reluktansi menggunakan rotor dengan bahan ferromagnetik, yang diinduksi oleh medan magnet stator. Medan magnet stator dibangkitkan dengan menggunakan beberapa kumparan yang dialiri arus listrik AC. Rotor yang menggunakan bahan logam yang dapat ditarik oleh magnet namun bukan magnet permanen, akan berputar mengikuti putaran medan magnet yang terbangkitkan pada stator motor. Kecepatan sinkron motor didapatkan pada motor reluktansi yang memiliki kutub rotor dengan jumlah yang sama dengan kutub stator.⁸



⁷ I Nyoman Bagia, I Made Parsia, Motor-Motor Listrik, Edisi ke-1. (Kupang: Rasibook, 2018), 29

⁸ "Macam-Macam Motor Listrik AC" Macam-Macam Motor Listrik AC, 29 September 2022,

<https://artikel-teknologi.com/macam-macam-motor-listrik-ac/>

**Gambar 2.11** Motor Sinkron Reluktansi

- Motor Sinkron Histerisis

Rotor motor sinkron histerisis menggunakan material silinder baja kobalt dengan nilai koersivitas tinggi. Koersivitas adalah sebuah sifat material ferromagnetik untuk menahan medan magnet luar sehingga ia tidak kehilangan sifat kemagnetannya. Sehingga material dengan koersivitas tinggi, sekali ia termagnetisasi oleh medan magnet dengan arah tertentu, akan membutuhkan medan magnet terbalik yang besar untuk melawan magnetisasi tersebut (histerisis yang lebar). Dengan sifat koersivitas tinggi serta desain rotor yang khusus, pada saat tercipta medan magnet berputar pada stator, akan tercipta pula medan magnet pada rotor dengan kutub yang berlawanan. Selanjutnya akan terjadi gaya tarik-menarik antara kutub rotor dan stator, sehingga rotor akan berputar mengikuti putaran medan magnet stator. Pada awal start motor, kecepatan putaran rotor tidak mampu mengikuti penuh kecepatan putar medan magnet stator. Namun tidak lama kemudian, karena sifat koersivitas rotor tadi, maka akan dicapai kecepatan sinkron putaran rotor.⁹



⁹ Macam-Macam Motor Listrik AC” Macam-Macam Motor Listrik AC , 29 September 2022, <https://artikel-teknologi.com/macam-macam-motor-listrik-ac/>



Gambar 2.12 Motor Sinkron Histerisis

2. Motor AC Tak Sinkron

Sesuai dengan prinsip kerja motor listrik AC, rotor motor haruslah sebuah material yang memiliki kutub magnet. Sehingga pada saat kumparan stator teraliri listrik AC dan menciptakan medan magnet putar, rotor magnet akan ikut berputar karena kutub magnet rotor terkunci oleh kutub magnet stator. Motor AC tak sinkron juga dikenal dengan nama motor induksi. Istilah tersebut digunakan karena untuk menciptakan kutub magnet rotor, sistem menggunakan induksi elektromagnetik dari medan magnet kumparan stator. Rotor motor induksi bukan sebuah magnet permanen dan tidak pula menggunakan sistem eksitasi. Bentuk rotor didesain sedemikian rupa sehingga jika terinduksi oleh medan elektromagnetik stator, akan tercipta arus listrik pada rotor diikuti dengan terciptanya medan magnet rotor (fenomena elektromagnetik).¹⁰

Sekarang mari kita bahas bagaimana prinsip kerja motor induksi ini. Sumber tegangan AC yang dialirkan ke kumparan-kumparan stator motor, akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan putaran sinkron sesuai dengan frekuensi sumber listrik. Medan magnet putar stator tersebut akan menginduksi secara elektromagnetik kepada rotor sehingga tercipta arus listrik pada sisi rotor sesuai dengan hukum Faraday. Arus listrik yang mengalir pada sisi rotor tersebut kembali akan menghasilkan medan magnet pada sisi rotor. Dengan adanya dua fluks medan magnet pada sisi rotor dan stator, maka rotor motor akan mengalami torsi putar mengikuti putaran medan magnet stator. Dari kondisi diam, rotor akan berakselerasi sampai nilai arus listrik terinduksi pada rotor serta torsi seimbang dengan beban motor. Rotor motor akan terus berakselerasi hingga mencapai kecepatan sinkronisasinya. Namun justru pada saat kecepatan sinkron

¹⁰ Macam-Macam Motor Listrik AC” Macam-Macam Motor Listrik AC , 29 September 2022, <https://artikel-teknologi.com/macam-macam-motor-listrik-ac/>



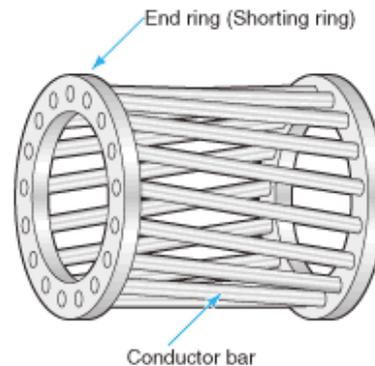
tercapai, arus listrik induksi rotor tidak akan terjadi. Hal ini dikarenakan pada saat kecepatan rotor sama dengan kecepatan medan magnet putar stator, maka tidak akan terjadi pemotongan garis gaya magnet stator oleh rotor, sehingga induksi elektromagnetik tidak berfungsi. Maka dari itu, putaran rotor motor induksi tidak akan pernah mencapai kecepatan sinkron. Kecepatan rotor motor induksi akan selalu lebih rendah sedikit daripada kecepatan medan magnet putar stator. Perbandingan kecepatan antara rotor dan stator ini disebut dengan *slip*.

Pengklasifikasian motor induksi adalah berdasarkan desain dari rotornya. Ada dua macam desain rotor motor induksi tersebut yakni bentuk sangkar tupai (squirrel cage) serta rotor dengan slip ring (wound type).

