

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1. Batubara

Batubara merupakan salah satu kekayaan alam terbesar yang dimiliki Indonesia. Batubara terdiri atas campuran senyawa-senyawa organik yang tersusun dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen dan sulfur. Senyawa-senyawa organik ini bercampur dengan air dan mineral-mineral di dalam tanah pada berbagai komposisi. Komponen-komponen ini melalui proses fisik dan kimiawi yang melibatkan panas dan pemadatan dalam kurun waktu yang lama. Perbedaan jumlah panas dan tekanan yang terlibat selama pembentukan batubara menentukan peringkat batubara.

Batubara dapat diklasifikasi menjadi gambut, lignit, sub-bituminus, bituminous dan antrasit. Peringkat batubara meningkat dari lignit, batubara peringkat rendah, hingga antrasit, batubara dengan peringkat tertinggi. Semakin tinggi peringkat batubara semakin tinggi kandungan karbon dan kekerasannya sedangkan kandungan oksigen, hidrogen dan reaktivitasnya turun.

2. Pencairan Batubara

Salah satu kekurangan batubara bentuknya yang berupa padatan serta memiliki massa yang besar dengan densitas yang kecil serta kalori yang kecil pula berbeda dengan minyak bumi yang memiliki nilai kalori yang besar. Untuk menaikkan nilai kalori dari batubara tersebut maka batubara tersebut harus ditingkatkan nilai kalornya dan salah satunya yaitu dengan dicairkan sehingga dapat digunakan seperti minyak. Teknologi pencairan batubara saat ini terdiri atas tiga teknologi pencairan yaitu teknologi gasifikasi (*indirect liquefaction coal*), pirolisis, dan *hidroliquefaction (direct coal liquefaction)*. Pirolisis dan hidroliquefaksi membutuhkan pemurnian untuk dapat menghasilkan bahan bakar cair, sedangkan gasifikasi membutuhkan sintesis untuk menghasilkan bahan bakar cair. Untuk batubara peringkat rendah sampai sedang lebih baik menggunakan teknologi *hidroliquefaction* dan pirolisis

sedangkan untuk batubara tingkat tinggi bisa menggunakan gasifikasi. Saat ini teknologi yang sering digunakan untuk pencairan batubara yaitu gasifikasi (*indirect liquefaction coal*) yang digunakan oleh SASOL (*South Africa Synthetic Oil Liquefaction*) Afrika Selatan dan Hidroliquefaksi yang digunakan oleh NEDO (*The New Energy Development Organization*) Jepang. Berikut ini penjelasan dari beberapa teknologi pencairan batubara yang telah berkembang saat ini:

2.1 Gasifikasi (*Indirect Coal Liquefaction*)

Proses pencairan batubara dengan menggunakan metode gasifikasi disebut juga dengan pencairan secara tak langsung dimana batubara yang ingin dicairkan terlebih dahulu dijadikan dalam bentuk gas. Seperti reaksi dibawah ini Gasifikasi :

$Coal + Oksigen + Steam \rightarrow Syngas (H_2 + CO)$
 $Syngas \xrightarrow{Katalis} H_2 + CO$
 Hidrokarbon (C_xH_y)

Melalui pemanasan kering batuabara, semua komponen yang mudah menguap (zat terbang) dapat dikeluarkan, yang tetap tinggal disebut kokas. Dari gasifikasi diharapkan terjadi konversi sempurna zat-zat dalam batubara yang berupa padatan menjadi senyawa-senyawa dalam bentuk gas. Pada proses gasifikasi ini udara dan uap air secara bergantian dilewatkan pada kokas yang membara. Selama proses pertama berlangsung terbentuk gas generator (Campuran gas CO dan NO₂). Panas yang dilepaskan menyebabkan kokas memijar. Setelah itu pemasukan udara dihentikan, dan sebagai gantinya uap air dialirkan melalui kokas tersebut. Kokas memijar kemudian mereduksi uap air menjadi hidrogen dan kokas sendiri teroksidasi menjadi karbon monoksida. Dari produk utama CO dan H₂ (gas sintesa), diteruskan pembuatan bahan bakar cair dengan bantuan katalis (Hidayat, 1995).

2.2 Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses ini atau disebut juga proses karbonasi atau yaitu proses untuk memperoleh karbon atau arang, disebut juga *High*

Temperature Carbonization pada suhu 450°C - 500°C . Dalam proses pirolisis dihasilkan gas-gas, seperti CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , dan hidrokarbon ringan. Jenis gas yang dihasilkan bermacam-macam tergantung dari bahan baku. Salah satu contoh pada pirolisis dengan bahan baku batubara menghasilkan gas seperti CO , CO_2 , NO_x , dan SO_x yang dalam jumlah besar, gas-gas tersebut dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia baik secara langsung maupun tidak langsung. Paris, dkk (2005) mengatakan bahwa pirolisis merupakan proses pengarangan dengan cara pembakaran tidak sempurna bahan-bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi. Kebanyakan proses pirolisis menggunakan reaktor tertutup yang terbuat dari baja, sehingga bahan tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen. Umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Namun keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya (Demirbas, 2005).

