

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Umum Kendaraan Listrik

Mobil Listrik dikenal dalam istilah *Electric road vehicles* yang di Amerika dikembangkan menjadi dua jenis, diantaranya ; *Zero Emission Vehicles (ZEV)* dan *Low Emission Vehicles (LEV)*. Mobil listrik yang di kategorikan menjadi *Zero Emission Vehicles* adalah Mobil Baterai (*Battery Operate*) dan Mobil *Fuel cell*. Sedangkan yang dikategorikan menjadi LEV adalah mobil yang sistem penggerakannya memadukan antara konvensional engine dengan motor listrik (mobil Hybride).

Baru baru ini perusahaan mobil asal jepang suzuki juga mengeluarkan produk mobil elektrik terbaru mereka. Mobil konsep pertama yang diperkenalkan adalah *Swift Range Extender* yang dijalankan secara elektrik. Jadi, mobil ini digerakkan oleh motor yang mendapat suplai dari baterai. Dengan baterai yang terisi penuh, mobil dapat berjalan sejauh 15 km. Jika kekuatan baterai berkurang, mesin 660 cc berfungsi sebagai pengisi sehingga tak perlu khawatir habis. Uji coba terhadap mobil ini sudah dilakukan sejak musim gugur tahun 2010. Mobil ramah lingkungan kedua *Concept-G* yang mewakili impian Suzuki akan mobil kecil (*compact car*). Konsepnya mengacu pada *Alto* yang dipasarkan di Jepang dan telah berkembang baik dari segi ekonomis, konsumsi bahan bakar, keamanan, maupun kenyamanan. Suzuki berharap *Concept-G* bisa menunjukkan kepada 5 publik

bahwa Suzuki memiliki teknologi dan kemampuan dalam membuat mobil kecil dengan tetap mempertahankan unsur keceriaan kenyamanan.

Indonesia juga tak mau ketinggalan untuk mengembangkan mobil listrik yang ramah lingkungan. Baru baru salah satu anak bangsa yang bernaung di bawah LIPI berhasil mengembangkannya dengan nama merk MARLIP (marmut listrik LIPI).

LIPI (2011) menyatakan bahwa "...Marlip ini menggunakan sumber tenaga aki 200Ah/12V sebanyak 3 buah. Untuk perjalanan nonstop selama 8 jam, membutuhkan pengisian ulang selama 8 jam pula. Mobil ini dapat menempuh kecepatan rata-rata 40 km/jam. Mobil Marlip, terdiri dari banyak macam, seperti kereta pasien, mobil golf, kendaraan patroli polisi, hingga kendaraan perumahan untuk 2 penumpang. Saat ini sedang dikembangkan juga mobil listrik yang di beri tambahan sel surya diatapnya, untuk menambah daya jelajah mebil tersebut. Selain mobil, motor pun juga ada yang menggunakan sistem penggerak mesinnya dengan lisrtik.

Sepeda motor listrik menggunakan aki jadi tidak mengeluarkan polusi sama sekali. Keunggulan motor listrik yang tampak pada kutipan berikut. Sepeda motor listrikpun bisa jalan dengan kecepatan 60 km/jam, sehingga berkendara didalam kota sangat cukup. Jika hanya digunakan untuk pergi ke sekolah, kampus atau tempat kerja.

Motor tenaga listrik ini difasilitasi lampu sein, lampu penerangan, klakson, dan lampu rem. Motor Listrik sangat hemat, saat ini tarif dasar 6 listrik untuk kwh mencapai Rp. 600, sehingga beban biaya listrik untuk 80 km mencapai Rp. 13.000.

Sedangkan untuk menempuh jarak 80 km dengan sepeda motor konvensional diperkirakan membutuhkan bahan bakar bensin 2 liter berarti sepeda motor ini terbebani Rp.13.000. Ternyata motor listrik mempunyai keunggulan dengan perlengkapan yang sudah lengkap seperti sepeda motor bensin. Karena dengan komponen yang sama dengan sepeda motor, motor listrik justru lebih hemat walau menempuh jarak yang sama. Motor listrik pun bisa jalan dengan kecepatan 60 km/jam. Bukan hanya motor atau mobil, ternyata bus pun sekarang ini sudah ada yang menggunakan sumber tenaganya dari listrik bukan bahan bakar fosil. Dan sangat dijamin tanpa polusi, ini merupakan perkembangan yang sangat positif bukan hanya untuk manusia tetapi juga untuk alam.

Bus listrik atau disebut juga sebagai trolley bus dalam bahasa Inggris atau electric bus adalah bus yang digerakkan dengan energy listrik yang diperoleh dari jaringan atas seperti halnya kereta api listrik ataupun trem listrik.