- Motor Induksi Dengan Rotor Sangkar Tupai

Rotor motor induksi tipe ini berbentuk unik seperti sangkar tupai, maka dari itu diberi nama rotor sangkar tupai. Rotor ini berbentuk silinder yang menjadi satu dengan porosnya. Pada sisi tepi silinder terdapat beberapa batang konduktor (biasanya berbahan tembaga atau aluminium) yang disusun hampir sejajar dengan poros, serta terikat dengan sebetuk cincin pada ujung-ujungnya sehingga nampak menyerupai bentuk sangkar tupai. Rotor motor induksi tipe ini berbentuk unik seperti sangkar tupai, maka dari itu diberi nama rotor sangkar tupai. Rotor ini berbentuk silinder yang menjadi satu dengan porosnya. Pada sisi tepi silinder terdapat beberapa batang konduktor (biasanya berbahan tembaga atau aluminium) yang disusun hampir sejajar dengan poros, serta terikat dengan sebetuk cincin pada ujung-ujungnya sehingga nampak menyerupai bentuk sangkar tupai.¹¹

¹¹ Macam-Macam Motor Listrik AC” Macam-Macam Motor Listrik AC , 29 September 2022, <https://artikel-teknologi.com/macam-macam-motor-listrik-ac/>



Gambar 2.13 Susunan batang Konduktor Rotor

Batang konduktor didesain sedikit sejajar namun juga sedikit miring terhadap poros rotor. Desain ini memiliki beberapa tujuan yakni:

1. Mengurangi suara bising dengungan akibat efek magnetik.
2. Mengurangi fluktuasi torsi pada saat terjadi perubahan kecepatan rotor.
3. Meningkatkan rasio efektifitas proses transformasi (induksi) antara stator dengan rotor.
4. Meningkatkan tahanan rotor karena bobot konduktor yang ringan.
5. Meningkatkan nilai slip untuk torsi tertentu.

Selain batang konduktor, rotor motor squirrel cage juga tersusun atas inti besi. Inti besi tersebut berfungsi untuk menyimpan medan magnet yang dihasilkan oleh batang konduktor. Dikarenakan medan magnet rotor berfluktuasi terhadap waktu, maka konstruksi inti besi ini mirip dengan trafo yakni berupa lembaran-lembaran sehingga dapat mengurangi kerugian energi. Untuk mengurangi efek arus eddy, maka lembaran-lembaran inti ¹²besi saling diinsulasi dengan bahan vernis. Sedangkan material inti besi menggunakan besi karbon rendah dan tinggi silikon

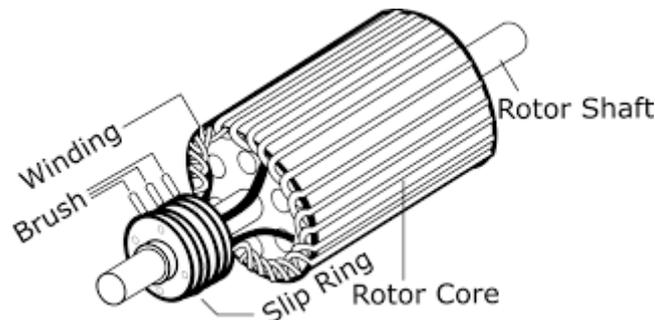
¹² Macam-Macam Motor Listrik AC” Macam-Macam Motor Listrik AC , 29 September 2022, <https://artikel-teknologi.com/macam-macam-motor-listrik-ac/>



untuk mengurangi efek arus eddy, serta koersivitas rendah untuk mengurangi kerugian histerisis.

- Motor Induksi dengan Slip Ring

Motor induksi tipe selanjutnya sebenarnya juga menggunakan bentuk sangkar tupai pada batang konduktornya. Hanya saja, rotor motor ini tidak menggunakan inti besi, melainkan menggunakan lilitan kawat kumparan yang dilengkapi dengan slip ring. Namun kumparan dan slip ring rotor tidak digunakan sebagai sistem eksitasi, namun digunakan untuk menciptakan resistansi atau hambatan pada rotor ketika penyalan awal. Resistansi yang tercipta tersebut akan menghasilkan torsi yang besar saat penyalan awal. Dengan sistem ini, maka motor induksi dengan slip ring ini akan sangat cocok digunakan pada sebuah beban kerja yang apabila menggunakan motor induksi squirrel cage dapat mengakibatkan arus listrik penyalan yang terlalu tinggi untuk kapasitas motor induksi squirrel cage tersebut.



Gambar 2.14 Motor Induksi dengan Slip Ring

Motor induksi dengan slip ring cocok digunakan untuk beban yang memiliki inersia tinggi serta waktu akselerasi yang lama. Hal ini karena dengan motor induksi ini, kita dapat mengontrol kecepatan serta torsi motor. Namun jika sistem kontrol resistansi rotor tidak berjalan dengan



baik, dapat dipastikan efek negatif temperatur panas pada rotor akan muncul.

2.7.2 Macam-macam motor listrik AC berdasarkan jumlah fasa¹³

Motor listrik AC juga dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah fase sumber listrik AC yang digunakan. Seperti yang telah kita ketahui bersama, sumber listrik AC yang lazim digunakan ada dua macam yakni satu fasa dan tiga fasa. Listrik AC satu fasa memiliki satu saja gelombang sinusoidal tegangan AC, sedangkan listrik AC tiga fasa memiliki tiga gelombang sinusoidal tegangan listrik. Perbedaan paling utama antara motor listrik AC tiga fasa dengan satu fasa adalah terletak pada desain kumparan stator motor. Karena listrik AC tiga fasa memiliki arus bolak-balik tiga di saluran, maka paling tidak akan ada enam kumparan kawat pada sisi stator motor AC tiga fasa. Sedangkan karena listrik AC satu fasa hanya memiliki satu saja saluran listrik, maka stator motor AC satu fasa akan hanya memiliki sepasang atau dua kumparan kawat.

