



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Induksi¹

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke statornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fasa dan 1 fasa. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan banyak digunakan didalam berbagai bidang industry dengan kapasitas yang besar. Motor induksi 1 fasa diooperasikan pada system tenaga 1 fasa dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi 1 fasa mempunyai daya keluaran yang rendah.

Motor induksi banyak digunakan dikalangan industri ini berkaitan dengan beberapa keuntungan dan kerugian.²

Keuntungan :

1. Sangat sederhana dan daya tahan kuat (konstruksinya hampir tidak pernah terjadi kerusakan, khususnya tipe squirrel cage).
2. Harga relative murah dan perawatan mudah.

¹ Bagia, Nyoman. dkk. 2018. motor listrik. Nusa Tenggara timur : CV Rasi terbit, Hal 34

² Rijono, Yon. 1997. dasar teknik tenaga listrik. Yogyakarta : Andi, Hal : 310



3. Efisiensi tinggi. Pada kondisi berputar normal, tidak dibutuhkan sikat karenanya rugi daya yang diakibatkannya dapat dikurangi.
4. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron

2.2.Klasifikasi Motor Induksi³

Motor induksi memiliki berbagai jenis yang dapat diklasifikasikan antara lain berdasarkan berdasarkan macam arus

2.2.1 Berdasarkan Macam Arus

Berdasarkan macam arus motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu :

1. Satu phasa

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fasa, memiliki sebuah rotor sangkar tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci dan pengering pakaian.

2. Tiga phasa

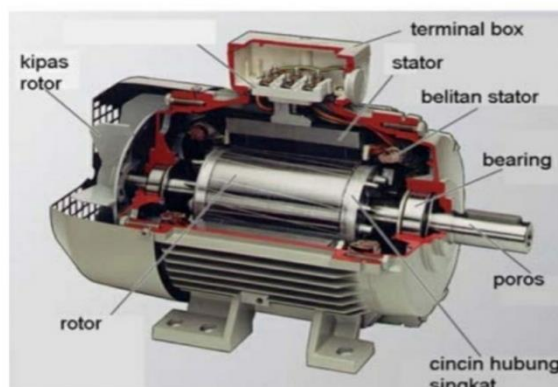
Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki sangkar tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor sangkar tupai) dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, *compressor*, *belt conveyor*, jaringan listrik dan *grinder*.

³ Rijono, Yon.1997.dasar teknik tenaga listrik. Yogyakarta : Andi, Hal : 310



2.3. Konstruksi Motor Induksi 3 fasa⁴

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Dapat di lihat pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1. Fisik Motor Induksi

Sumber : Buku Teknik Listrik Industri Jilid II, 2008.

Stator adalah bagian motor yang diam yang terdiri dari badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar dan poros rotor. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan stator, karena dalam motor induksi tidak ada komutator dan sikat arang, selain itu juga konstruksi motor induksi lebih sederhana di bandingkan dengan motor DC, dikarenakan tidak ada komutator dan sikat arang sehingga pemeliharaan motor induksi sangat mudah yaitu di bagian mekanik nya saja, dan konstruksinya juga begitu sederhana serta motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu di pelihara rutin adalah pelumas bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box apabila terjadi kondor atau lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

⁴ Siswoyo, Teknik Listrik Industri (Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008). Hal. 5-7.



2.3.1. Stator⁵

Pada bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga fasa yang disebut kumparan stator, yang masing-masing kumparan mendapatkan suplai arus tiga fasa. Stator terdiri dari pelat-pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur-alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Lalu akan timbul flux medan putar, karena adanya flux medan putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar sinkron dengan kecepatan putar stator.

Dari bagian stator dapat dibagi menjadi beberapa bagian antara lain sebagai berikut :

1. Bodi Motor (Frame)

Fungsi utama dari rangka adalah sebagai tempat mengalirnya fluks magnet, karena itu rangka mesin di buat dari bahan ferromagnetik. Selain itu rangka berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Mesin – mesin yang kecil di buat dari besi tuang, sedangkan mesin-mesin yang besar rangkanya di buat dari plat campuran baja yang berbentuk silinder.

2. Inti kutub magnet dan lilitan penguat magnet

Fluks magnet yang terdapat pada mesin motor listrik dihasilkan oleh kutub kutub magnet. Kutub magnet diberi lilitan penguat magnet yang berfungsi untuk tempat aliran arus listrik supaya terjadi proses elektromagnetisme. Pada dasarnya kutub magnet terdiri dari magnet dan sepatu kutub magnet. Karena kutub magnet berfungsi menghasilkan fluks magnet, maka kutub magnet di buat dari bahan ferromagnetik, misalnya campuran baja-silikon. Di samping itu kutub magnet di buat dari bahan berlapis-lapis tipis untuk mengurangi panas karena adanya arus pusar yang terbentuk pada kutub magnet tersebut.

3. Sikat komutator

⁵ Zuhail.1991.Dasar Tenaga Listrik, Jakarta.ITB. Hal : 84



Fungsi dari sikat adalah sebagai sebagai penghubung untuk aliran arus dari lilitan jangkar ke terminal luar (generator) ke lilitan jangkar (Motor). Karena itu sikat sikat di buat dari bahan konduktor. Di samping itu sikat juga berfungsi untuk terjadinya komutasi bersamaan dengan komutator, bahan sikat harus lebih lunak dari komutator. Supaya hubungan/kontak antara sikat sikat yang diam dengan komutator yang berputar dapat sebaik mungkin, maka sikat memerlukan alat pemegang dan penekan berupa per/pegas yang dapat di atur KomutatorSeperti diketahui komutator berfungsi sebagai alat penyearah mekanik, yang ber-sama-sama dengan sikat membentuk suatu kerjasama yang disebut komutasi. Supaya menghasilkan penyearah yang lebih baik, maka komutator yang digunakan jumlahnya banyak. Karena itu tiap belahan/segmen komutator tidak lagi merupakan bentuk sebagian silinder, tetapi sudah berbentuk lempeng- lempeng. Diantara setiap lempeng/ segmen komutator terdapat bahan isolator. Isolator yang digunakan menentukan kelas dari mesin berdasarkan kemampuan suhu yang timbul dalam mesin tersebut.