Pencairan batubara dengan proses pirolisis baik untuk batubara dengan nilai kalori rendah sampai sedang karena pada batubara kelas ini akan kita dapatkan gas metana yang lebih banyak dibandingkan kelas tinggi selain itu arang yang dihasilkan dapat dibentuk menjadi kokas untuk pembriketan yang berguna untuk kebutuhan rumah tangga serta industri kecil sampai menengah. Pada proses pirolisis akan didapatkan residu padat berupa tar yang berkadar karbon tinggi serta minyak dan gas berkadar hidrogen tinggi yang akan digunakan untuk mengkonversi menjadi bahan bakar cair (Hidayat, 1995).

2.3 Hidroliquefaksi (*Direct Coal Liquefaction*)

Proses hidroliquefaksi disebut juga sebagai proses hidrogenasi katalitik atau proses pencairan batubara dengan hidrogenasi batubara dalam larutan donor hidrogen dengan bantuan katalistis oksida besi pada tekanan antara 35-275 atmosfer dan temperatur sekitar 375 - 450°C . Tekanan dan temperatur tinggi digunakan untuk memecahkan batubara menjadi fragmen-fragmen reaktif yang disebut radikal bebas (Hidayat, 1995). Agar menghasilkan konversi cair yang cukup tinggi diperlukan stabilisasi terhadap radikal bebas, sekaligus mencegah terjadinya polimerisasi menjadi produk tak larut dan tak reaktif.

Transformasi batubara menjadi minyak sintetis merupakan proses hidrogenasi yang melalui tahap-tahap sebagai berikut:

Batubara → presasfalten → asfalten → minyak

Dari ketiga sistem proses pencairan batubara diatas maka dengan mempertimbangkan kondisi batubara indonesia serta beragamnya hasil yang didapatkan maka teknologi yang tepat digunakan untuk pencairan yaitu pirolisis. Teknologi pirolisis dapat menghasilkan asap cair (minyak berat), briket (kokas), serta gas metana yang berguna untuk gas kota. Selain itu proses pirolisis sangat sederhana dan tidak membutuhkan dana yang besar serta dapat di kombinasikan dengan sistem pembangkit tenaga listrik dimana batubara kelas tinggi menjadi sumber energi untuk memanaskan rekator pirolisis dan boiler yang digunakan untuk memanaskan uap air.

3. Faktor yang Mempengaruhi Proses Pencairan

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi hasil konversi produk dan konsumsi hidrogen pada proses pencairan batubara, antara lain: peringkat batubara, kondisi operasi serta rasio batubara/pelarut.

a. Pengaruh peringkat batubara

Peringkat asal batubara mempengaruhi konversi produk yang dihasilkan. Syaker dan Kelvin mempelajari pengaruh karakteristik batubara terhadap minyak yang dihasilkan setelah proses pencairan, mereka menyatakan bahwa semakin tinggi peringkat batubara, makin sedikit minyak yang dihasilkan

b. Pengaruh rasio batubara/pelarut

Rasio batubara/pelarut (coal-solvent ratio) yang digunakan mempunyai peranan yang penting dalam menaikkan konversi produk yang dihasilkan. Pelarut yang digunakan biasanya mengandung hidroaromatik, seperti: tetralin, dekalin, dihidroantresen, dihidrofenantren dan lain lain. Pelarut yang dipilih biasanya mempunyai temperatur superkritis pirolisis batubara,

sebagai contoh: tetralin mempunyai temperatur kritis 448°C, sehingga proses pencairan biasanya dilakukan sekitar temperatur 450° C.

Jones dan Rotterdorf (1980) menyatakan bahwa dengan rasio berat batubara / pelarut : ¼ dan 1/3 ternyata menunjukkan hasil konversi produk yang hampir sama. Menurut Ghazali dan Nasir (1994). Dengan rasio batubara/pelarut: 2/3 dan 1/3 diperlukan konsumsi hidrogen berturut-turut: 2,4% dan 2,5%, konsumsi hidrogen yang tinggi ini menunjukkan kemampuan pelarut berfungsi dengan baik.