Perbedaan paling utama antara motor listrik AC tiga fasa dengan satu fasa adalah terletak pada desain kumparan stator motor. Karena listrik AC tiga fasa memiliki arus bolak-balik tiga di saluran, maka paling tidak akan ada enam kumparan kawat pada sisi stator motor AC tiga fasa. Sedangkan karena listrik AC satu fasa hanya memiliki satu saja saluran listrik, maka stator motor AC satu fasa akan hanya memiliki sepasang atau dua kumparan kawat. Untuk lebih jelasnya, mari kita bahas satu per satu.

1. Motor Listrik Tiga Fasa

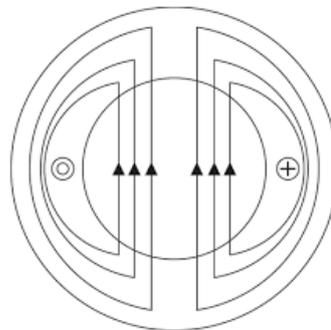
Motor listrik jenis ini adalah motor listrik yang dijalankan dengan suplay 3 fasa RST. Biasanya motor listrik 3 fasa berjenis motor kapasitor atau motor induksi yang akan dijelaskan setelah ini. memiliki 3 kutub saling

¹³ Macam-Macam Motor Listrik AC” Macam-Macam Motor Listrik AC , 29 September 2022, <https://artikel-teknologi.com/macam-macam-motor-listrik-ac/>



mendorong sehingga menghasilkan putaran lebih bertenaga. Untuk dapat menjalankan motor 3 fasa diharuskan memiliki suplay arus ke 3 fasa dari PLN. Karena listrik rumah tidak dapat menjalankan motor 3 fasa dengan optimal. Apabila sumber tegangan 3 fase dipasang pada kumparan stator, akan timbul medan putar dengan kecepatan sama seperti pada rumus persamaan (2.3)¹⁴

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang



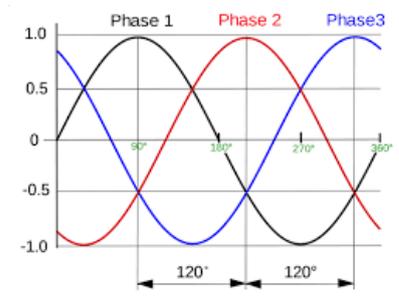
Gambar 2.15 Medan Magnet Motor 3 Fasa

Listrik AC tiga fasa menciptakan gelombang sinusoidal yang seakan-akan saling bersahutan. Ketiga gelombang tersebut saling memiliki selisih 120° satu sama lain. Fenomena tersebut justru akan memudahkan kita untuk

¹⁴ I Nyoman Bagia, I Made Parsia, Motor-Motor Listrik, Edisi ke-1. (Kupang: Rasibook, 2018), 50



memahami bagaimana proses terjadinya medan magnet putar pada stator motor listrik AC.¹⁵



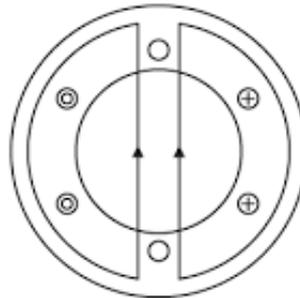
Gambar 2.16 Gelombang Motor 3 Fasa

2. Motor listrik 1 fasa

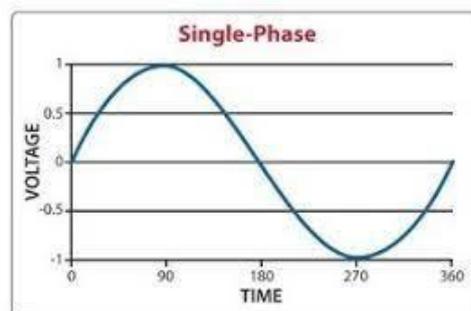
Secara umum motor induksi satu fasa adalah motor dalam kapasitas kecil ($< 1\text{kw}$). Jenis motor ini banyak digunakan pada peralatan rumah tangga, perkantoran, toko maupun pabrik, seperti kipas angin, mesin cuci, blender, juice maker, hand tools, dan recorder player. Seperti halnya dengan mesin-mesin listrik yang lain, konstruksi mesin induksi satu fasa terdiri dari 2 bagian, yaitu stator dan rotor. Bagian stator dari mesin induksi satu fasa pada dasarnya terdiri dari kumparan satu fasa, namun pada saat diasut motor induksi ini dengan hanya kumparan satu fasa tidak mampu memulai pergerakan rotornya. Pada motor listrik 1 fasa motor dibagi menjadi 3 jenis motor. Yaitu: Motor induksi kapasitor, Motor Shaded Pole dan Motor Universal.¹⁶

¹⁵ I Nyoman Bagia, I Made Parsia, Motor-Motor Listrik, Edisi ke-1. (Kupang: Rasibook, 2018), 50

¹⁶ Refdinal Nazir, Teori & Aplikasi Motor dan Generator Induksi, Edisi ke-1. (Bandung: ITB Press, 2017), 174



Gambar 2.17 Medan Magnet Motor 1 Fasa



Gambar 2.18 Gelombang Motor 1 Fasa

1) Motor Kapasitor

Motor listrik 1 fasa kapasitor adalah jenis motor 1 fasa yang mengandalkan dua kumparan yaitu kumparan utama dan kumparan bantu. Kumparan utama biasanya memiliki ukuran yang lebih besar, dan kumparan bantu yang berukuran lebih kecil namun dengan jumlah lebih banyak. Motor kapasitor dilengkapi dengan kapasitor sebagai pembantunya.

