

Analisis Cara Mengurangi Pengapian pada Motor Arus Searah

Armansyah, Zulfadli Pelawi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara

armansyah@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Pada era industrialisasi, bahwa penggunaan motor arus searah banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, dimana hampir di segala bidang dalam berbagai sektor produktifitas kerja ditopang dengan penggunaan energi listrik. Misalnya dalam menggunakan starter mobil, elevator, kompeyer dan lain sebagainya yang dapat memperlancar aktivitas kehidupan. Dalam penggunaan motor arus searah, kita sering menghadapi beberapa gangguan, salah satu diantaranya seperti yang dibahas dalam, yaitu Tentang Cara Mengurangi Gejala Pengapian Pada Motor Arus Searah. Proses pengapian pada motor arus searah tersebut dapat timbul karena adanya gesekan mekanik dan listrik pada sikat-sikat dan segmen-segmen yang bergerak pada bagian komutatornya. Maka dalam mengatasi kedua hal tersebut, dilakukan pemilihan bahan sikat dan sifat-sifatnya, adanya penempatan kisi atau tirai pemisah dan penempatan hantaran listrik kompensasi. Dengan mengambil langkah seperti yang di atas, maka gejala pengapian yang timbul pada motor arus searah akan dapat dikurangi/diatasi, sehingga motor dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Untuk mengurangi gejala pengapian pada motor arus searah, kita dapat mengurangi dengan tiga cara, yaitu: pemilihan bahan sikat dan sifat-sifatnya, penempatan kisi dan penempatan hantaran listrik kompensasi.

Kata Kunci : Motor Listrik, Energi, Sikat, Pengapian, Komutasi

I. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi saat ini makin banyak penggerak motor arus searah dipergunakan untuk menjalankan kereta rel listrik, alat-alat pengangkat, motor penggerak (starter) pada motor-motor bakar, lift dan lain sebagainya. Maka sangat diharapkan dapat memperbaiki proses komutasi agar mengurangi gejala pengapian pada motor arus searah. Motor arus searah yang memiliki proses komutasi yang lebih baik, tidak saja pada keadaan kerja normal, tetapi juga dalam keadaan kerja beban lebih yang menyolok, dimana terdapat kejutan arus beban. Akibat gejala pengapian pada motor arus searah inilah yang sangat tidak diinginkan terjadi, dan karena itu perlu diambil tindakan-tindakan yang nyata pada motor arus searah itu sendiri maupun terhadap lingkungan yang dapat dibuat sekecil mungkin.

Komutasi dikatakan baik pada motor arus searah, bila proses berlangsungnya tidak disertai dengan bunga api dalam ruang lapisan peralihan antara sikat dan segmen. Perangkat komutasi dengan permukaan segmen-segmen dan sikat-sikat yang selalu berada dalam keadaan tetap baik, tanpa mengalami kerusakan atau cacat, meskipun telah bekerja dalam jangka waktu yang relatif panjang. Dimana pada saat motor bekerja bagian-bagian hantaran listrik jangkar memasuki kawasan hubung singkat dan lapisan peralihan antara sikat-sikat dan segmen, perangkat komutasi yang menimbulkan bunga api (bintik bunga api/percikan) yang kita sebut dengan pengapian.

Gejala pengapian pada motor arus searah berawal dari dua alasan, yaitu :

a. Alasan mekanik.

Adanya bunga api yang berhubungan dengan bentuk geometris tidak sempurna dari perwujudan perangkat komutasi, yang terdiri dari sikat-sikat dan segmen-segmen serta perlengkapan yang menyertai sikat yang mungkin tidak dapat diamati dalam keadaan diam.

b. Alasan listrik.

Adanya bunga api yang ditimbulkan oleh pengaruh listrik seperti timbulnya tegangan antara segmen dan timbulnya lingkaran bunga api mengelilingi lingkaran segmen. Komutasi dikatakan baik, bila prosesnya berlangsung tidak disertai dengan bunga api dalam ruang lapisan peralihan antara sikat dan segmen.