c. Pengaruh kondisi operasi

Kondisi operasi proses pencairan batubara yang utama disini adalah: temperatur, tekanan dan waktu

i. Pengaruh temperatur operasi

Temperatur operasi pencairan batubara biasanya terjadi antara 375°C – 450°C. Batubara bituminus bila dipanaskan pada temperatur 325°C - 350°C akan lunak dan bersifat plastis, keadaan ini disebut “*plastic state*”, dan pada kondisi ini kecepatan reaksi berjalan sangat lambat, bahkan belum terjadi reaksi. Laju pemanasan yang cepat untuk mencapai temperatur operasi optimum akan melindungi bagian reaktif batubara terhadap polimerisasi

ii. Pengaruh waktu operasi

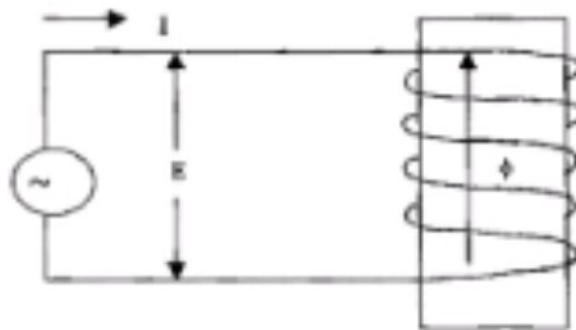
Waktu operasi proses pencairan batubara sekitar 20 menit sampai 2 jam, namun ada peneliti yang menyatakan bahwa terjadi peningkatan konversi batubara menjadi produk minyak dengan kenaikan waktu operasi sampai 200 menit. Pemanasan partikel batubara secara cepat dalam media gas hidrogen dapat meningkatkan waktu kontak sehingga kurang dari 15 menit (*short contact time liquefaction*), dengan konversi produk yang tetap tinggi.

4. Teori Pemanas Induksi

Suatu pemanas induksi dapat kita bayangkan bagian dari suatu trafo dengan pengisian arus terjadi pada lilitan kumparan. Setelah sumber AC

dihubungkan dengan kumparan maka arus bolak-balik akan mengalir pada semua bagian konduktor dan akan timbul medan magnet di sekitar kumparan induksi tersebut. Apabila pada kumparan tersebut ditempatkan suatu bahan konduktif, maka akan timbul arus eddy dalam bahan tersebut. Karena arus eddy dalam mengambil energinya dalam bentuk panas sedangkan magnet dalam bentuk lingkaran, maka panas yang dihasilkan dari pemanasan akan berubah apabila terjadi perubahan frekuensi.

Pemanas induksi ditunjukkan sebagai rugi-rugi arus eddy sebab pemanasannya terjadi pada inti besi yang diberi frekuensi. Karena panas yang ditimbulkan pada bahan pemanas sepenuhnya dari fluks magnetik yang diciptakan oleh lilitan induktor, maka hanya dengan mengubah intensitas fluks maka kemampuan pembangkitan panas bisa dikontrol (Rencono, 2000).



Gambar 1. Elemen Pemanas Induksi

Sumber: (Ambar Rencono, 2000)

Kumparan pemanas induksi yang berfungsi sebagai beban merupakan pengaplikasian dari sumber AC yang berfrekuensi tinggi, dalam penerapannya maka pada permukaan kumparan dapat diletakkan sebuah lempengan baja. Pemanas akan dikondisikan sesuai dengan frekuensi yang dihasilkan sumber AC sehingga proses dari pemanas induksi ini akan terlihat dengan mengamati perubahan temperature pada inti besi tersebut.

Sebuah pemanas sangat dipengaruhi oleh temperature ruangan, waktu dan bahan yang digunakan pada saat alat pemanas tersebut digunakan. Berikut ini merupakan karakteristik dari pemanasan induksi menurut Rencono (2000):

- a. Pemanas harus dikonsentrasikan pada permukaan bahan yang akan dikerjakan.

- b. Rata-rata pemanas harus ditentukan sesuai bahan yang dikerjakan.
- c. Bagian dari permukaan yang dipanaskan dapat dikontrol, tetapi ada sedikit pemborosan panas.
- d. Total pemanas perbagian dari pekerjaan dapat dikontrol dengan elektrik timer.
- e. Pada sebuah pemanas efisiensinya tidak pernah lebih dari 50% dari harga peralatan pemanas pada umumnya.

5. Komponen Elektronika

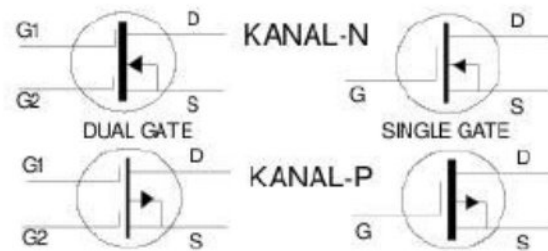
Komponen elektronika daya merupakan komponen yang sangat penting, dimana keberadaan komponen elektronika daya inilah yang mampu untuk mengkonversi besaran listrik dari searah menjadi besaran listrik bolak-balik dan sebaliknya, juga untuk mengatur frekuensi yang diharapkan, dan lain sebagainya.