Prinsip kerja jika motor kapasitor diberi sumber tegangan (suplay 220 Volt AC) pada belitan start, maka terjadi pengaliran arus pada belitan tersebut. Dengan adanya kapasitor yang terhubung seri dengan belitan bantu sehingga arus belitan bantu mendahului



(leading) terhadap arus belitan utama, kondisi tersebut menyebabkan terbentuk suatu medan magnet putar. Medan magnet putar ini memotong batang-batang konduktor dari belitan rotor yang menyebabkan pada ujung-ujung belitan rotor timbul gaya gerak listrik, karena belitan rotor merupakan rangkaian tertutup sehingga menghasilkan arus pada rotor dan kedua fluks magnet antara fluks belitan stator dan rotor akan berinteraksi sedemikian yang membuat rotor motor kapasitor berputar.¹⁷



Gambar 2.19 Motor Kapasitor

Kapasitor ini berfungsi untuk mempertinggi kopel awal dan mengurangi arus start pada motor kapasitor dan geseran fasa antara kumparan utama dan kumparan bantu lebih dipertajam. Ukuran kapasitas dari kapasitor yang digunakan untuk motor listrik mempunyai satuan uF (mikro farad). Biasanya menggunakan ukuran 1 uF hingga 150 uF tergantung dari besar kecilnya motor yang digunakan. Menurut hubungan kapasitor dengan motor listrik, kapasitor motor dapat dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

a. Motor Kapasitor Start (starting capacitor motor)¹⁸

Pada jenis motor ini, kumparan bantu dilengkapi dengan kapasitor starting. Kapasitor starting dilepas dengan cara membuka switch

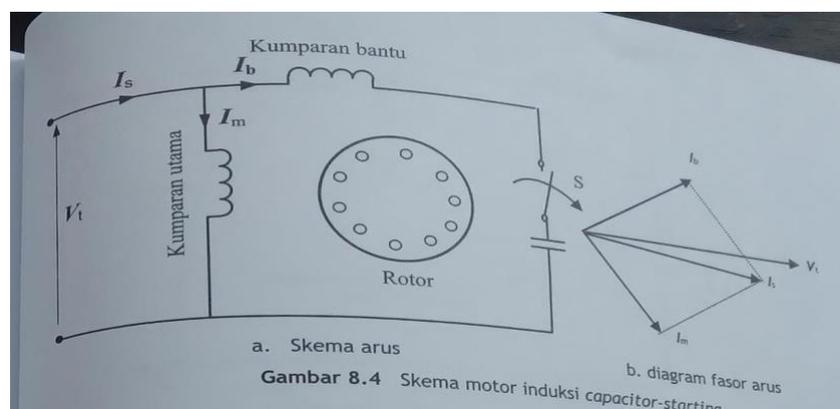
¹⁷ "Macam-Macam Motor Listrik AC" *Macam-Macam Motor Listrik AC* , 29 September 2022, <https://artikel-teknologi.com/macam-macam-motor-listrik-ac/>

¹⁸ Refdinal Nazir, *Teori & Aplikasi Motor dan Generator Induksi*, Edisi ke-1. (Bandung: ITB Press, 2017), 178



pada saat putaran motor sudah mencapai 75 % putaran nominal . Motor mempunyai kemampuan asut yang lebih tinggi dibanding jenis motor induksi split - phase, karena memiliki torka asut yang tinggi.

Pada motor capacitor starting kumparan akan dialiri arus sebesar I_m sedangkan kumparan bantu dialiri arus sebesar I_b , seperti ditunjukkan pada. Kumparan utama resistansinya lebih kecil sehingga arus mendekati sifat induktif atau ketinggalan dari fasor tegangan terminal mendekati 90. Adapun kumparan bantu ditambah dengan kapasitor, sehingga arus I_b , akan bersifat kapasitif. Diagram fasor arus dan tegangan dari motor induksi capacitor - starting diperlihatkan pada. Penjumlahan arus kumparan utama I_m yang bersifat induktif dan arus kumparan bantu I_b yang bersifat kapasitif, akan menghasilkan arus saluran I_s yang hampir sefasa dengan tegangan terminal V_t , seperti ditunjukkan pada. Karakteristik torka motor induksi satu fasa capacitor starting dapat ditunjukkan pada. Pada motor ini , torka asut motor akan terangkat lebih besar dibandingkan motor split - phase, sehingga motor ini akan lebih mudah diasut. Akan tetapi, arus saluran motor juga menjadi bertambah besar. Dalam hal ini, penggunaan capacitor starting juga hanya dilakukan pada waktu pengasutan saja, setelah motor mencapai 75 % dari putaran nominalnya, maka rangkaian bantu tersebut harus terlepas dari rangkaian motor.



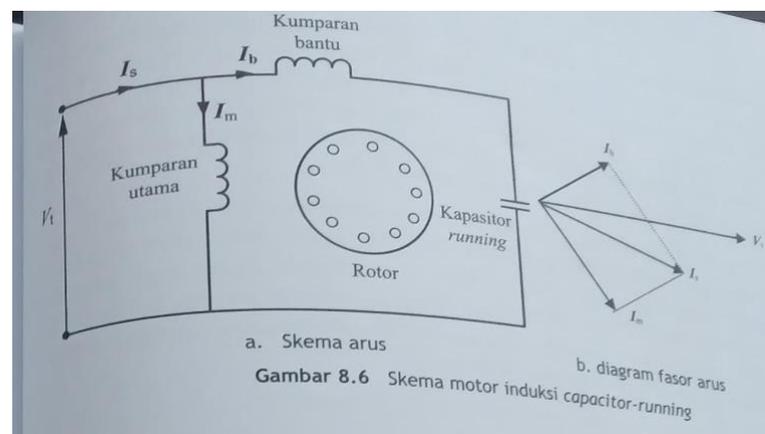


Gambar 2.20 Skema motor induksi kapasitor starting

Dengan start kapasitor daya gerak putar mula motor dapat dinaikkan sampai 40%, menjadi motor yang mempunyai daya gerak putar mula tinggi (hing starting torque motor). Motor tersebut dapat dipakai untuk sistem yang memakai pipa kapiler atau keran ekspansi. Pada umumnya dipakai untuk motor dari $1/6 - 3/4$ PK, satu fase.

b. Motor Kapasitor Running (running capacitor motor)

Pada motor satu fasa jenis ini rangkaian bantu dipasang kapasitor secara permanen . Dengan demikian motor akan beroperasi sebagai mesin fasa secara terus menerus. Skema motor induksi satu fasa dengan kapasitor running diperlihatkan pada. Pada motor ini, pemasangan kapasitor running dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan kapasitor starting pada rangkaian bantu bersifat permanen. Arus kumparan bantu I_b yang ditambah dengan rangkaian kapasitor bersifat kapasitif , namun besarnya jauh lebih kecil dari arus kumparan bantu motor capacitor - starting. Diagram fasor arus dan tegangan dari motor induksi capacitor - running diperlihatkan pada. Penjumlahan arus kumparan utama I_m yang bersifat induktif dan arus kumparan bantu I_b , yang bersifat kapasitif, akan menghasilkan arus saluran I_s . yang lebih kecil dan lebih induktif. Amplitudo arus saluran I_s , tidak terlalu besar sehingga kapasitor running tidak perlu dilepas dari rangkaian setelah motor beroperasi normal.