4. Jangkar

Jangkar yang umum digunakan dalam mesin arus searah adalah yang berbentuk silinder, yang diberi alur pada bagian permukaannya untuk melilitkan kumparan-kumparan tempat terbentuknya Ggl imbas. Jangkar dibuat dari bahan yang kuat yang mempunyai sifat ferromagnetik dengan permeabilitas yang cukup besar, dengan maksud agar kumparan lilitan jangkar terletak dalam daerah yang imbas magnetnya besar sehingga ggl yang terbentuk dapat bertambah besar.

2.3.2. Rotor

Berdasarkan hukum faraday tentang imbas magnet, maka medan putar yang secara relative merupakan medan magnet yang bergerak terhadap penghantar rotor akan mengimbaskan gaya gerak listrik (ggl). Frekuensi imbas ggl ini sama dengan frekuensi jala-jala (sumber). Besarnya ggl imbas ini berbanding lurus dengan kecepatan relative antara medan putar dan penghantar rotor. Penghantar –penghantar dalam rotor yang membentuk suatu rangkaian tertutup, merupakan rangkaian pelaju



arus rotor dan searah dengan hukum yang berlaku yaitu hukum lenz. Dalam hal ini arus rotor ditimbulkan karena adanya perbedaan kecepatan yang berada diantara fluksi atau medan putar stator dengan penghantar yang diam. Rotor akan berputar dalam arah yang sama dengan arah medan putar stator.

Motor induksi bila ditinjau dari dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu motor rotor sangkar dan motor rotor lilit.

1. Motor Rotor Sangkar⁶

Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan dari pada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang- batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, alloy atau alumunium. Ujung- ujung batang penghantar dihubung singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung seperti terlihat pada gambar 2.2. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut dengan Motor Induksi Rotor Sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubung singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.



Gambar 2.2. Rotor Sangkar

Sumber : Buku Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3,2008.

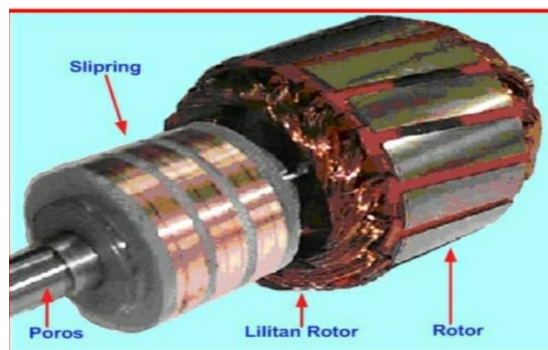
⁶ Sumardjati, prih.dkk.2008.Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik.Jakarta : Direktorat Pembinaan SMK Departemen Pendidikan Nasional. Hal : 409



2. Motor Rotor Lilit.⁷

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan kedalam alur-alur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor seperti terlihat pada gambar 2.3.

Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubung singkat. Motor Induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.



Gambar 2.3. Motor Rotor Lilit

Sumber : Buku Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3,2008.

2.4.Prinsip Kerja Motor Induksi⁸

Pada dasarnya ada beberapa prinsip penting pada motor - motor induksi yaitu:

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah medan putar dengan kecepatan.

⁷ Sumardjati, prih.dkk.2008.Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik.Jakarta : Direktorat Pembinaan SMK Departemen Pendidikan Nasional. Hal : 410

⁸ Zuhail.2000.Dasar Teknik Tenaga Listrik.Jakarta.Gramedia Pustaka Utama. Hal : 105 dan 106



2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul induksi (ggl) sebesar :

$$E_2 = 4,44. f_2 .N_2. \phi_m \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

E_2 = Tegangan Induksi

f_2 = frekuensi jala-jala

N_2 = banyaknya lilitan

ϕ_m = fluks magnet

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet menimbulkan gaya (F) pada motor.
6. Bila torsi mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Tegangan magnet induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan berputar rotor (N_r).
8. Perbedaan kecepatan antara N_r dan N_s disebut slip (s) dinyatakan dengan

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)^9$$

Dimana : S = Slip motor (%)

N_s = Medan putar stator (Rpm)

⁹ Zuhail.2000.Dasar Teknik Tenaga Listrik.Jakarta.Gramedia Pustaka Utama. Hal : 105 dan 106



$$N_r = \text{Medan putar rotor (Rpm)}$$

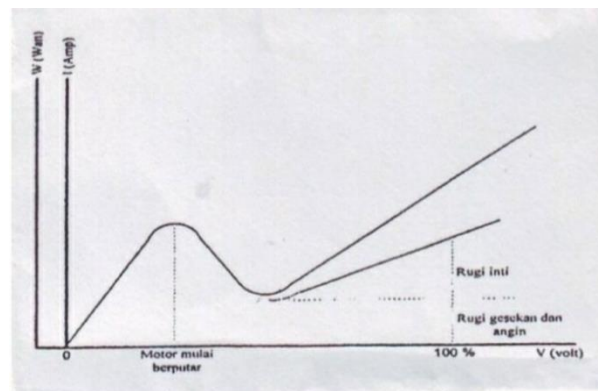
9. Bila $N_r = N_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila N_r lebih kecil dari N_s .
10. Dilihat dari cara kerjanya maka motor tak serempak disebut juga motor induksi atau motor asinkron.