5.1 MOSFET

MOSFET merupakan singkatan dari Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor yang merepresentasikan bahan-bahan penyusunnya yang terdiri dari logam, oksida dan semikonduktor (Baskara Internalis, 2007). Terdapat 2 jenis MOSFET yaitu tipe NPN atau N channel dan PNP atau biasa disebut P channel. MOSFET dibuat dengan menyusun lapisan oksida pada semikonduktor dari tipe NPN maupun PNP dan lapisan logam diletakkan di atasnya.

Biasanya bahan semikonduktor pilihan adalah silikon, namun beberapa produsen IC, terutama IBM, mulai menggunakan campuran silikon dan germanium (SiGe) sebagai kanal MOSFET. Sayangnya, banyak semikonduktor dengan karakteristik listrik yang lebih baik daripada silikon, seperti galium arsenid (GaAs), tidak membentuk antarmuka semikonduktor-ke-isolator yang baik sehingga tidak cocok untuk MOSFET. Hingga kini terus diadakan penelitian untuk membuat isolator yang dapat diterima dengan baik untuk bahan semikonduktor lainnya. Untuk mengatasi peningkatan konsumsi daya akibat kebocoran arus gerbang, dielektrik κ tinggi menggantikan silikon dioksida sebagai isolator gerbang, dan gerbang logam kembali digunakan untuk menggantikan polisilikon. Gerbang dipisahkan dari kanal oleh lapisan tipis

isolator yang secara tradisional adalah silikon dioksida, tetapi yang lebih maju menggunakan teknologi *silicon oxynitride*. Beberapa perusahaan telah mulai memperkenalkan kombinasi dielektrik κ tinggi + gerbang logam di teknologi 45 nanometer. (Baskara Internalis, 2007)

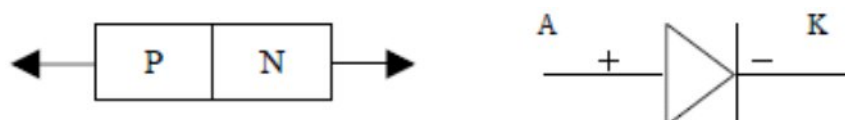


Gambar 2. Skema MOSFET Sederhana

Sumber: (Choirul Anam, 2008)

5.2 Dioda

Dioda atau *diode* adalah sambungan bahan p-n yang berfungsi terutama sebagai penyearah. Bahan tipe-p akan menjadi sisi anoda sedangkan bahan tipe-n akan menjadi katoda. Bergantung pada polaritas tegangan yang diberikan kepadanya, dioda bisa berlaku sebagai sebuah saklar tertutup (apabila bagian anoda mendapatkan tegangan positif sedangkan katodanya mendapatkan tegangan negatif) dan berlaku sebagai saklar terbuka (apabila bagian anode mendapatkan tegangan negatif sedangkan katode mendapatkan tegangan positif). Kondisi tersebut terjadi hanya pada diode ideal-konseptual. Pada dioda faktual (riil), perlu tegangan lebih besar dari 0,7V (untuk dioda yang terbuat dari bahan silikon) pada anoda terhadap katoda agar dioda dapat menghantarkan arus listrik. Tegangan sebesar 0,7V ini disebut sebagai tegangan halang (*barrier voltage*). Dioda yang terbuat dari bahan Germanium memiliki tegangan halang kira-kira 0,3V. (Choirul Anam, 2008)

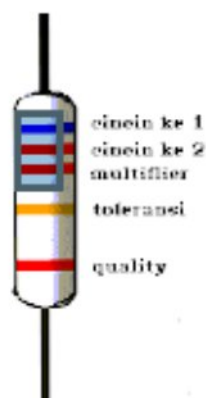


Gambar 3. Susunan dan Simbol Dioda

Sumber: (Choirul Anam, 2008)

5.3 Resistor

Hambatan adalah komponen elektronika yang selalu digunakan dalam setiap rangkaian elektronika karena dia berfungsi sebagai pengatur arus listrik. Hambatan disingkat dengan huruf "R" (huruf R besar). Satuan Hambatan adalah Ohm, yang menemukan adalah George Simon Ohm (1787-1854), seorang ahli fisika bangsa Jerman. Hambatan listrik dapat didistribusikan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 4. Resistor

Sumber: (Choirul Anam, 2008)