II. TINJAUAN PUSTAKA

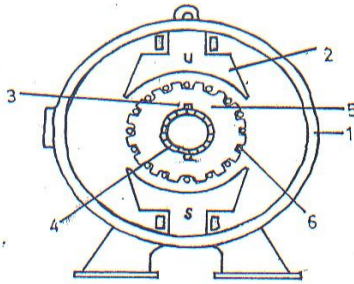
2.1 Motor Arus Searah (DC)

Motor arus searah adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik arus searah (listrik DC) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik. Dalam kehidupan sehari-hari, motor arus searah dapat kita lihat pada motor starter mobil, pada *tape recorder*, pada mainan anak-anak, dan sebagainya. Sedangkan pada pabrik-pabrik motor arus searah kita jumpai pada taksi, kompeyer dan sebagainya.

Motor arus searah berdasarkan sumber arus penguat magnetnya, motor arus searah dapat dibedakan atas :

- a. Motor arus searah dengan penguat terpisah.
- b. Motor arus searah dengan penguatan sendiri, antara lain :
 - Motor shunt.
 - Motor seri.
 - Motor kompond.

2.2 Konstruksi Motor Arus Searah



Gambar 1. Konstruksi motor arus searah

Keterangan gambar :

1. Kerangka motor.

Fungsi utama kerangka motor adalah sebagai tempat mengalirnya fluks magnetik yang dihasilkan kutub-kutub magnet, disamping sebagai tempat meletakkan dan melindungi bagian-bagian motor lainnya.

2. Kutub magnet dan lilitan penguat magnet.

Kutub-kutub magnet menghasilkan medan magnet dengan diperkuat oleh belitan-belitan penguat.

3. Sikat-sikat.

Berfungsi sebagai jembatan aliran arus ke jangkar dan juga berperan pada komutasi.

4. Komutator.

Komutator memberikan penyearah gelombang penuh dan mengubah tegangan diantara sikat-sikat menjadi tegangan searah.

5. Jangkar/Armatur.

Jangkar berbentuk silinder yang dilubangi pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan-kumparan.

6. Kumparan Jangkar.

Interaksi antara kumparan jangkar dengan medan magnet menyebabkan adanya torsi dan pada kumparan itu terjadi GGL lawan, kumparan jangkar terdapat pada rotor.

2.3 Komutasi Motor Arus Searah

Peralatan komutasi atau lebih tepat lagi disebut perangkat komutasi (komutator) merupakan bagian yang menyatu dan tak terpisahkan dari sistem listrik motor arus searah.

Perangkat komutasi mempunyai tugas utama menghubungkan hantaran listrik bergerak atau yang berputar terdapat pada jangkar dengan listrik luar yang berada dalam keadaan tidak bergerak.

Dalam melakukan tugasnya, perangkat komutasi melakukan tindakan :

- Memilih lamel-lamel yang berhubungan dengan sikat-sikat perangkat komutasi.
- Menghubungkan lamel terpilih dengan rangkaian luar dalam jangka waktu tertentu, guna menyearahkan energi yang dibangkitkan oleh motor.

Selain melakukan tugas diatas, dapat juga mengakibatkan terhubung singkat bagian-bagian

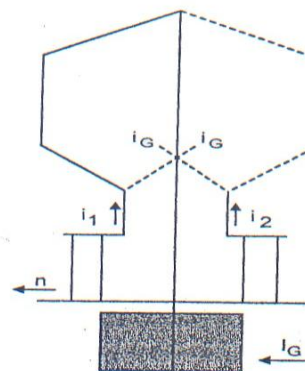
hantaran listrik jangkar yang tidak diinginkan, sehingga timbul bunga api. Tergantung besar kecilnya GGL dalam bagian terhubung singkat, dalam rangkaian hubung singkat akan mengalir hubung singkat (I_1).

Harga arus hubung singkat ini juga dipengaruhi oleh harga induksi sisa yang terdapat pada sumbu netral yang berpotongan dengan pengantar bagian yang sedang berada dalam keadaan hubung singkat.

Perangkat komutasi motor arus searah diartikan sebagai keseluruhan peristiwa yang berhubungan dengan perpindahan lamel-lamel listrik jangkar motor arus searah dari sebuah coil (lilitan) lamel-lamel yang terletak diantara dua buah sikat berbeda polaritas yang terdekat satu menuju coil (lilitan) lamel-lamel yang lain selama motor arus searah bekerja.