2.5. Karakteristik Motor Induksi

Secara umum motor induksi yang baik mempunyai standar bentuk karakteristik tertentu. Tiap-tiap motor mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Dibawah ini disebutkan beberapa karakteristik yang menggambarkan hubungan antara suatu parameter dan mesin yang lain, yaitu

1. Karakteristik Beban Nol

Karakteristik beban nol adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan ke motor dengan arus daya $\cos \phi$ motor pada keadaan tanpa beban, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4, jadi putaran mendekati sinkron atau sama.

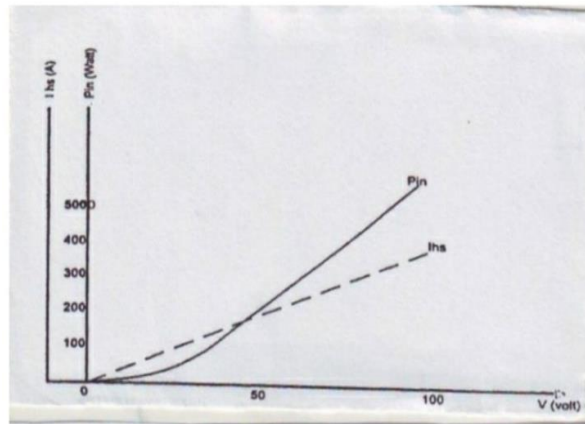


Gambar 2.4. Karakteristik Beban Nol



2. Karakteristik Rotor yang diblok

Karakteristik motor yang diblok adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara tegangan masuk dan arus yang masuk, $\cos \phi$, dan daya masuk. Seperti yang ditunjukkan pada (gambar 2.5.) Berikut ini.

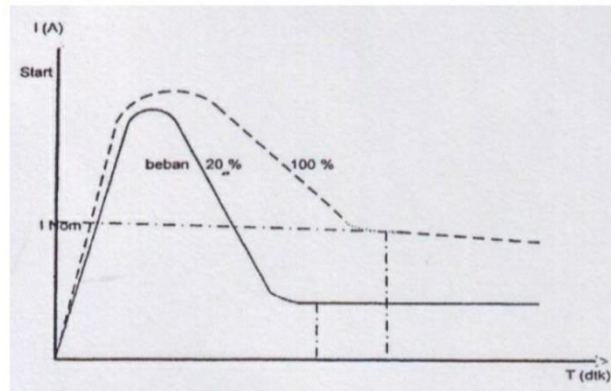


Gambar 2.5. Karakteristik Rotor yang diblok

3. Karakteristik Start

Karakteristik start ini dipakai untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan arus. Putaran untuk macam-macam beban pada tegangan masuk konstan. Dari (gambar 2.6.) dibawah berikut dapat dijelaskan bahwa:

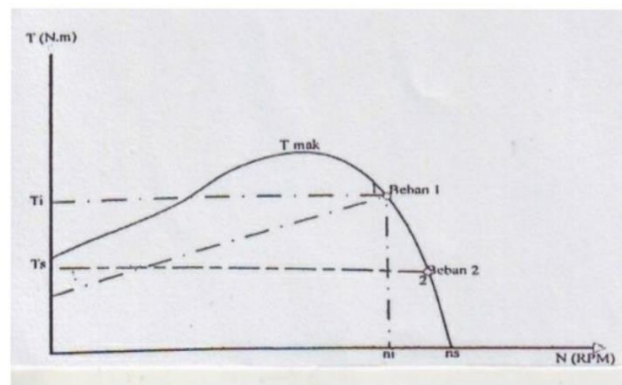
- Jika waktu start dari motor induksi makin lama, maka pemanas pada belitan akan lebih besar pula pada elemen pengaman. Hal ini akan berpengaruh terhadap lifetime dari motor.
- Arus akhir ke motor lebih tinggi.
- Putaran akhir motor akan lebih rendah.



Gambar. 2.6. Karakteristik start

4. Karakteristik Kopel dan Putaran

Daerah kerja motor terletak pada daerah perputaran mendekati n_s . Kopel lawan beban 1 dan 2 pada waktu start $< T_s$ maka motor dapat distart, masing-masing dengan titik kerja 1 (kopel kerja = T_1 dan putaran kerja n_1) dan titik kerja 2. Bila kopel lawan beban pada saat start $> T_s$ maka motor tidak dapat distart. Selama motor belum berputar, arus motor tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Karakteristik kopel dan putaran.



2.6. Cara – Cara Menentukan Rugi-Rugi Pada Motor¹⁰

Rugi – rugi motor listrik sebagian dapat ditemukan dengan cara konvensional yaitu dengan percobaan beban nol dan percobaan block rotor (hanya untuk motor arus bolak – balik). Percobaan beban nol dapat menentukan rugi – rugi rotasi motor. Pada keadaan beban nol, seluruh daya listrik input motor digunakan untuk mengatasi rugi – rugi inti dan rugi – rugi mekanik.

Rugi – rugi listrik motor dapat ditentukan yaitu pada tahanan DC, tahanan belitan dapat langsung diukur pada terminal belitan jangkar dan belitan penguat secara pengukuran DC, yaitu dengan mengukur tegangan dan arus dengan sumber DC pada belitan tersebut, atau dengan menggunakan ohm meter (jembatan wheatstone).