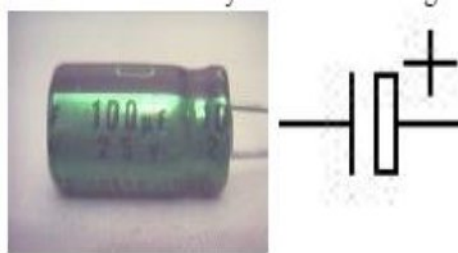
Perhatikan gambar 5 disamping, sebuah Hambatan mempunyai jumlah cincin sebanyak 5 diantaranya yaitu cincin pertama, cincin kedua, cincin ketiga (multiplier), cincin keempat (toleransi), dan cincin kelima (kualitas). Pada gambar 5 kita dapatkan bahwa Hambatan tersebut berwarna biru, merah, merah, emas dan merah.

5.4 Kapasitor

Kondensator (*Capasitor*) adalah suatu alat yang dapat menyimpan energi di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kondensator memiliki satuan yang disebut Farad. Ditemukan oleh Michael Faraday (1791-1867). Kondensator kini juga dikenal sebagai "kapasitor", namun kata "kondensator" masih dipakai hingga saat ini. Pertama disebut oleh Alessandro Volta seorang ilmuwan Italia pada tahun 1782 (dari

bahasa Italia *condensatore*), berkenaan dengan kemampuan alat untuk menyimpan suatu muatan listrik yang tinggi dibanding komponen lainnya. Kebanyakan bahasa dan negara yang tidak menggunakan bahasa Inggris masih mengacu pada perkataan bahasa Italia "*condensatore*", seperti bahasa Perancis *condensateur*, Indonesia Kondensator dan Jerman atau Spanyol *Condensador*.

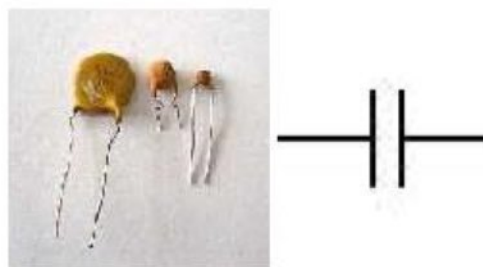
- a. Kondensator diidentikkan mempunyai dua kaki dan dua kutub yaitu positif dan negatif serta memiliki cairan elektrolit dan biasanya berbentuk tabung.



Gambar 5. Salah Satu Jenis Kondensator Beserta Lambangnya

Sumber: (Choirul Anam, 2008)

- b. Sedangkan jenis yang satunya lagi kebanyakan nilai kapasitasnya lebih rendah, tidak mempunyai kutub positif atau negatif pada kakinya, kebanyakan berbentuk bulat pipih berwarna coklat, merah, hijau dan lainnya seperti tablet atau kancing baju yang sering disebut kapasitor (*capacitor*).



Gambar 6. Salah Satu Jenis Kapasitor Beserta Lambangnya

Sumber: (Choirul Anam, 2008)

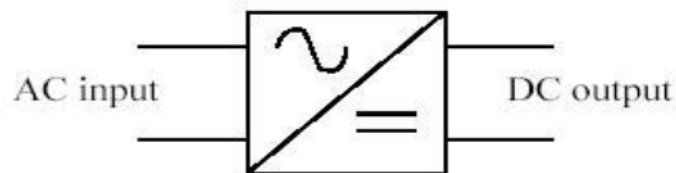
Namun kebiasaan dan kondisi serta artikulasi bahasa setiap negara tergantung pada masyarakat yang lebih sering menyebutkannya. Kini kebiasaan orang tersebut hanya menyebutkan salah satu nama yang paling dominan digunakan atau lebih sering didengar. Pada masa ini, kondensator sering disebut kapasitor (*capacitor*) ataupun sebaliknya yang pada ilmu elektronika disingkat dengan huruf (C).

6. Rangkaian Daya

rangkaian daya yaitu rangkaian yang merupakan jalur tegangan utama motor bisa 220V, 380V, 660V, bahkan 6.6 kV, dan sebagainya. Aliran arus ke motor ditentukan oleh kondisi anak kontak dari kontaktor utama.