Perpindahan lamel dari coil (lilitan) yang satu ke coil (lilitan) lainnya diiringi pergantian arah aliran arus listrik yang mengalir melalui penghantar lamel, ketika bergerak memasuki daerah lebar busur sebuah sikat positif atau negatif, yang apabila dua buah sikat bersampingan dari setiap lamel hantaran listrik jangkar menyentuhnya secara bersamaan, dalam gerakannya akan di hasilkan lamel-lamel terhubung singkat. Lamel-lamel akan normal kembali dari keadaan terhubung singkat, bila keluar dari daerah lebar busur sebuah sikat positif atau negatif yang menyentuhnya secara bersamaan dalam gerakannya.

Pada Gambar 2, memperlihatkan sebuah lamel yang sedang dalam peralihan dari coil (lilitan) parallel lamel-lamel yang satu ke coil (lilitan) parallel yang lain.



Gambar 2. Sebuah lamel saat peralihan

Besar arus yang mengalir pada masing-masing cabang coil (lilitan) parallel lamel-lamel adalah sama besar dan bagian jangkar yang sistematis adalah :

$$i_a = \frac{I_g}{2}$$

di mana :

i_g = Harga arus coil (lilitan) paralel lamel-lamel juga sama dengan arus yang mengalir melalui setiap pengantar efektif.

I_a = Harga arus jangkar yaitu arus yang mengalir melalui pasangan sikat, kecuali berada dalam coil-coil paralel.

Pada saat-saat tertentu terdapat lamel-lamel yang dihubungkan oleh sikat melalui segmen-segmen yang diperlihatkan oleh Gambar 2. Lamel-lamel ini berada dalam peralihan atau arus komutasi, yaitu arus yang berganti arah, yakni dari arah arus cabang lamel yang lain. Peralihan ini jelas terjadi karena arah arus yang mengalir dalam masing-masing coil (lilitan) lamel-lamel memang berlawanan satu dengan yang lainnya.

Karena kumparan jangkar sebagian dikelilingi besi, ia mempunyai induktansi yang lebih besar dalam rangkaian induktif, setiap perubahan harus dilawan oleh GGL, induksi dalam kumparan jangkar melawan pembalikan arus kumparan dihubungkan singkat, oleh sikat dan menjaga aliran arus mengelilingi kumparan yang dihubungkan singkat, oleh sebab itu terjadi bunga api oleh segmen komutator meninggalkan sikat. Tetapi bunga api dapat dinetralkan dengan menginduksikan GGL dalam kumparan yang polaritasnya berlawanan dengan GGL induksi, hal ini dilakukan dengan menggunakan kutub bantu.

Kutub bantu atau kutub komutasi adalah kutub kecil yang diletakkan diantara kutub-kutub utama motor dan dihubungkan, secara demikian agar mempunyai polaritas sama seperti kutub utama berikutnya dalam arah putaran. Kumparan jangkar yang mengalami komutasi yang dipaksa memotong fluksi yang arahnya sama seperti fluksi kutub utama berikutnya, dan arena itu membangkitkan GGL arahnya berlawanan dengan GGL induksi kumparan.

Karena adanya GGL induksi yang ada dalam kumparan jangkar bervariasi terhadap besarnya aliran arus jangkar, maka besarnya fluksi komutasi yang diperlukan juga bervariasi. Agar fluksi komutasi yang dihasilkan oleh kutub bantu sebanding dengan arus jangkar, lilitan kutub bantu dihubungkan secara seri dalam rangkaian jangkar.

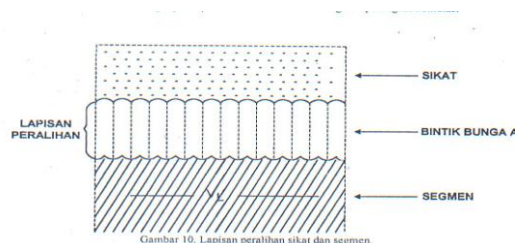
2.4 Gejala Pengapian Motor Arus Searah.

Komutasi adalah keseluruhan peristiwa yang berhubungan dengan perubahan harga dan arah arus yang mengalir dalam penghantar-penghantar efektif belitan hantaran listrik (kumparan) jangkar, ketika lamel-lamel hantaran listrik jangkar bersangkutan memasuki daerah hubung singkat, dimana mereka dihubungkan singkat oleh sikat-sikat melalui segmen-segmen perangkat komutasi.