2.2 Prinsip Kerja Kendaraan Listrik

Energi Listrik yang bersumber dari listrik PLN atau Generator melalui alat pengisian (Charger) yang berfungsi untuk mengubah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC) sesuai dengan kebutuhan pengisian dari baterai melalui dua buah kabel yaitu positif dan negatif untuk mengisi baterai. Baterai terdiri dari 4 unit, 12 Volt, 12A dipasang secara seri dimana didapatkan keluaran 48 Volt, 48A.

Setelah baterai penuh, listrik yang tersimpan pada baterai dapat digunakan untuk memutar motor penggerak melalui solenoid yang memiliki 2 terminal yang berfungsi menyambung dan memutus dimana terminal positif pada baterai dipasang

pada salah satu terminal pada solenoide dihubungkan ke kendali kecepatan, dimana solenoide ini dikendalikan oleh dua buah saklar pembatas yang di pasang pada sistem gas dan rem yang hanya dapat berfungsi setelah kunci kontak dinyalakan. motor listrik ganda di depan dan belakang sebagai penggerak utama mobil Super Rimac. Untuk mengatur besar kecilnya putaran motor penggerak digunakan kendali kecepatan yang memiliki 4 buah terminal utama yang diberi tanda masing masing terminal Bat +, Bat -, A2, M -, dan juga tiga buah terminal untuk input dari potensio atau induktif. Kabel positif yang melalui solenoid dihubungkan pada terminal Bat + pada kendali kecepatan.

Kendali yang inputnya berupa sinyal analog dari potensio dan juga induktif trhole sensor yang dipasang pada mekanisme gas, agar kendaraan dapat bergerak maju, mundur dan netral digunakan saklar mekanis maju mundur SM3 (saklar mekanis maju mundur) yang di beri nama masing masing terminal a1, a2, b, c d1, d2 terminal C dihubungkan ke terminal A2 kendali kecepatan, melalui terminal A2 pada motor penggerak. Terminal M- pada kendali kecepatan dihubungkan langsung ke A1 pada motor penggerak. Untuk terminal B dan D pada SM3 memiliki dua buah kutub dimana difungsikan untuk membolak balikkan input arah arus pada terminal S1 dan S2 pada motor penggerak.

2.3 Pengertian Termoelektrik

Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Untuk menghasilkan listrik,

material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dengan demikian, untuk mendinginkan udara, tidak diperlukan kompresor pendingin seperti halnya di mesin-mesin pendingin konvensional.

Untuk keperluan pembangkitan listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe n dan tipe p. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik. Persoalan untuk Termoelektrik adalah untuk mendapatkan bahan yang mampu bekerja pada suhu tinggi. Secara umum, beberapa material pembangkit termoelektrik yang telah diproduksi menggunakan :

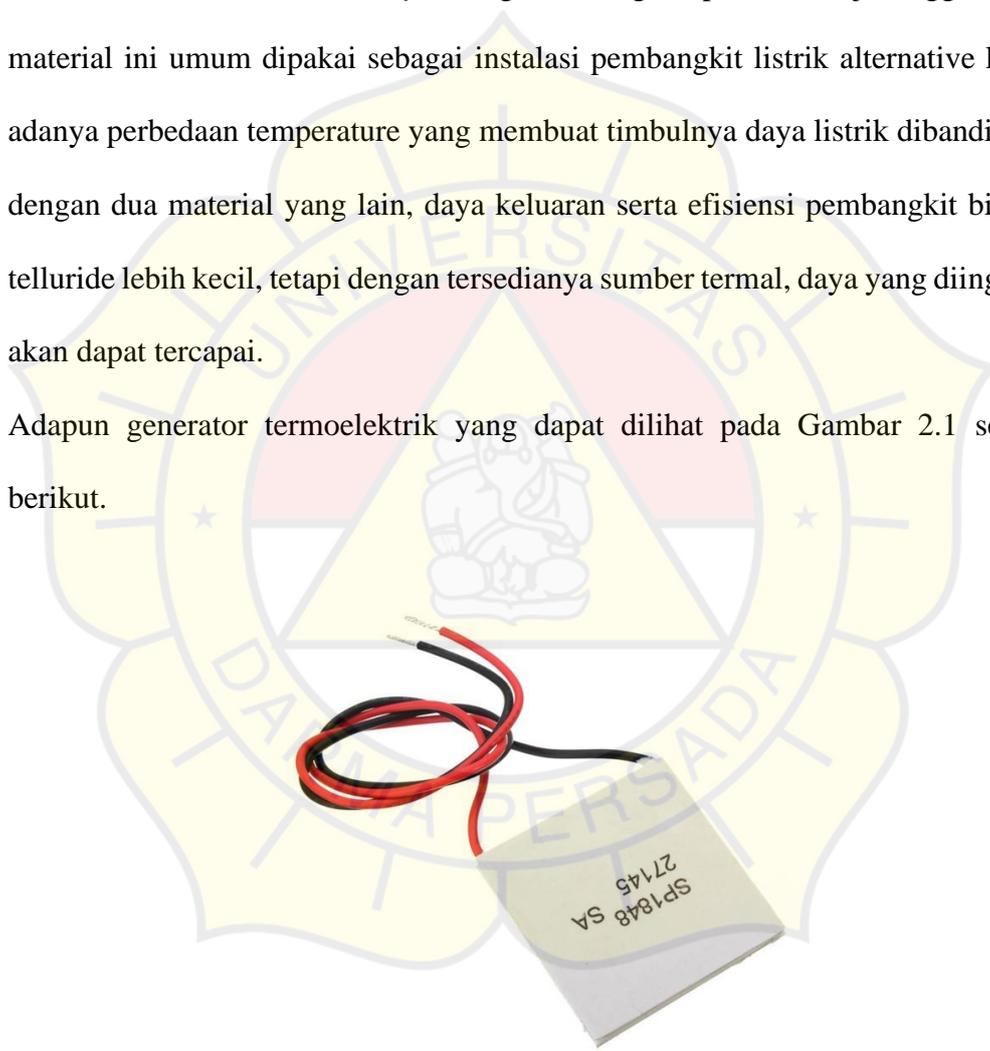
1. *Silicon Germanium*
2. *Lead Telluride*
3. *Bismuth Telluride Alloys*