6.1 *Rectifier*/Penyearah

Penyearah berfungsi mengkonversi besaran AC ke besaran DC dengan menggunakan dioda, thyristor atau pensaklaran terkontrol. Diagram blok penyearah ditunjukkan seperti Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Penyearah

Sumber: (Albert Z N, 2007)

a. Penyearah gelombang penuh dengan center-tap

Penyearah dengan *center tap* memerlukan dua dioda dan akan menghasilkan tegangan yang lebih rata dibanding penyearah setengah gelombang.

b. Penyearah tak terkontrol 1 fasa gelombang penuh

Penyearah digunakan untuk mengubah besaran AC menjadi besaran DC. Penyearah tipe ini dipilih karena pada aplikasi dilapangan sumber AC 1 fasa lebih mudah ditemukan daripada sumber AC 3 fasa. Selain itu, penyearah jenis ini menyediakan tegangan keluaran rata-rata yang lebih tinggi, *ripple* pada tegangan keluarannya lebih kecil dan frekuensi ripple yang lebih tinggi dibandingkan dengan penyearah satu fasa setengah gelombang. Dengan demikian, kebutuhan untuk menghaluskan gelombang arus beban dan tegangan beban menjadi lebih sederhana. Di dalam penyearah 1 fasa gelombang penuh, terdapat empat dioda yang konduksi secara berpasangan. Oleh karena itu akan diperoleh tegangan output yang lebih rata, sedang frekuensi *ripple*-nya menjadi dua kali dari frekuensi input.

6.2 Inverter

Inverter merupakan alat yang dapat mengkonversi besaran listrik DC menjadi besaran listrik AC (Habibi, 2007). Prinsip kerja sebuah inverter satu fasa sederhana ditunjukkan pada gambar 8. Salah satu jenis inverter yang biasa digunakan adalah inverter jenis jembatan penuh. Inverter jenis ini sederhana dan mudah dioperasikan. Rangkaian inverter ini terdiri dari empat buah saklar semikonduktor, sebuah sumber arus DC dan sebuah *driver* untuk menjalankan keempat saklar tersebut.

Urutan pensaklaran MOSFET S1, S2, S3, dan S4 adalah sebagai berikut;

- Saklar S1, dan S4 *on*, sementara saklar S2, dan S3 *off* arus pada beban mengalir dari A ke B
- Saklar S2, dan S3 *on*, sementara saklar S1, dan S4 *off* arus pada beban mengalir dari A ke B

Dari operasi pensaklaran diatas akan diperoleh bentuk gelombang tegangan beban diperlihatkan Gambar 8.



Gambar 8. Bentuk Gelombang Tegangan pada Beban.

Sumber: (Albert Z N, 2007)

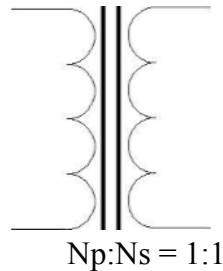
Dari gambar gelombang arus pada beban dapat diketahui bahwa pada inverter terdapat tiga level tegangan yaitu +VDC, -VDC, nol.

7. Rangkaian Kontrol

Inverter merupakan suatu rangkaian yang terdiri dari beberapa saklar yang bekerja secara teratur dan terus menerus untuk menghasilkan tegangan bolak-balik. Agar proses pensaklaran sesuai dengan yang diharapkan, maka diperlukan suatu rangkaian pemicuan. Frekuensi pensaklaran ditentukan oleh frekuensi pulsa yang dihasilkan oleh rangkaian pemicuan.

7.1 TRAFODRIVER

Trafo *driver* merupakan sebuah trafo yang difungsikan untuk mendrive MOSFET (sebagai saklar) yang digunakan pada rangkaian inverter.



Gambar 9. Skema sederhana trafo driver

Sumber: (Albert Z N, 2007)

7.2 Trafo Step Down

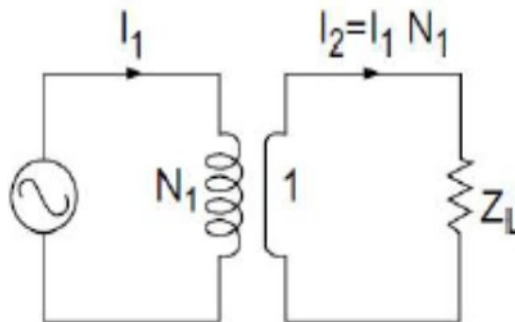
Trafo *step down* digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran inverter. Karena trafo ini bekerja pada frekuensi tinggi (minimal 30KHz), maka digunakan inti ferit, dimana dengan inti ferit trafo dapat bekerja karena inti sebagai pembantu penginduksian tidak jenuh jika dikenai frekuensi dengan orde kilo hertz sampai 60 MHz.

8. Prinsip Kerja Pemanas Induksi

Pemanasan Induksi (*Induction Heating*) pada prinsipnya dapat dijelaskan dengan prinsip kerja transformator. Transformator bekerja karena adanya fenomena induksi elektromagnetik yang mana ketika ada suatu rangkaian tertutup yang di dalamnya mengalir arus AC menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah pula. Seperti yang terjadi transformator, medan elektromagnetik (pada kumparan primer) yang berubah-ubah tersebut mempengaruhi kumparan sekunder dan pada kumparan sekunder timbul ggl induksi dan mengalir arus AC jika kumparan sekunder merupakan rangkaian tertutup (Noviansyah, 2011).