Komutasi dikatakan baik pada motor arus searah, bila proses berlangsungnya tidak disertai dengan bunga api dalam ruang lapisan antara sikat dan segmen perangkat komutasi dengan permukaan segmen-segmen dan sikat-sikat yang selalu berada dalam keadaan tetap selalu baik

tanpa mengalami kerusakan atau cacat, meskipun motor telah bekerja pada jangka waktu yang relatif panjang.

Kebalikannya komutasi dikatakan tidak baik, bila prosesnya diiringi oleh proses pengapian yang tampak dalam ruang lapisan peralihan antara sikat dan segmen serta diiringi oleh kerusakan permukaan segmen dan sikat perangkat komutasi yang selanjutnya dalam jangka waktu yang panjang dapat menyebabkan gangguan kerja normal motor arus searah. Gambar 3, akan memperlihatkan kehadiran bunga api dalam ruang lapisan peralihan antara sikat dan segmen perangkat komutasi.



Gambar 3. Lapisan peralihan sikat dan segmen

Tingkat pengapian atau kelas komutasi sebagai persyaratan teknik bekerjanya motor listrik perangkat komutasi mekanik pada umumnya atau motor arus searah pada khususnya, ditetapkan oleh pabrik pembuat motor listrik bersangkutan yang sesuai dengan golongan daya derajat perlindungan serta tinggi tempat kerja motor di atas permukaan laut.

Salah satu tujuan pokok dari peninjauan analisis proses komutasi arus searah adalah mencari penjelasan hubungan antara proses ini dengan kehadiran gejala bunga api dalam lapisan peralihan antara sikat dan segmen perangkat komutasi.

Gejala pengapian pada motor arus searah dapat bermula dari dua alasan utama, yaitu :

- Alasan mekanik.
- Alasan listrik.

Alasan mekanik adalah kehadiran bunga api yang berhubungan dengan bentuk geometris tidak sempurna dari perwujudan perangkat komutasi motor, yaitu terdiri dari sikat dan segmen serta perlengkapan yang menyertainya yang mungkin tidak dapat diamati dalam keadaan diam, tetapi akan jelas terlihat bila segmen-segmen berada dalam keadaan bergerak, lebih-lebih lagi apabila segmen-segmen berputar dengan berbagai kecepatan. Dalam keadaan ini termasuk bentuk segmenyang mengikuti bulatan elips, segmen-segmen yang menonjol karena pemuaihan panas, balans atau keseimbangan segmen yang tidak memadai, baik dalam keadaan static apalagi secara dinamik, sikat yang bergoyang dan bergetar pada tempatnya.

Alasan listrik adalah adanya bunga api yang disebabkan oleh listrik, seperti munculnya tegangan antara segmen yang melebihi batas harga yang diijinkan, dan dalam keadaan yang paling

buruk dari gejala ini adalah timbulnya lingkaran bunga api yang mengelilingi lingkaran bunga segmen. Kenaikan tegangan antara segmen yang diiringi pada arus tinggi ketika sikat berpindah dari satu segmen ke segmen lain.

Proses listrik besar peranannya terhadap gejala pengapian selama proses mutasi mempunyai nilai arus yang besar mengalir dalam lamel terhubung singkat bersumber dari kehadiran nilai pada arus yang tinggi pada bagian lapisan peralihan antara sikat dan segmen.

Energi medan elektromagnetik yang tersimpan selama proses mutasi dalam sistem magnet bocor mempunyai arti penting bagi terbentuknya pengapian selama proses komutasi, namun tidak kurang pentingnya peranan energi yang dibebaskan lapisan peralihan kontak antara sikat dan segmen, oleh kehadiran tahanan aktif peralihannya (R_s)

Pada kerja beban lebih, khususnya pada keadaan hubung singkat, yaitu pada saat proses sedang akan bergerak ketika jangkar baru saja dihubungkan pada tegangan jala-jala, maka dapat timbul coil (lilitan) busur-busur arus listrik antara sikat-sikat dan segmen-segmen yang dalam keadaan paling buruk, berupa tampilnya bunga api diseperti lingkaran segmen. Energi panas yang dibangun oleh rugi energi dalam lapisan peralihan, pada keadaan demikian dapat diperoleh hubungan :

$$P_p = I_s \cdot \Delta V$$

$$P_p = I_s^2 \cdot R_s$$

Di mana :

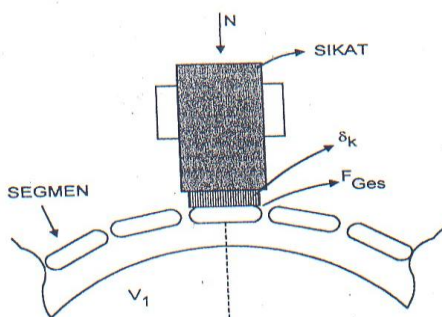
P_p = Menyatakan rugi daya dalam lapisan peralihan antara sikat dan segmen dalam Watt.