Pada motor AC, tahanan equivalen motor dapat ditentukan dengan percobaan block rotor (hubungan singkat), dimana pada keadaan ini rangkaian equivalen motor adalah sama dengan rangkaian equivalen hubung singkat dari suatu transformator. Jadi daya pada keadaan ini merupakan rugi – rugi tahanan atau belitan dan pada keadaan ini rugi – rugi inti dapat diabaikan karena tegangan hubung singkat relatif kecil dibandingkan dengan tegangan nominalnya.

Rugi – rugi stray load adalah rugi – rugi yang paling sulit ditukur dan berubah terhadap beban motor. Rugi – rugi ini ditentukan sebagai rugi – rugi sisa (rugi – rugi pengujian dikurangi rugi – rugi konvensional). Rugi – rugi pengujian adalah daya input dikurangi daya output. Rugi – rugi konvensional adalah jumlah dari rugi – rugi inti, rugi – rugi mekanik, rugi – rugi belitan. Rugi-rugi stray load juga dapat ditentukan dengan anggapan kira-kira 1% dari daya output dengan kapasitas daya 150 KW atau lebih. Dan untuk motor-motor yang lebih kecil dari itu dapat diabaikan.

¹⁰ Lister, Eugene. 1998. Mesin Dan Rangkaian listrik, Edisi keenam, Jakarta : Erlangga. Hal : 227



2.7. 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 elektro mekanik 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 :

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi-rugi} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana

P_{in} : Total daya yang diterima motor

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

$P_{rugi-rugi}$: 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.

1. 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 I^2R armature tanpa beban (rugi-rugi I^2R 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. Rugi - rugi mekanik

Rugi-rugi gesekan 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.

3. 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 alumunium. Total kerugian $I^2 R$ adalah jumlah dari rugi - rugi $I^2 R$ primer (stator) dan rugi - rugi $I^2 R$ 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 dari belitan selalu berubah dengan perubahan temperatur, *skin effect* dan sebagainya. Sangat sulit untuk menentukan nilai yang sebenarnya dari tahanan belitan dapat dimasukan kedalam kerugian *stray load*. Pada umumnya rugi - rugi belitan ini berkisar antara 55 - 60% dari total kerugian motor pada keadaan beban nominal.

$$P_{\text{rugi-rugi}} = I^2 \cdot R \dots \dots \dots (2.4)$$

4. Rugi - rugi stray load

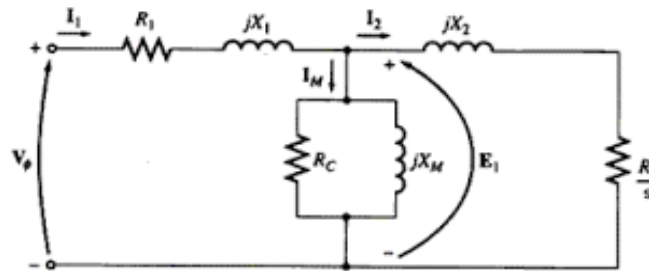
Kita telah banyak melihat bahwa beberapa macam kerugian selalu dianggap konstan dari keadaan beban nol hingga beban penuh walaupun kita tahu bahwa rugi - rugi tersebut sebenarnya berubah, secara kecil terhadap beban. Sebagai tambahan, kita tidak dapat menghitung berapa besar kerugian ini seperti yang diakibatkan oleh perubahan *fluks* terhadap beban, geometri konduktor sehingga arus terbagi sedikit tidak merata dalam konduktor bertambah, mengakibatkan pertambahan tahanan konduktor dan karena itu rugi - rugi konduktor harus bertambah. Dari semua kerugian yang relatif kecil ini, baik dari sumber yang ketahu maupun yang tidak diketahui, disatukan menjadi rugi - rugi *stray load* yang cenderung bertambah besar apabila



beban meningkat (berbanding kuadrat dengan arus beban). Pada mesin DC, rugi-rugi ini masih dapat disebabkan oleh faktor reaksi jangkar, dan arus hubung singkat dalam kumparan pada saat terjadi peristiwa komutasi. Kerugian *stray load* ini sangat sukit ditentukan. Pada umumnya kerugian ini berkisar antara 11-14 % dari total kerugian daya motor pada keadaan beban nol.

2.8. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi¹¹

Prinsip kerja motor induksi sama dengan prinsip kerja transformator, yaitu berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Oleh karena itu, motor induksi dapat dianggap sebagai trafo dengan kumparan sekunder yang berputar. Dengan demikian motor induksi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.8. Rangkaian Ekuivalen Motor induksi.

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 Induktif rotor dilihat dari sisi stator

¹¹ Rijono, Yon.1997.dasar teknik tenaga listrik. Yogyakarta : Andi, Hal : 336



jX_m = Reaktansi magnet pada Motor

I_1 = Arus kumparan stator

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

2.9. Pengertian Daya ¹²

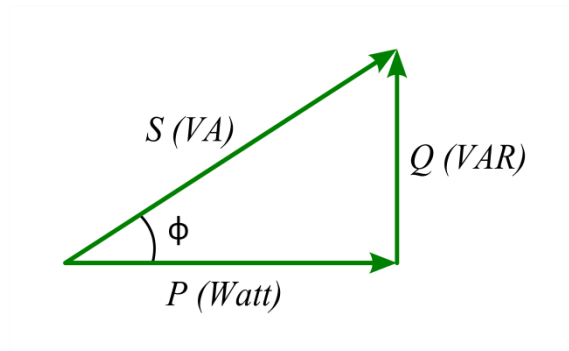
Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak 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 :

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 adalah 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_L) dan reaktansi kapasitif (X_C) , 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 :