Ketiga material ini terbagi berdasarkan temperatur kerjanya. Untuk material Silicon Germanium , temperatur kerja paling tinggi diantara 2 material lainnya. Material ini dapat menyerap panas dalam range temperature 7500C sampai 10000C . Material ini dapat menyerap beda potensial yang lebih tinggi dari material termoelektrik lainnya. Kekurangan dari material ini adalah tingginya harga, sehingga menaikkan ongkos produksinya.

Material Lead Telluride merupakan material dengan temperature kerja menengah, dibawah material Silicon Germanium, dan diatas temperature kerja Bismuth Telluride alloys. Material ini mempunyai temperature kerja dengan rentang antara 400°C – 650°C.

Material yang paling umum digunakan dalam elemen termoelektrik adalah material *Bismuth Telluride alloys*. Dengan rentang temperature kerja hingga 3500C, material ini umum dipakai sebagai instalasi pembangkit listrik alternative karena adanya perbedaan temperature yang membuat timbulnya daya listrik dibandingkan dengan dua material yang lain, daya keluaran serta efisiensi pembangkit bismuth telluride lebih kecil, tetapi dengan tersedianya sumber termal, daya yang diinginkan akan dapat tercapai.

Adapun generator termoelektrik yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Generator Termoelektrik

2.4 Prinsip Kerja Termoelektrik

Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan *efek seebeck* yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain kemudian tegangan yang dihasilkan termoelektrik generator dapat langsung digunakan untuk menyalakan lampu atau dapat di transfer ke baterai.

Saat generator termoelektrik diletakan pada benda panas maka generator termoelektrik tersebut akan mengubah energi menjadi panas disisi satu dan sisi yang satunya dingin, pada dinding termoelektrik yang dingin didistribusikan dengan heatsink dan kipas kemudian kipas bersirkulasi mendinginkan heatsink supaya pada dinding sisi dingin termoelektrik tetap stabil. Agar sisi yang panas dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal dan kemudian listrik dapat digunakan untuk menyalakan lampu atau disimpan ke baterai.

Untuk keperluan pembangkitan listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna. Semikonduktor yang digunakan adalah semikonduktor tipe n dan tipe p. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik. Terdapat tiga sifat bahan termoelektrik yang penting, yaitu :

1. *Koefisien Seebeck* (s)
2. Konduktifitas panas (k)
3. *Resistivitas* (ρ)