Gambar 2.21 Skema motor induksi kapasitor running¹⁹

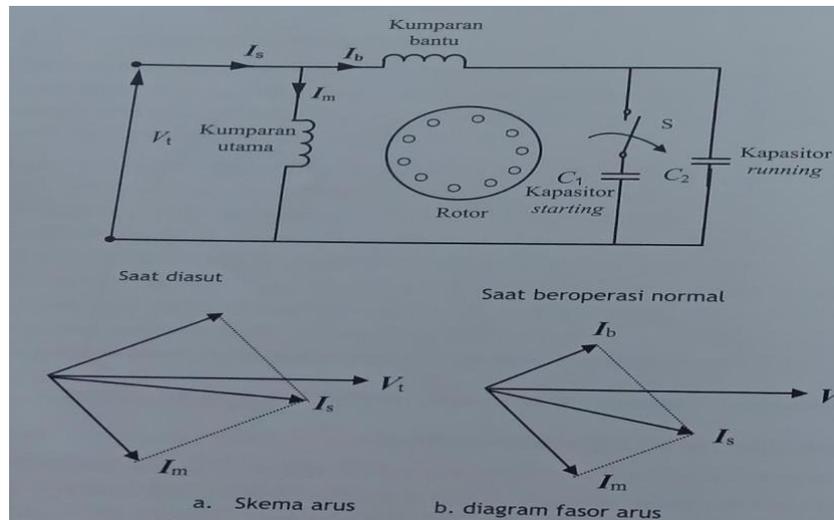
c. Motor Kapasitor Starting-Running (starting-running capacitor motor)

Run capacitor dihubungkan seri dengan kumparan pembantu untuk memperbaiki faktor kerja (power factor). Motor ini banyak dipakai untuk mesin-mesin pendingin yang memakai pipa kapiler atau keran ekspansi juga untuk room air conditioner dari ½ - 3 PK, satu fase. Pada waktu start, kedua start dan run capacitor yang dihubungkan seri dengan kumparan pembantu mendapat aliran listrik dan memberikan tambahan tenaga kepada kumparan pembantu selama waktu start. Setelah motor hampir mencapai putaran penuh, start relai kontaknya terbuka, maka hubungan listrik dari start capacitor ke kumparan pembantu terputus, tetapi run capacitor masih terus berhubungan. Selanjutnya motor akan terus berputar dengan kumparan utama, kumparan pembantu dan run capacitor. Kapasitor starting-running motor Jenis motor menggabungkan kemampuan 2 motor induksi sebelumnya. Pada saat starting mesin menggunakan kapasitor starting dan running untuk meningkatkan torka asut. Adapun pada pada saat beroperasi, mesin ini hanya menggunakan kapasitor running untuk memperbaiki performansinya. Gambar 2.23 menunjukkan skema motor induksi dengan cucitor starting running. Kapasitor starting hanya bekerja saat motor diasut sampai putaran motor mencapai 75 % putaran nominal. Motor ini beroperasi dalam 2 kondisi. Pada saat diasut , arus kumpatan bantu merupakan penjumlahan dari arus kapasitor starting $I_{e1} + I_{e2}$. Motor ini beroperasi normal jika hanya ada arus dari kapasitor running, namun arus kapasitor running tidak tersedia karena kapasitor sudah dilepas dari

¹⁹ Refdinal Nazir, Teori & Aplikasi Motor dan Generator Induksi, Edisi ke-1. (Bandung: ITB Press, 2017), 180



rangkaian Diagram fasor arus dan tegangan dari motor induksi kapasitor sturing - running diperlihatkan pada Gambar 2.23 .²⁰



Gambar 2.22 Skema motor induksi kapasitor starting-running

Motor kapasitor permanen mempunyai beberapa keuntungan:

- Getarannya kecil dan berputar merata, karena kumparan pembantu terus-menerus bekerja, maka terdapat gaya gerak putar yang merata pada tiap putaran, sehingga fungsinya seperti motor dua fase.
- Faktor kerja lebih baik dan efisiensi kerja lebih besar.
- Tidak memakai start capacitor dan start relai, maka hubungan kabel-kabelnya sederhana dan harganya murah.²¹

2) Motor Listrik 1 Fasa Shaded Pole²²

Motor shaded pole memiliki konstruksi yang sangat sederhana, pada kedua ujung stator (keren) terdapat dua kawat yang terpasang berfungsi sebagai kumparan. Pada shaded pole kumparan berbentuk seperti kumparan transformator, yaitu kumparan yang mengumpul. Sementara itu, rotornya berbentuk sangkar tupai dan porosnya

²⁰ Refdinal Nazir, Teori & Aplikasi Motor dan Generator Induksi, Edisi ke-1. (Bandung: ITB Press, 2017), 181

²¹ Refdinal Nazir, Teori & Aplikasi Motor dan Generator Induksi, Edisi ke-1. (Bandung: ITB Press, 2017), 182

²² I Nyoman Bagia, I Made Parsia, Motor-Motor Listrik, Edisi ke-1. (Kupang: Rasibook, 2018), 49



ditempatkan pada rumah stator. Putaran pada motor shaded pole dihasilkan dari dua kawat yang dialiri daya magnet pada kumparan. Kelebihan motor shaded pole ini adalah sangat irit dan sangat awet. Karena itu motor ini biasanya digunakan pada peralatan yang biasa dipakai lama misalnya pada kipas angin. Namun motor ini tidak memiliki cukup kekuatan jadi tidak cocok digunakan untuk pekerjaan industry



Gambar 2.23 Motor Shaded Pole

3) Motor Listrik 1 fasa Universal

Motor universal merupakan motor listrik dengan dua tenaga sekaligus. Pertama tenaga yang dihasilkan dari kumparan stator dan kedua dari rotor yang juga dilengkapi dengan kumparan. Motor listrik jenis ini adalah motor listrik yang memiliki kekuatan paling besar dengan kecepatan paling tinggi namun dengan daya yang lebih besar pula.