¹² Cekdin, Taufik.2013.Transmisi Daya Listrik.Yogyakarta.Hal : 16



Gambar 2.9. Segitiga daya

$$P = V.I. \cos\phi \dots\dots\dots(2.5)^{13}$$

$$S = V.I. \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Q = V. I. \sin\phi \dots\dots\dots(2.7)$$

Untuk daya tiga phasa rumus daya aktif, daya reaktif, dan daya semu adalah seperti dibawah ini.¹⁴

$$P = \sqrt{3}. V_l. I_l. \cos\phi \dots\dots\dots(2.8)$$

$$S = \sqrt{3}. V_l. I_l. \sin \phi \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q = \sqrt{3}. V_l. I_l \dots\dots\dots(2.10)$$

¹³ Cekdin, Taufik.2013.Transmisi Daya Listrik.Yogyakarta.Hal : 18

¹⁴ Cekdin, Taufik.2013.Transmisi Daya Listrik.Yogyakarta.Hal : 37



2.10. Sifat – Sifat Beban Listrik¹⁵

Dalam sistem arus bolak-balik arus dapat berbeda dengan tegangan yang disebabkan oleh jenis bebannya. Harga arus yang mengalir dalam rangkaian untuk suatu tegangan tertentu yang diberikan seluruhnya ditentukan oleh tahanan rangkaian. Harga arus bolak-balik yang mengalir dalam rangkaian tidak hanya bergantung pada rangkaian tetapi juga bergantung pada induktansi dan kapasitansi rangkaian. Tahanan memberikan jenis perlawanan yang sama terhadap aliran arus bolak-balik terhadap arus searah.

Pada motor induksi terjadi perubahan energy listrik menjadi energy mekanik dalam bentuk putaran rotor. Pada motor induksi daya mekanik yang dihasilkan digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan yang diinginkan.

Daya pada motor listrik dapat dihitung menggunakan perhitungan perfasa maupun perhitungan tiga fasa dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{1\phi} = V_P \cdot I_P \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.12)$$

Atau,

$$P_{3\phi} = 3 \cdot P_1 \dots\dots\dots(2.13)$$

$$P_{3\phi} = 3 \cdot V_P \cdot I_P \cdot \cos\phi \dots\dots\dots(2.14)$$

Harga tegangan phasa (V_P) adalah:

Dimana;

$$V_P = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots(2.15)$$

¹⁵ Linsley, Trevor. 2004. Instalasi Listrik Tingkat Lanjut. Jakarta, Hal :



Dengan mensubstitusi persamaan 2.13 ke persamaan 2.14 maka diperoleh rumus sebagai berikut:

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

$P_{1\phi}$ = daya pada 1 fasa (watt)

$P_{3\phi}$ = daya pada 3 fasa (watt)

V_P = tegangan per fasa (volt)

V_L = tegangan line to line (volt)

I = arus line (ampere)

\cos = faktor daya

2.11. Efisiensi¹⁶

Di dalam setiap mesin daya keluaran yang tersedia adalah lebih rendah dari pada daya masukannya karena terjadinya rugi - rugi didalam mesin bersangkutan. Rugi - rugi ini dapat terjadi karena adanya gesekan pada bantalan, tahanan udara dari bagian - bagian mesin yang bergerak, panas ataupun getaran.

Perbandingan dari besarnya daya keluaran terhadap daya yang dikenal sebagai efisiensi mesin yang disimbolkan dengan huruf latin 'eta' atau jadi:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots \dots \dots (2.17)$$

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

¹⁶ Linsley, Trevor. 2004. Instalasi Listrik Tingkat Lanjut. Jakarta, Hal : 137



$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)

2.12 Pengaduk (agitator)¹⁷

Agitasi atau pengadukan adalah perlakuan dengan gerakan terinduksi terhadap suatu bahan di dalam bejana, gerakan tersebut biasanya mempunyai pola tertentu.

- a. Perputaran daun pengaduk
- b. Sirkulasi dengan pompa
- c. Menggelembungkan udara/gas dalam cairan

Agitator adalah sebuah bagian dari tangki yang berfungsi sebagai pengaduk. Prinsip kerja dari agitator ini sama seperti mixer pada umumnya yaitu mengaduk cairan produk dalam tangki dengan blade agitator sebagai pendorong produk yang akan diaduk. Untuk menunjang agar pembuatan agitator sesuai dengan prinsip kerjanya, maka dibutuhkan beberapa mesin pendukung untuk membuat bagian-bagian dari agitator tersebut, salah satunya adalah alat pemuntir blade agitator. Alat ini berfungsi untuk memuntirkan plate yang telah dipotong dengan bentukan tertentu sebesar 45° untuk dijadikan blade agitator. Alat pemuntir blade agitator terbuat dari

¹⁷ Syahreza.2014."agitator dan jenisnya". Tersedia di [https:// www.coursehero.com/ file/ 24458279/ 325003965- AGITATOR-DAN-JENISNYA-docxdocx/](https://www.coursehero.com/file/24458279/325003965-AGITATOR-DAN-JENISNYA-docxdocx/) .(online). Diakses pada tanggal 20 juni 2019



rangkaian mekanisme-mekanisme penggerak dan pencekam yang akan memuntirkan plat. Mekanisme ini terdiri dari motor, elemen transmisi sabuk dan puli, pencekam dan stopper

1. Pengaduk

Pemilihan pengaduk yang tepat menjadi salah satu faktor penting dalam menghasilkan proses dan pencampuran yang efektif. Pengaduk jenis baling-baling (propeller) dengan aliran aksial dan pengaduk jenis turbin dengan aliran radial menjadi pilihan yang lazim dalam pengadukan dan pencampuran.