Besarnya arus pada kumparan sekunder (I_2) ditentukan dari besarnya arus pada kumparan primer (I_1) dan perbandingan lilitan antara kumparan primer dan sekunder (N_1/N_2). Seperti pada Gambar 1, ketika kumparan sekunder kita ganti dengan 1 kawat ($N_2 = 1$) dan dijadikan rangkaian tertutup, maka kita akan

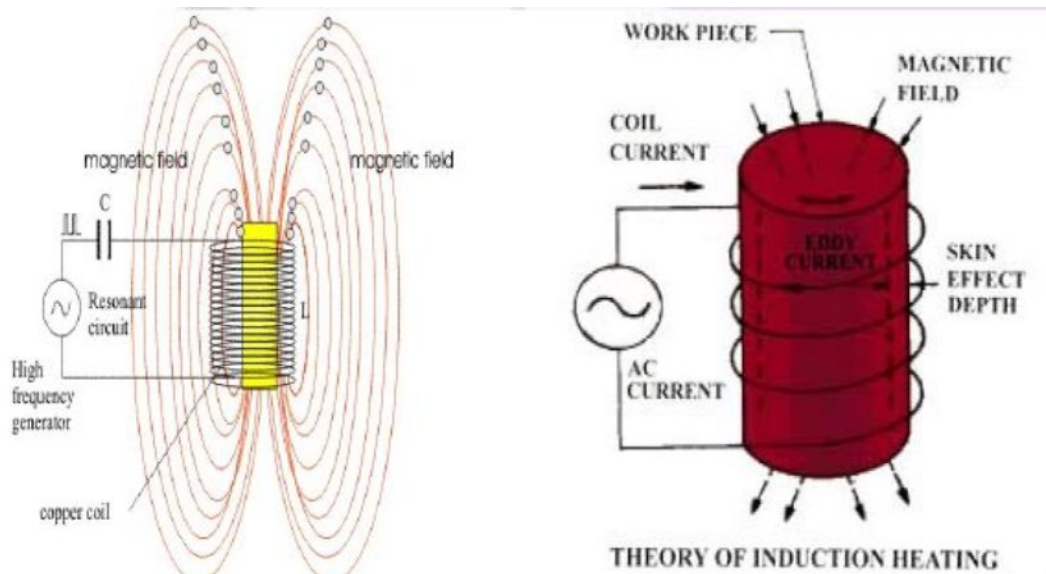
mendapatkan nilai perbandingan lilitan yang besar dari kumparan primer dan sekunder dan akan menimbulkan arus sekunder (I_2) yang besar. Hal ini juga akan diikuti oleh kenaikan panas yang cukup besar karena adanya kenaikan beban tersebut (Noviansyah, 2011).



Gambar 10. Cara Kerja Transformator dengan Kumparan Sekunder Diganti 1 Kawat

Sumber : (Noviansyah, 2011)

Sebuah sumber listrik digunakan untuk menggerakkan sebuah arus bolak balik atau yang biasa disebut sebagai arus AC yang besar melalui sebuah kumparan induksi. Kumparan induksi ini dikenal sebagai kumparan kerja. Aliran arus yang melalui kumparan ini menghasilkan medan magnet yang sangat kuat dan cepat berubah dalam kumparan kerja. Benda kerja yang akan dipanaskan ditempatkan dalam medan magnet ini dengan arus AC yang sangat kuat. Ketika sebuah beban masuk dalam kumparan kerja yang di aliri oleh arus AC, maka nilai arus yang mengalir akan mengikuti besarnya sesuai dengan nilai beban yang masuk. Medan magnet yang tinggi akan dapat menyebabkan sebuah beban dalam kumparan kerja tersebut melepaskan panasnya, sehingga panas yang ditimbulkan oleh beban tersebut justru dapat melelehkan beban itu sendiri. Karena panas yang dialami oleh beban akan semakin tinggi, hingga mencapai nilai titik leburnya.



Gambar 11. Prinsip Kerja Pemanas Induksi

Sumber : (Noviansyah, 2011)

9. Arus Eddy

Arus Eddy memiliki peranan yang paling dominan dalam proses pemanasan induksi. Panas yang dihasilkan pada material sangat bergantung kepada besarnya arus Eddy yang diinduksikan oleh lilitan penginduksi. Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan tersebut. Jika terdapat bahan konduktif disekitar medan magnet yang berubah-ubah tersebut, maka pada bahan konduktif tersebut akan mengalir arus yang disebut arus eddy (Budiman, 2013).