Gambar 2.24 Motor Listrik 1 fasa Universal

2.7.3 Prinsip kerja motor AC



Motor arus bolak-balik (Motor AC) ialah suatu mesin yang berfungsi mengubah tenaga listrik arus bolak-balik (Listrik AC) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik berupa putaran daripada rotor. Motor AC adalah sebuah motor listrik yang digerakkan oleh Alternating Current atau arus bolak balik (AC). Umumnya, motor AC terdiri dari dua komponen utama yaitu stator dan rotor. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada motor DC, stator adalah bagian yang diam dan letaknya berada di luar. Stator mempunyai coil yang di aliri oleh arus listrik bolak balik dan nantinya akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Bagian yang kedua yaitu rotor. Rotor adalah bagian yang berputar dan letaknya berada di dalam (di sebelah dalam stator). Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros dimana torsi tersebut dihasilkan oleh medan magnet yang berputar. Motor listrik arus bolak-balik dapat dibedakan atas beberapa jenis, Seper pada motor DC pada motor AC, arus dilewatkan melalui kumparan, menghasilkan torsi pada kumparan. Sejak saat itu bolak, motor akan berjalan lancar hanya pada frekuensi gelombang sinus. Hal ini disebut motor sinkron. Lebih umum adalah motor induksi, di mana arus listrik induksi dalam kumparan berputar daripada yang diberikan kepada mereka secara langsung.²³

2.8 Pengertian Daya²⁴

Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bola-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya biasa terjadi arus negatif dan tegangan positif.

Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

²³ I Nyoman Bagia, I Made Parsia, Motor-Motor Listrik, Edisi ke-1. (Kupang: Rasibook, 2018), 29

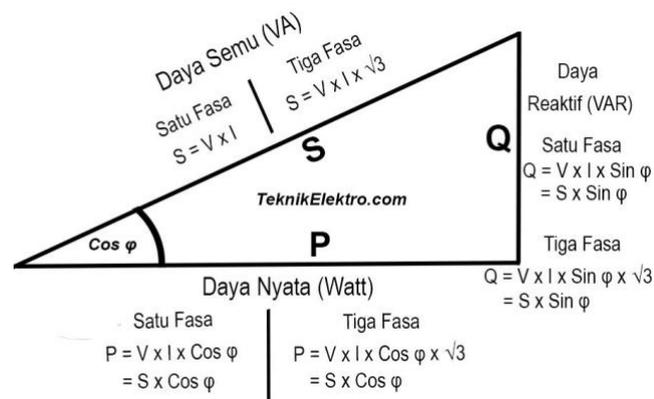
²⁴ "Memahami Segitiga Daya, Memahami Segitiga Daya (15 Juni 2020)

<https://www.teknikelektro.com/2020/06/memahami-segitiga-daya.html>



1. Daya aktif (P) adalah daya yang diubah menjadi energy, persatuan waktu atau dengan kata lain adalah daya yang benar - benar terpakai yang dihasilkan oleh komponen resistif , satuannya adaah Watt (W)
2. Daya reaktif (Q) adalah daya yang ditimbulkan oleh komponen reaktansi Daya reaktif ditentukan dari reaktansi yang menimbulkannya, dapat berupa reaktansi induktif (X) dan reaktasi kapasitif (X), satuannya adalah Volt Ampere Reaktif (VAR)
3. Daya semu (S) adalah jumlah secara vektoris daya aktif dan daya reaktif yang memiliki satuan Volt Ampere (VA).

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya berikut ini:



Gambar 2.25 Segitiga daya

Rumus Segitiga Daya

Pada listrik satu fasa:

- 1) $P = V \times I \times \cos \phi$ (2.4)
- 2) $S = V \times I$ (2.5)
- 3) $Q = V \times I \times \sin \phi$(2.6)

Pada listrik tiga fasa:

- 1) $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$ (2.7)
- 2) $S = V \times I \times \sqrt{3}$ (2.8)
- 3) $Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3}$ (2.9)



2.8.1 Daya motor

Perhitungan daya pada Motor AC adalah daya konsumsi dari motor listrik yang melibatkan arus konsumsi motor listrik dan tegangan. Maka secara teoritis adalah sebagai berikut:

$$\text{Daya} = \text{Arus} \times \text{Tegangan}$$

Maka kita dapatkan Rumus untuk Daya adalah:

$$P = I \times V$$

Dimana: P = Daya (Watt)

I = Kuat Arus (A)

V = Voltase (V)

Untuk mendapatkan nilai daya, ada 2 variabel yang diperlukan yaitu:

1. Tegangan Listrik (Voltase)

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik, dan dinyatakan dalam satuan volt. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor listrik.

2. Arus Listrik

Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu, dalam Satuan Internasional memiliki lambang I dan disebutkan dalam satuan Amper. konsep yang harus kita pegang tentang arus listrik adalah Arus mengalir sesuai kebutuhan beban. Semakin beban meminta besar maka arus yang mengalir semakin besar, begitupula sebaliknya. Linieritas dari hal itu maka ukuran kabel sangat erat kaitannya dengan besarnya Amper yang mengalir.