2. Jenis-jenis Pengaduk

Secara umum, terdapat empat jenis pengaduk yang biasa digunakan, yaitu pengaduk baling-baling (*propeller*), pengaduk turbin (*turbine*), pengaduk dayung (*paddle*), dan pengaduk *helical ribbon*.

A. Pengaduk jenis baling-baling (*Propeller*)

Ada beberapa jenis pengaduk yang biasa digunakan, yaitu:

1. *Marine propeller*



Gambar 2.10 *Marine propeller*



2. *Hydrofoil propeller*



Gambar 2.11 *Hydrofoil propeller*

3. *High flow propeller*



Gambar 2.12 *high flow propeller*

Baling-baling ini digunakan pada kecepatan berkisar antara 400 hingga 1750 rpm (*revolutions per minute*) dan digunakan untuk cairan dengan viskositas rendah.

B. Pengaduk Dayung (*Paddle*)

Berbagai jenis pengaduk dayung biasanya digunakan pada kecepatan rendah diantaranya 20 hingga 200 rpm. Dayung datar berdaun dua atau empat biasa digunakan dalam sebuah proses pengadukan. Panjang total dari pengadukan dayung



biasanya 60 - 80% dari diameter tangki dan lebar dari daunnya $1/6$ - $1/10$ dari panjangnya. Beberapa jenis paddle yaitu:

1. *Paddle anchor*



Gambar 2.13 *Paddle anchor*

2. *Paddle flat beam – basic*



Gambar 2.14 *Paddle flat beam – basic*

3. *Paddle double – motion*



Gambar 2.15 *Paddle double – motion*

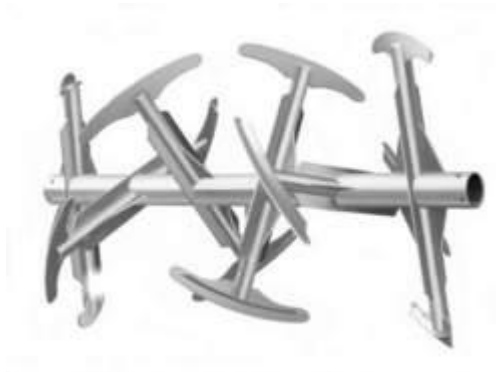


4. *Paddle gate*



Gambar 2.16 *Paddle gate*

5. *Multi paddle*



Gambar 2.17 *Multi paddle*

Pengaduk dayung menjadi tidak efektif untuk suspensi padatan, karena aliran radial bisa terbentuk namun aliran aksial dan vertikal menjadi kecil. Sebuah dayung jangkar atau pagar, yang terlihat pada gambar 6 biasa digunakan dalam pengadukan. Jenis ini menyapu dan mengeruk dinding tangki dan kadang-kadang bagian bawah tangki. Jenis ini digunakan pada cairan kental dimana endapan pada dinding dapat terbentuk dan juga digunakan untuk meningkatkan transfer panas dari dan ke dinding tangki. Bagaimanapun jenis ini adalah pencampuran yang buruk. Pengaduk dayung sering digunakan untuk proses pembuatan pasn kanji, cat, bahan perekat dan kosmetik.

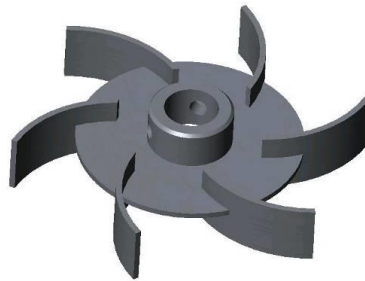


C. Pengaduk Turbin

Pengaduk turbin adalah pengaduk dayung yang memiliki banyak daun pengaduk dan berukuran lebih pendek, digunakan pada kecepatan tinggi untuk cairan dengan rentang kekentalan yang sangat luas. Diameter dari sebuah turbin biasanya antara 30 - 50% dari diameter tangki. Turbin biasanya memiliki empat atau enam daun pengaduk.

Turbin dengan daun yang datar memberikan aliran yang radial. Jenis ini juga berguna untuk dispersi gas yang baik, gas akan dialirkan dari bagian bawah pengaduk dan akan menuju ke bagian daun pengaduk lalu tepotong-potong menjadi gelembung gas. Beberapa jenis turbin yaitu:

1. *Turbine disc flat blade*



Gambar 2.18 *Turbine disc flat blade*

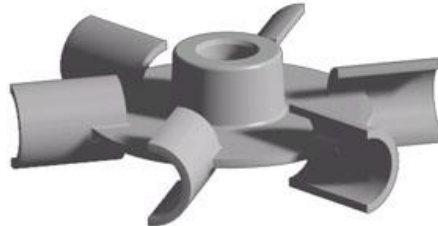
2. *Turbine hub mounted curved blade*



Gambar 2.19 *Turbine hub mounted curved blade*



3. *Turbine disc mounted curved blade*



Gambar 2.20 *Turbine disc mounted curved blade*

Pada turbin dengan daun yang dibuat miring sebesar 45° , seperti yang terlihat pada gambar macam-macam agitator, beberapa aliran aksial akan terbentuk sehingga sebuah kombinasi dari aliran aksial dan radial akan terbentuk. Jenis ini berguna dalam suspensi padatan kerana aliran langsung ke bawah dan akan menyapu padatan ke atas. Terkadang sebuah turbin dengan hanya empat daun miring digunakan dalam suspensi padat. Pengaduk dengan aliran aksial menghasilkan pergerakan fluida yang lebih besar dan pencampuran per satuan daya dan sangat berguna dalam suspensi padatan.