I_s = Harga arus peralihan yang mengalir melalui sikat yang dalam hal ini adalah arus hubung singkat.

ΔV = Harga jatuh tegangan rata-rata sepanjang peralihan dalam Volt.

R_s = Harga tahanan aktif lapisan peralihan kontak antara sikat dan segmen pada luas penampang dalam Ohm.

Pada proses pengapian mekanik, antara sikat dan segmen terdapat kehadiran aliran arus listrik, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sikat dan Segmen.

$$V = 2\pi \cdot D_1 \cdot \frac{n}{60} \text{ m/det}$$

Kehadiran gaya normal antara kedua bagian sikat dan segmen diperlukan untuk memelihara agar tebal lapisan kontak (δ_k) antara segmen dan sikat yang berada pada nilai yang terendah. Pada tebal lapisan peralihan minimum akan dihasilkan harga tahanan aktif peralihan terhadap pengalihan arus listrik yang minimum pula. Sebagai akibat dari pemberian tekanan gaya normal (F_N), maka akan diperoleh gaya gesekan antara sikat dan segmen sebesar :

$$F_{gesek} = \alpha_g \cdot F_N$$

Dimana α_g adalah nilai koefisien gesek yang berlaku antara segmen dan sikat. Selanjutnya energi mekanik gesekan yang dibebaskan dalam lapisan peralihan besarnya adalah :

$$\begin{aligned} W_{gesek} &= F_{gesek} \cdot V_1 \cdot t \\ &= \alpha_g \cdot F_N \cdot V_1 \cdot t \\ &= 2\pi \cdot D_1 \cdot \frac{n}{60} \cdot \alpha_g \cdot F_N \cdot t \text{ (joule)} \end{aligned}$$

Energi gesekan yang dibebaskan dalam lapisan peralihan tadi, seperti tampak dari persamaan, ditentukan oleh sederetan faktor masing-masing di mana :

V_1 = Kecepatan bergerak segmen terhadap sikat (m/det)

α_g = Harga koefisien gesekan.

F_N = Besaran gaya normal (Newton)

D_1 = Diameter lingkaran luar segmen (meter).

n = Kecepatan putaran poros dalam (rpm)

t = Waktu yang berlangsung (detik)

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Gejala pengapian motor arus searah yang berasal dari proses listrik dan proses mekanik pada hakekatnya memberikan kepada kita petunjuk akan hadirnya keadaan kerja berlebihan atau kerja beban lebih yang sedang berlangsung pada motor arus searah. Akibat dari keadaan beban lebih tadi, maka oleh energi panas yang dibebaskan dalam lapisan peralihan baik dari proses listrik maupun mekanik, membawa butiran-butiran reruntuhan perangkat komutasi beserta udara pengisian lapisan peralihan sekitarnya ke suhu pembaraan dengan udara pengisi lapisan peralihan yang terionisir, sehingga oleh gerakan relative sikat terhadap segmen, lapisan peralihan yang membuat butiran – butiran membara beserta udara yang terionisir tadi

terlempar keluar dari bagian belakang sikat dalam wujud semburan percikan bara bunga api dan percikan busur bunga api listrik. Busur bunga api listrik dan percikan bunga api dapat mempunyai temperatur yang amat tinggi bila energi yang mereka miliki amat besar, sehingga mereka dapat memancarkan cahaya.

Karena memperlihatkan sifat yang sangat mirip dengan api yang kita kenal, maka cahaya busur bunga api listrik atau cahaya percikan bunga api yang muncul dalam lapisan peralihan dan sekitarnya kita namakan pengapian serta tanda – tanda yang diperlihatkannya disebut gejala pengapian. Pengapian itu sendiri adalah hasil (produk) dari proses komutasi itu sendiri.