2.8.2 Rugi-rugi pada motor induksi

Motor-motor listrik adalah suatu alat untuk mengkonversikan energi listrik menjadi energi mekanis. Keadaan ideal dalam sistem konversi energi, yaitu mempunyai daya output tepat sama dengan daya input yang dapat dikatakan efisiensi 100 %. Tetapi pada keadaan yang sebenarnya, tentu ada kerugian energi yang menyebabkan efisiensi dibawah 100 % Dalam sistem konversi energi



elektromekanik yakni dalam operasi motor-motor listrik terutama pada motor induksi, total daya yang diterima sama dengan daya yang diberikan, ditambah dengan kerugian daya yang terjadi, atau :

$$P_{out} = P_{in} - Prugi - rugi \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana

P_{in} : Total daya yang diterima motor

P_{out} : Daya yang diterima motor untuk melakukan kerja

$Prugi-rugi$: Total kerugian daya yang dihasilkan oleh motor

Motor listrik tidak pernah mengkonversikan semua daya yang diterima menjadi daya mekanik, tetapi selalu timbul kerugian daya yang semuanya berubah menjadi energi panas yang terbuang. Untuk itu perlu diketahui kerugian daya apa saja yang timbul selama motor beroperasi.

1. Belitan dalam motor yang dinamakan rugi-rugi listrik (rugi-rugi belitan).
2. Kerugian daya yang timbul langsung arena putaran motor, yang dinamakan rugi-rugi rotasi. Rugi - rugi rotasi ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu:
 - a. Rugi - rugi mekanis akibat putaran.
 - b. Rugi - rugi inti besi akibat kecepatan putaran dan fluks medan.

2.8.3 Rugi-rugi inti

Rugi-rugi inti rangkaian terbuka terdiri atas rugi-rugi histeris dan arus edy yang timbul dari perubahan kerapatan fluks pada besi mesin dengan hanya lilitan peneral utama yang diberi tenaga. Pada mesin DC dan mesin serempak, rugi-rugi ini terutama dialami oleh besi armatur, meskipun pembentukan pulsa fluks yang berasal dari mulut celah akan menyebabkan rugi-rugi pada besi medan juga, terutama pada sepatu kutub atau permukaan besi medan. Pada mesin induksi rugi-rugi terdapat terutama pada besi strator. Rugi-rugi inti rangkaian terbuka dapat diperoleh dengan mengukur masukkan pada mesin pada saat bekerja tanpa beban pada kecepatan ukuran atau frekuensi ukuran dan dengan fluks atau tegangan yang



semestinya dan kemudian mengurangi rugi-rugi perlilitan dan gesekan dan jika mesin tersebut bekerja sendiri selama dites, rugi-rugi FR armature tanpa beban (rugi-rugi FR stator tanpa beban pada motor induksi). Timbulnya rugi-rugi inti, ketika besi jangkar atau struktur rotor mengalami perubahan fluks terhadap waktu. Rugi rugi ini tidak tergantung pada beban, tetapi merupakan fungsi daripada fluks dan kecepatan motor. Pada umumnya rugi-rugi inti berkisar antara 20-25 % dari total kerugian daya motor pada keadaan nominal.

2.8.4 Rugi-rugi mekanik

Rugi-rugi mekanik dan angin adalah energi mekanik yang dipakai dalam motor listrik untuk menanggulangi gesekan bantalan poros, gesekan sikat melawan komutator atau slip ring, gesekan dari bagian yang berputar terhadap angin, terutama pada daun kipa pendingin. Kerugian energi ini selalu berubah menjadi panas seperti pada semua rugi-rugi lainnya. Rugi-rugi mekanik dianggap konstan dari beban nol hingga beban penuh, dan ini adalah masuk akal tetapi tidak sepenuhnya tepat seperti halnya pada rugi-rugi inti. Macam-macam ketidaktepatan ini dapat dihitung dalam rugi-rugi stray load. Rugi-rugi mekanik biasanya berkisar antara 5-8 % dari total rugi-rugi daya motor pada keadaan beban nominal.

2.8.5 Rugi-rugi belitan

Rugi rugi belitan sering disebut rugi rugi tembaga tetapi pada saat sekarang sudah tidak begitu banyak motor listrik, terutama motor ukuran sangat kecil diatas 750 W, mempunyai belitan stator dari kawat alumunium yang lebih tepat disebut rugi rugi $I^2.R$ yang menunjukkan besarnya daya yang berubah menjadi panas oleh tahanan dari konduktor tembaga atau alumunum. Total kerugian $I^2.R$ adalah jumlah dari rugi-rugi IR primer (stator) dan rugi-rugi R sekunder (rotor) rugi-rugi $I^2.R$ dalam belitan sebenarnya tidak hanya tergantung pada arus, tetapi juga pada tahanan belitan dibawah kondisi operasi. Sedang tahanan efektif dan belitam selalu berubah dengan perubahan temperatur, skan effect dan sebagainya . Sangat sulit untuk memetukan nia yang sebenarnya dari tahan belitan dapat dimasukan kedalam kerugian stray load. Pada umumnys rugi-rugi belitan ini berkisar antara 55-60 % dari total kerugian motor pada keadaan beban nominal ²

$$\text{Prugi-rugi} = I^2.R \dots \dots \dots (2.11)$$



2.8.6 Torsi motor

Untuk menentukan besarnya daya poros motor maka perlu diketahui besarnya torsi yang terjadi pada motor.²⁵

$$T = F \times r \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana jari-jari (r) pulley adalah 3,5 cm = 0,035 m

2.8.7 Daya poros motor

Daya output motor didefinisikan sebagai perkalian antara torsi dengan putaran poros motor.

$$P_m = T \times \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$P_{out} = P_m - P_{f+w} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

P_m = Daya mekanik motor (W)

P_{out} = Daya keluaran bersih (W)

T = Torsi (Nm)