D. Pengaduk Helical-Ribbon

Jenis pengaduk ini digunakan pada larutan pada kekentalan yang tinggi dan beroperasi pada rpm yang rendah pada bagian laminar. Ribbon (bentuk seperti pita) dibentuk dalam sebuah bagian *helical* (bentuknya seperti baling-baling helikopter dan ditempelkan ke pusat sumbu pengaduk). Cairan bergerak dalam sebuah bagian aliran berliku-liku pada bagian bawah dan naik ke bagian atas pengaduk. Beberapa jenis pengaduk *helical-ribbon* yaitu:



1. *Ribbon impeller*



Gambar 2.21 *Ribbon impeller*

2. *Double Ribbon impeller*



Gambar 2.22 *Double Ribbon impeller*



Tabel 2.1 Kriteria Impeller

Tipe Impeller	Kecepatan Putaran	Dimensi	Keterangan
Paddle	20 - 150 rpm	diameter: 50-80% lebar bak lebar: 1/6-1/10 diameter paddle	
Turbine	10-150 rpm	diameter:30-50% lebar bak	
Propeller	400-1750 rpm	diameter: max. 45 cm	jumlah pitch 1-2 buah

3. Kecepatan Pengaduk

Salah satu variasi dasar dalam proses pengadukan dan pencampuran adalah kecepatan putaran pengaduk yang digunakan. Variasi kecepatan putaran pengaduk bisa memberikan gambaran mengenai pola aliran yang dihasilkan dan daya listrik yang dibutuhkan dalam proses pengadukan dan pencampuran. Secara umum klasifikasi kecepatan putaran pengaduk dibagi dua, yaitu : pengadukan cepat dan pengadukan lambat.

a. Pengadukan Cepat

Tujuan pengadukan cepat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan turbulensi air sehingga dapat mendispersikan bahan kimia yang akan dilarutkan dalam air. Secara umum, pengadukan cepat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan berkisar antara 100 hingga 1000 per detik selama 5 hingga 60 detik. Secara spesifik, nilai G dan td bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat.



Pengadukan cepat dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain:

1. Pengadukan mekanis
2. Pengadukan hidrolis
3. Pengadukan pneumatis

Pengadukan mekanis merupakan satu metoda yang paling umum digunakan untuk pengadukan cepat karena sangat efektif dan lebih fleksibel dalam operasi. Pengadukan mekanis yang sering digunakan dalam pengadukan cepat menggunakan ketiga macam impeller di atas.

Faktor penting dalam perancangan alat pengaduk mekanis adalah kedua parameter pengadukan, yaitu G dan td . Sekadar patokan, Tabel dapat digunakan dalam pemilihan nilai G dan td .

Tabel 2.2 Nilai Gradien Kecepatan dan Waktu Pengadukan

Waktu Pengadukan, td (detik)	Gradien Kecepatan (1/detik)
20	1000
30	900
40	790
50	700

Sumber: Reynold (1996)



Jenis pengadukan hidrolis yang digunakan pada pengadukan cepat haruslah aliran air yang menghasilkan energi hidrolis yang besar. Dalam hal ini dapat dilihat dari besarnya kehilangan energi (headloss) atau perbedaan muka air. Dengan tujuan menghasilkan turbulensi yang besar tersebut, maka jenis aliran yang sering digunakan sebagai pengadukan cepat adalah terjunan, loncatan hidrolis, dan parshall flume.

Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air.

Pengadukan Lambat

Tujuan pengadukan lambat dalam pengolahan air adalah untuk menghasilkan gerakan air secara perlahan sehingga terjadi kontak antar partikel untuk membentuk gabungan partikel berukuran besar. Pengadukan lambat digunakan pada proses flokulasi, untuk pembesaran inti gumpalan. Gradien kecepatan diturunkan secara perlahan-lahan agar gumpalan yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain membentuk gumpalan yang lebih besar. Penggabungan inti gumpalan sangat tergantung pada karakteristik flok dan nilai gradien kecepatan.

Secara umum, pengadukan lambat adalah pengadukan yang dilakukan pada gradien kecepatan kurang dari 100 per detik selama 10 hingga 60 menit. Secara spesifik, nilai G dan t_d bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan cepat.



Tabel 2.3 Jenis air dan Gradien kecepatan

Jenis air	Waktu pengadukan	Gradien kecepatan (1/detik)
Air sungai	Min 20 menit	10-50 detik
Air waduk	30 menit	10-75 detik
Air keruh	Min 20 menit	Dibawah 50 detik
Pelarutan kapur / soda	Min 30 menit	10-50 detik
Penurunan fosfat dan logam berat	15-30 menit	20-75 detik

Sumber : *water treatment handbook (1991)*

4. Kebutuhan Daya Pengaduk

Dalam merancang sebuah tangki berpengaduk, kebutuhan daya untuk memutar pengaduk, merupakan hal penting yang harus dipertimbangkan. Untuk memperkirakan daya yang diperlukan ketika pengaduk berputar pada kecepatan tertentu maka diperlukan suatu korelasi empirik mengenai angka daya. Jenis pengadukan sangat berpengaruh terhadap kecepatan pengadukan metoda pengadukan. Berdasarkan kecepatannya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Kecepatan pengadukan dinyatakan dengan gradien kecepatan, yang merupakan fungsi dari tenaga yang disuplai .

$$P = (G^2)(\mu)(v).....(2.19)^{18}$$

¹⁸ Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung. 2010. "pengadukan" . tersedia di <https://bhupalaka.files.wordpress.com/2010/12/pengadukan.pdf>. diakses pada tanggal 20 juni 2019



dalam hal ini:

- P = suplai tenaga ke air (N.m/detik)
 v = volume air yang diaduk, m^3
 μ = viskositas absolut air, N.detik/ m^2 .
 G = Gradien kecepatan ,(/detik)

Untuk itu volume juga berpengaruh terhadap daya adukan yang akan dihitung dan dapat dirumuskan dengan :

$$v = \pi r^2 t \dots \dots \dots (2.20)^{19}$$

Dimana dalam hal ini :

v = Volume air

r = Jari jari tangki

t = tinggi cairan

Besarnya gradien kecepatan akan mempengaruhi waktu pengadukan yang diperlukan. Makin besar nilai G , maka waktunya makin pendek. Untuk menyatakan kedua parameter itu, maka digunakan bilangan Camp, yaitu hasil perkalian gradien kecepatan dengan waktu pengadukan atau $G.t$.

Persamaan (2.19) berlaku umum untuk semua jenis pengadukan. Parameter yang membedakannya adalah besarnya tenaga yang disuplai ke dalam air (P) yang dapat dihitung dengan rumus-rumus yang akan

¹⁹Tersedia di <http://www.cara.aimyaya.com/2015/01/rumus-menghitung-volume-tabung-silinder.html> Diakses pada tanggal 20 Juni 2019



dijelaskan pada pasal

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai P sangat bergantung pada metoda pengadukan yang digunakan.

Berdasarkan metodenya, pengadukan dibedakan menjadi pengadukan mekanis, pengadukan hidrolis, dan pengadukan pneumatis.

Pengadukan mekanis adalah metoda pengadukan menggunakan alat pengaduk berupa *impeller* yang digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Umumnya pengadukan mekanis terdiri dari motor, poros pengaduk, dan gayung pengaduk (*impeller*).

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan gerakan air sebagai tenaga pengadukan. Sistem pengadukan ini menggunakan energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuhan) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran. Beberapa contoh pengadukan hidrolis adalah terjunan, loncatan hidrolis, *parshall flume*, *baffle basin* (*baffle channel*), *perforated wall*, *gravel bed* dan sebagainya.

Pengadukan pneumatis adalah pengadukan yang menggunakan udara (gas) berbentuk gelembung yang dimasukkan ke dalam air sehingga menimbulkan gerakan pengadukan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam suatu badan air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Makin besar tekanan udara, kecepatan gelembung udara yang dihasilkan makin besar dan diperoleh turbulensi yang makin besar pula.



5. Teori Koagulasi-Flokulasi²⁰

Partikel yang tersuspensi dalam air dapat berupa partikel bebas dan koloid dengan ukuran sangat kecil yaitu 10^{-7} mm - 10^{-1} mm. Karena dimensinya ini maka partikel tidak dapat diendapkan secara langsung (lihat Tabel 2.1). Di samping itu partikel dan koloid umumnya bermuatan listrik sama yang menyebabkan terjadinya tumbukan antar partikel (terjadi gerak Brown). Hal ini berakibat terjadinya suatu suspensi yang sangat stabil.

Tabel 2.4 Pengendapan Partikel dalam Air

Diameter Partikel (mm)	Tipe Partikel	Waktu Pengendapan pada Kedalaman 1 Meter
10	Kerikil	1 detik
1	Pasir	10 detik
10^{-1}	Pasir Halus	2 menit
10^{-2}	Lempung	2 jam
10^{-3}	Bakteri	8 hari
10^{-4}	Koloid	2 tahun
10^{-5}	Koloid	20 tahun
10^{-6}	Koloid	200 tahun

Sumber: *Water Treatment Handbook Vol. 1 (1991)*

²⁰ Tersedia di <https://bhupalaka.files.wordpress.com/2010/12/pengadukan.pdf>. Diakses pada tanggal 20 Juni 2019



Koloid merupakan partikel yang tidak dapat mengendap secara alami karena adanya stabilitas suspensi koloid. Stabilitas koloid terjadi karena:

- gaya tarik van der waal's
- gaya tolak /repulsive elektrostatis

Tabel 2.5 viskositas absolute air

Temperatur (°C)	Viskositas ($\times 10^{-3} N \cdot \frac{s}{m^2}$)
0	$1,79 \times 10^{-3}$
5	$1,52 \times 10^{-3}$
10	$1,31 \times 10^{-3}$
15	$1,14 \times 10^{-3}$
20	$1,00 \times 10^{-3}$
25	$8,91 \times 10^{-4}$
30	$7,96 \times 10^{-4}$
35	$7,20 \times 10^{-4}$
40	$6,53 \times 10^{-4}$
50	$5,47 \times 10^{-4}$
60	$4,66 \times 10^{-4}$
70	$4,04 \times 10^{-4}$
80	$3,54 \times 10^{-4}$
90	$3,15 \times 10^{-4}$
100	$2,82 \times 10^{-4}$

Koagulasi bertujuan untuk mengurangi stabilitas koloid (proses destabilisasi) melalui penambahan bahan kimia dengan muatan berlawanan.

Pada koagulasi akan terjadi :

- Penurunan tegangan permukaan (zeta potensial) melalui proses



netralisasi muatan dan adsorpsi.

- Presipitasi dari koagulan akan menyapu koloid
- Adsorpsi dan pembentukan jembatan antarpartikel.

Pada flokulasi, kontak antar partikel melalui dua mekanisme, yaitu:

- Thermal motion yang dikenal dengan brownian motion atau difusi atau disebut sebagai flokulasi **perikinetik**.
- Gerakan cairan oleh aktifitas pengadukan atau flokulasi **ortokinetik**.