Terhadap perangkat komutasi, pengapian menyebabkan bercak–bercak pada permukaan segmen dan sikat, sertakerusakan erosi atau keausan kedua bagian utama perangkat komutasi, khususnya yang berbatasan dengan lapisan peralihan. Terhadap lingkungan yang sudah tentu kehadiran bunga api listrik udara terionisasi ini atau butiran–butiran bara bunga api terlontar keluar dapat melakukan penyulutan terhadap gas mudah menyala yang kebetulan terdapat dilingkungan kerja motor.

Akibat efek samping inilah yang tidak diinginkan terjadi dan karena itu perlu diambil tindakan nyata terhadap pengapian ini agar gangguan yang diakibatkannya, baik terhadap motor itu sendiri maupun terhadap lingkungan dimana motor itu bekerja dapat di buat sekecil mungkin.

3.1 Pemilihan Bahan Sikat Dan Sifat – Sifatnya.

Salah satu ciri yang paling penting dari sikat perangkat komutasi adalah kehadiran nilai tahanan jenis lapisan peralihan terhadap pengaliran arus listrik, yaitu nilai tahanan peralihan terhitung antara satu satuan luas permukaan segmen yang saling berhadapan sesaat, melalui ruang lapisan peralihan antara keduanya jika diambil R_s sebagai tahanan lapisan peralihan, S_s adalah luas penampangnya, maka nilai tahanan jenis diatas dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\rho_s = R_s \cdot S_s \cdot \Omega \cdot m^2$$

$$R_s = \frac{\rho_s}{S_s} \cdot \Omega$$

Dimana :

ρ_s = tahanan jenis lapisan peralihan ($\Omega \cdot m^2$)

R_s = tahanan seluruh lapisan peralihan (Ω)

S_s = luas penampang peralihan (m^2)

Diketahui padat arus rata-rata (j_s) pada luas penampang adalah arus yang mengalir (I_a) per luas penampang (S_s) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$j_s = \frac{I_a}{S_s}$$

atau

$$I_a = j_s \cdot S_s$$

ΔU_s adalah nilai jatuh tegangan dalam lapisan peralihan yang besarnya adalah :

$$\Delta U_s = I_a \cdot R_s$$

Dari persamaan-persamaan di atas disubstitusikan ke persamaan maka diperoleh :

$$\Delta U_s = I_a \cdot R_s$$

$$= j_s \cdot S_s \cdot \frac{\rho_s}{S_s}$$

$$= j_s \cdot \rho_s$$

Di mana :

I_a = harga arus beban yang mengalir melalui sikat.

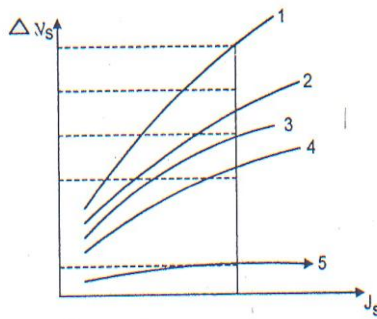
J_s = padat arus rata-rata yang mengalir melalui satu satuan luas penampang sikat yang berhadapan dengan segmen.

Tahanan lapisan peralihan dan selanjutnya jatuh tegangan dalam lapisan peralihan, sangat dipengaruhi sederetan faktor yang banyak bilangannya dan beberapa diantaranya yang memegang peranan penting antara lain :

- Bahan pembuat sikat dan segmen
- Padat arus yang mengalir (j_s)
- Arah pengaliran arus, dari sikat menuju segmen atau sebaliknya
- Suhu lapisan peralihan
- Susunan kimia serta sifat – sifatnya dan medium lapisan peralihan
- Tekanan sikat pada satu satuan luas penampang, kecepatan linier relative antara sikat dan segmen (V_L)

Tahanan jenis tertinggi diraih oleh lapisan peralihan paduan bahan asal arang dan grafit yang keras, selanjutnya tahanan jenis lapisan peralihan yang rendah dihasilkan dari paduan bahan asal grafit elektro (grafit olahan proses listrik). Akhirnya tahanan jenis terendah terdapat dari paduan bersifat lunak dari bahan – bahan grafit.