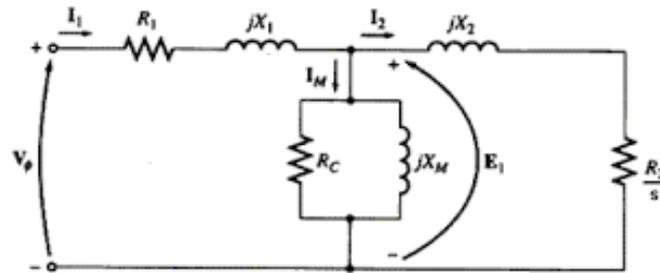
N = Putaran motor (rpm)

P_{f+w} = Rugi Angin dan geseran (W)

2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Konsep medan putar ganda pada motor induksi satu fasa menjelaskan bahwa fluks yang dihasilkan ekuivalen dengan dua buah fluks yang mempunyai besar yang sama dan berputar dalam arah yang berlawanan pada kecepatan sinkron. Masing-masing fluks ini akan mengimbaskan komponen arus rotor dan menghasilkan gerak motor induksi seperti pada motor induksi fasa banyak. Hal yang sederhana dan penting bahwa motor induksi ini hanya beroperasi pada kumparan utama.

²⁵ Ermawati, Abdul Halim, "Analisa Efisiensi Motor Kapasitor Sebagai Penggerak Alat Uji Rugi-Rugi Aliran Fluida" Volume 5 nomor 1, no. 23. (2019)



Gambar 2.26 Rangkaian Ekivalen Motor Induksi

Keterangan :

V_ϕ = Tegangan sumber perfasa pada kumparan stator

R_1 = Resistansi kumparan stator

jX_1 = Reaktansi Induktif kumparan stator

R_c = Tahanan Inti Besi

R_2 = Resistansi kumparan rotor dilihat dari sisi stator

jX_2 = Reaktansi Induktir rotor dilihat dari sisi stator

jX_m = Reaktansi magnet pada Motor

I_1 = Arus kumparan stator

I_2 = Arus pada kumparan rotor dilihat dari sisi stator saat motor distart.

2.10 Efisiensi

Efisiensi motor listrik sangat diinginkan agar nilai efisiensinya besar, pada saat kenaikan beban efisiensi motor juga akan baik dan akan menurun kembali pada pembebanan yang lebih besar. Efisiensi yang baik diperoleh dengan penggunaan baja laminasi seperti yang ada pada inti stator motor listrik. Nilai



efisiensi suatu motor listrik dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :²⁶

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Dimana:

η : Efisiensi (%)

P_{out} : Daya keluaran (Watt)

P_{in} : Daya masukan (Watt)

Karena efisiensi biasanya dinyatakan dalam persen, maka rumusan umum yang digunakan adalah:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

Faktor - faktor yang memengaruhi efisiensi adalah :

1. Usia. Motor baru lebih efisien.
2. Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
3. Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Jenis rotor. Sebagai contoh, bahwa motor dengan rotor sangkar biasanya lebih efisien daripada motor dengan rotor belitan / cincin geser.
5. Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor screen protected drip - proof SPDP).
6. Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.
7. Beban. Motor akan mempunyai efisiensi yang berbeda dengan beban yang berbeda pula.

Efisiensi motor ini ditentukan oleh rugi - rugi atau kehilangan dasar yang hanya dapat dikurangi oleh perubahan pada rancangan dasar motor dan kondisi sistem operasi . Rugi - rugi ini dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga

²⁶ Zuriman Anthony, Mesin Listrik Arus Bolak-Balik, Edisi Revisi. (Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2019), 122



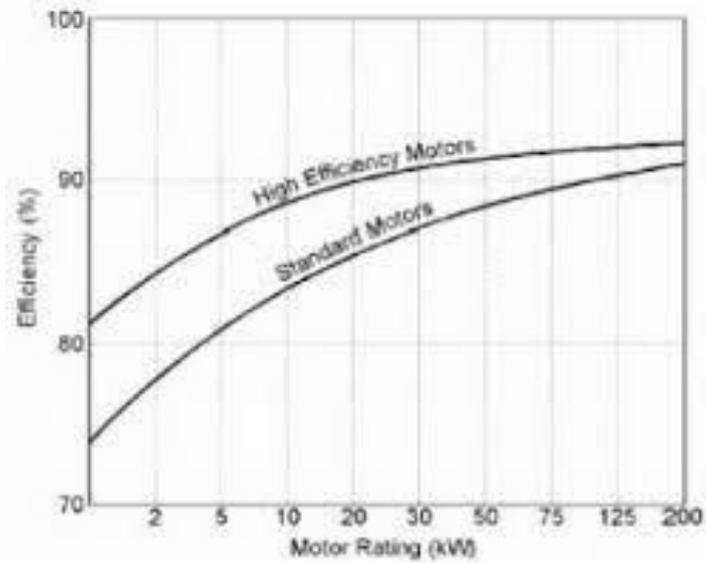
20 persen . **Tabel 2.1** memperlihatkan jenis rugi - rugi atau kehilangan pada motor induksi .

Tabel 2.1 Jenis rugi-rugi pada motor induksi²⁷

| Jenis Rugi-Rugi | Persentase Rugi-Rugi Total % |
|---|-------------------------------------|
| Rugi-rugi tetap atau rugi-rugi inti | 25 |
| Rugi-rugi variable: Rugi-rugi pada stator | 34 |
| Rugi-rugi variable: Rugi-rugi pada rotor | 21 |
| Rugi-rugi gesekan & penggulungan ulang | 15 |
| Rugi-rugi beban yang menyimpang | 5 |

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100 % dan akan paling efisien pada beban antara 80 % sampai dengan 85 %. Namun, jika beban turun di bawah 50 % efisiensi turun dengan cepat. Mengoperasikan motor di bawah laju beban 50 % memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor. Bentuk perbandingan karakteristik antara motor induksi yang berefisiensi tinggi dengan motor standar.

²⁷ Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, Edisi Revisi. (Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2019), 123



Gambar 2.27 Perbandingan antara motor yang berefisiensi tinggi dengan motor standard²⁸

²⁸ Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, Edisi Revisi. (Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2019), 124