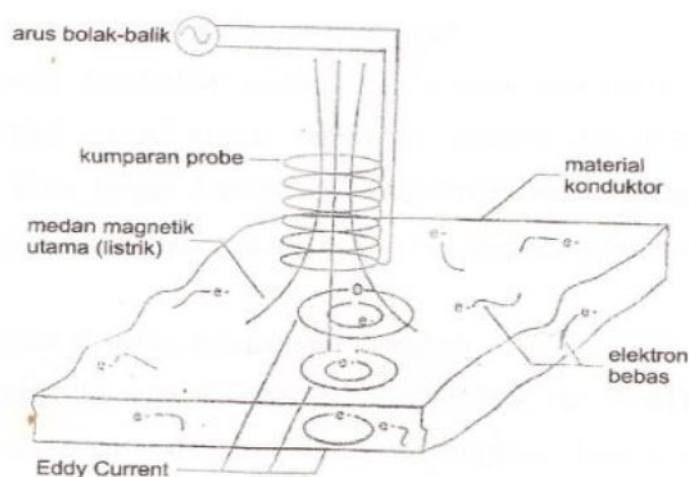
Eddy Current adalah induksi arus listrik bolak-balik didalam material konduktif oleh medan magnetik bolak-balik (yang dihasilkan oleh arus listrik bolak-balik tersebut). Arus induksi didalam material yang termodifikasiakan menimbulkan perubahan nilai arus induksi yang melalui material tersebut. Perubahan arus induksi dapat dianalisis dan dapat menunjukkan kemungkinan modifikasi dari material.

Prinsip *Eddy Current* didasarkan pada hukum Faraday yang menyatakan bahwa pada saat sebuah konduktor dipotong garis-garis gaya dari medan magnetic

atau dengan kata lain, gaya elektromotif (EMF) akan terinduksi kedalam konduktor. Menurut Budiman (2013). Besarnya EMF bergantung pada :

1. ukuran, kekuatan, dan keraoatan medan magnet.
2. kecepatan pada saat garis-garis gaya magnet dipotong.
3. kualitas konduktor.

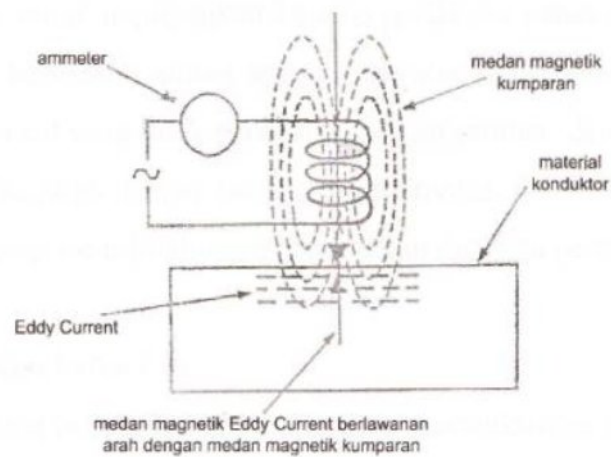
Medan magnetik bolak-balik pada kumparan probe merupakan perpindahan medan magnetic yang menghasilkan EMF pada konduktor. Medan magnetic ini berbentuk lingkaran sehingga arus yang dihasilkan sebagai *Eddy Current* juga berbentuk lingkaran. Kata 'Eddy' menggambarkan bentuk lingkaran dari arus induksi pada konduktor. Ukuran dari medan magnetic ditentukan oleh ukuran dari kumparan probe, ferrite, dan pelindung kumparan. Sedangkan kekuatan dari medan magnetic menyatakan jumlah lilitan dan arus dalam kumparan probe. Proksimasi menyatakan jarak angkat terhadap benda uji (*lift-off*), *fill factor* dan geometri dari desain kumparan *probe*. Kecepatan pada saat garis-garis gaya adalah fungsi frekuensi, dan kualitas konduktor dinyatakan sebagai konduktivitas, dan permeabilitas benda uji. Aliran *Eddy Current* dalam bentuk jejak-jejak lingkaran dan medan magnetik ditunjukkan oleh Gambar 12.



Gambar 12. Eddy Current Terinduksi dalam Material Konduktor

Sumber : (Noviansyah, 2011)

Karena *Eddy Current* adalah perjalanan arus listrik didalam konduktor, maka akan menghasilkan medan magnetik juga. Hukum Lenz menyatakan bahwa medan magnetic dari arus terinduksi memiliki arah yang berlawanan dengan penyebab arus terinduksi. Medan magnetik *Eddy Current* berlawanan arah terhadap hasil medan magnetik kumparan. Ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 13. Arah Medan Magnet *Eddy Current* Berlawanan dengan Arah Medan Magnet Kumparan.

Sumber : (Noviansyah, 2011)