Pada Gambar 5 diperlihatkan salah satu sifat sikat yaitu ;



Gambar 5. Sifat sikat

Dengan ΔU_s kita maksudkan adalah jatuh tegangan yang terdapat dalam lapisan – lapisan peralihan yang hadir antara dua buah sikat yang berdampingan dengan polaritas yang berlawanan. Kurva 1 dan 2 memperlihatkan sifat paduan grafik arang yang keras. Lengkung 3 dan 4 berlaku untuk bahan yang kekerasannya hingga dengan agak lunak. Lengkungan 5 paling bawah memperlihatkan sifat paduan grafit Bronz. Perlu untuk diperhatikan, bahwa untuk lengkungan 2 dan 3 menempatkan pula sifat kurva yang lebih mendatar, artinya pada perubahan harga arus (j_s) yang berlangsung selama bekerjanya motor, nilai jatuh tegangan (ΔU_s) dalam lapisan peralihan praktis tidak hanya mengalami perubahan. Ini berarti $J_s \cdot R_s = \text{konstan}$, atau harga R_s berbanding terbalik terhadap j_s . Dengan perkataan ini tahanan lapisan peralihan nilainya berubah – ubah dan berbanding terbalik terhadap harga padat arus yang mengalir.

Dari apa yang dikemukakan diatas, maka sangat dianjurkan untuk mempergunakan pada sebuah motor yang mempunyai sifat–sifat dari karakteristik dan ukuran yang sejenis dan merek yang sama. Hal ini disebabkan oleh kenyataan, bahwa sikat–sikat dari polaritas yang sama biasanya dihubungkan secara parallel satu sama lain. Sehingga bila tidak terdapat persesuaian antara berbagai karakteristik dan ukuran yang ditempatkan, maka sikat – sikat dengan tahanan lapisan peralihan yang terendah akan jadi panas, karena dialiri arus yang paling besar. Semakin tinggi suhu kerja lapisan, maka semakin rendah pula tahanan lapisan peralihannya dan arus yang mengalir akan menjadi semakin besar. Bila hal ini berlangsung terus, maka sikat – sikat dapat menjadi demikian panasnya sehingga dapat membara yang diusul pula oleh memijarnya penghantar – penghantar yang menghubungkannya dengan jala – jala.

Pada saat pemilihan merek sikat sering pula kita berhadapan dengan beraneka ragam pertimbangan yang dapat saling bertentangan satu dengan lainnya. Tetapi sebagai contoh dapat dikemukakan bahwa dari segi perbaikan komutasi

adalah tempat untuk mengambil sikat yang sangat keras dengan lapisan peralihan tahanan yang tinggi. Motor arus searah biasanya mempergunakan sikat dari bahan grafit.

Salah satu cara untuk mengurangi gejala pengapian pada motor arus searah adalah dengan cara pemilihan bahan dan sikat. Untuk itu kita dapat menganalisa perbedaan beberapa bahan sikat sebagai berikut:

- **Paduan grafit arang**

Dari persamaan didapat:

$$\begin{aligned}\Delta U_s &= I_a \cdot R_s \\ &= j_s \cdot S_s \frac{\rho_s}{S_s} \\ &= j_s \cdot \rho_s \\ &= 8 \cdot 30 \\ &= 240 \text{ V}\end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned}j_s &= \text{padat arus (A/m}^2\text{)} \\ \rho_s &= \text{tahanan jenis lapisan peralihan (}\Omega \cdot \text{m}^2\text{)} \\ R_s &= \text{tahanan lapisan peralihan (}\Omega\text{)} \\ S_s &= \text{luas penampang peralihan (m}^2\text{)} \\ \Delta U_s &= \text{jatuh tegangan (V)}\end{aligned}$$

- **Grafit elektro**

Dari persamaan didapat:

$$\begin{aligned}\Delta U_s &= I_a \cdot R_s \\ &= j_s \cdot S_s \frac{\rho_s}{S_s} \\ &= j_s \cdot \rho_s \\ &= 10 \cdot 20 \\ &= 200 \text{ V}\end{aligned}$$

- **Grafit bronz**

Dari persamaan didapat:

$$\begin{aligned}\Delta U_s &= I_a \cdot R_s \\ &= j_s \cdot S_s \frac{\rho_s}{S_s} \\ &= j_s \cdot \rho_s \\ &= 20 \cdot 0,9 \\ &= 18 \text{ V}\end{aligned}$$

Dari analisa di atas, dapat dilihat bahwa bahan sikat yang mempunyai tahanan jenis lapisan peralihan yang paling besar adalah:

Tabel 1. Hasil Analisis

Jenis Bahan	Tahanan jenis lapisan peralihan ($\Omega \cdot m^2$)	j_s (A/m^2)	ΔU_s (V)
Paduan grafit arang	30	8	240
Grafit Elektro	20	10	200
Grafit Bronz	0,9	20	18

Dari percobaan, pengapian pada motor arus searah bergantung pada bahan dan sikat yang dipakai. Ada 3 bahan yang di uji coba, yaitu:

1. Sikat Grafit Arang.
2. Sikat Grafit Elektro.
3. Sikat Grafit Bronz.

1. Sikat Grafit Arang.

Sikat grafit arang mempunyai bahan yang tidak begitu keras, sehingga pada saat motor bekerja sikat tidak mudah merusak segmen-segmen yang bergesekan dengan sikat tersebut, sehingga sikat ini banyak digunakan pada motor arus searah. Bahan ini dapat diketahui dengan warnanya yang berwarna hitam gelap.

2. Sikat Grafit Elektro.

Sikat grafit elektro mempunyai bahan yang sedikit lunak, sehingga pada saat motor bekerja sikat ini cepat menipis dibandingkan dengan sikat grafit arang, sehingga dengan menipisnya sikat tersebut, maka tekanan pegas yang ada pada sikat menjadi lemah, sehingga pada saat motor bekerja sikat dan segmen memercikan bunga api.

3. Sikat Grafit Bronz.

Sikat grafit bronz mempunyai bahan yang sedikit keras, sehingga pada saat motor arus searah bekerja sikat ini dapat merusak segmen-segmen, sehingga bahan sikat ini sangat jarang digunakan. Pada saat motor arus searah bekerja, sikat ini mudah sekali memercikan bunga api, ini dikarenakan sikat ini terbuat dari bahan yang sedikit keras, sehingga pada saat sikat berpindah dari segmen satu ke segmen yang lain, terjadi benturan antara sikat dan segmen, sehingga menimbulkan bunga api.

IV. KESIMPULAN

Dari uraian-uraian pada bab-bab sebelumnya, penulis dapat menarik beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Penggunaan sikat grafit arang tidak begitu keras yang mana banyak digunakan pada motor arus searah, karena dapat mengurangi gejala pengapian pada motor arus searah dan tidak mudah merusak segmen-segmen yang bergesekan dengan sikat. Namun demikian penggunaan sikat tersebut akan menghasilkan jatuh tegangan lebih besar dibandingkan sikat lainnya, dengan konsekwensi output daya

motor menjadi berkurang karena rugi-rugi daya besar.

2. Berdasarkan pengamatan dari Tabel 1, bahwasannya jatuh tegangan yang terdapat dalam lapisan peralihan akan tereduksi dengan semakin meningkatnya padat arus disertai menurunnya tahanan jenis lapisan.
3. Perkalian padat arus (j_s) dengan luasnya besar penampang (S_s) akan menghasilkan arus beban yang mengalir melalui sikat. Jika arus tersebut menurun secara perlahan akan diperoleh reduksi jatuh tegangan pada sikat terhadap motor arus searah.
4. Percikan bintik bunga api halus atau bunga api jarum yang terdapat dalam lapisan peralihan antara sikat dan segmen dan diiringi dengan suara berderik menjadi tanda atau indikasi gejala timbulnya pengapian.
5. Untuk mengurangi gejala pengapian pada motor arus searah, kita dapat mengurangi dengan tiga cara, yaitu:
 - a. Pemilihan bahan sikat dan sifat-sifatnya.
 - b. Penempatan kisi atau tirai pemisah.
 - c. Penempatan hantaran listrik (kumparan) kompensasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, 1981, *Mesin Arus Searah*, Edisi Pertama, Penerbit Djamban, Jakarta.
- [2] AE. Fitzgerald Charles Kingsby, 1997, *Mesin – Mesin Listrik*, Edisi Empat, Joko Achyato MSC, Penerbit Erlangga.
- [3] G. Vander Val Ing, 1985, *Ringkasan Elektro Teknik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [4] HM. Rusli Hrp, 1988, *Mesin – Mesin Listrik Arus Searah*, Cetakan Pertama ISTN.
- [5] Lister, 1993, *Mesin Dan Rangkaian Listrik*, Edisi Keenam, Penerbit Erlangga.
- [6] Sumanto, 1984, *Mesin – Mesin Arus Searah*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.