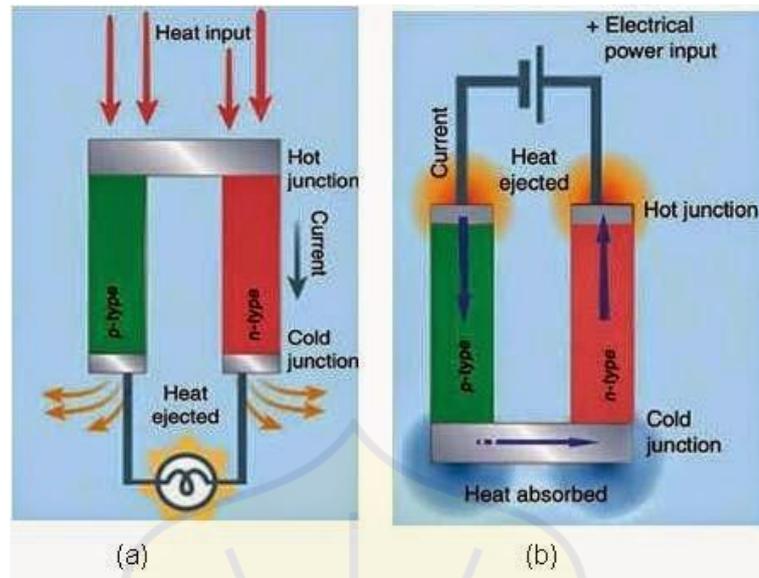
2.4.1 Efek Seebeck

Efek seebeck merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur di antara kedua sambungan ini, maka akan terjadi arus listrik akan terjadi. Prinsip ini lah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik). Setiap bahan memiliki koefisien seebeck yang berbeda-beda. Semakin besar koefisien seebeck ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan thermocouple.

2.4.2 Efek Peltier

Kebalikan dari dari efek seebeck, yaitu jika dua logam yang berbeda disambungkan kemudian arus listrik dialirkan pada sambungan tersebut, maka akan terjadi fenomena pompa kalor. Prinsip inilah yang digunakan termoelektrik sebagai pendingin/pompa kalor.

Termoeletrik terdiri dari dua buah bahan berbeda yang disambungkan. Material yang dipilih memiliki koefisien seebeck cukup tinggi. Saat ini kebanyakan termolektrik menggunakan Bismuth-Telluride sebagai bahan pembuatnya. Gambar 2.2 (a) Termoelektrik sebagai generator listrik; (b) Generator sebagai pendingin / pompa kalor.



Gambar 2. 2 (a) Termoelektrik sebagai generator listrik;
 (b) Generator sebagai pendingin / pompa kalor

Perangkat modul termoelektrik yang dijual biasanya berbentuk plat tipis. Salah satu termoelektrik yang dapat dengan mudah kita dapatkan berukuran 40 mm x 40 mm dengan ketebalan 5 mm dan terdapat dua buah kabel (biasanya merah dan hitam). Jika di antara kedua permukaan termoelektrik terapat perbedaan temperatur maka tegangan listrik dihasilkan dan tegangan tersebut dapat kita ukur melalui dua kabel termoelektrik dengan menggunakan voltmeter. Jika perbedaan temperatur cukup besar, maka termoelektrik dapat menghidupkan sebuah lampu LED kecil. Listrik yang dihasilkan pada thermoelectric generator adalah listrik searah (DC).

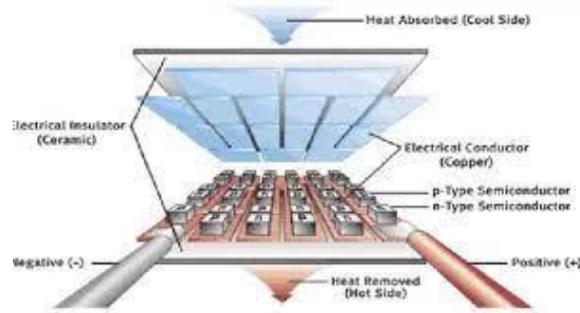
Sebaliknya jika termoelektrik ini diberi tegangan maka akan terjadi perbedaan temperatur antar permukaan yang satu dengan yang lain. Tegangan ini akan menyebabkan adanya aliran arus yang melalui bahan termoelektrik sehingga terjadi *efek peltier*. Fenomena inilah yang disebut dengan pompa kalor. Jika

dibandingkan dengan teknologi refrigerasi kompresi uap, termoelektrik memiliki berbagai macam kelebihan antara lain: Pemanas atau pendingin dapat dengan mudah diatur dengan menyesuaikan arah arusnya, sangat ringkas, tidak berisik, tidak butuh perawatan khusus, tidak butuh refrigeran (Freon), tidak ada getaran. Walau bagaimanapun juga, termoelektrik masih memiliki kekurangan yaitu performanya masih rendah.

2.4.3 Elemen Peltier

Konsep dasar dari sel peltier yaitu *efek Seebeck* dan *efek Peltier*, dimana sel peltier ini merupakan bahan semikonduktor yang bertipe-p dan tipe-n. semikonduktor merupakan bahan setengah penghantar listrik yang disebabkan perbedaan gaya ikat diantara atom-atom, ion-ion, atau molekul-molekul.

Semua ikatan zat padat atau bahan padat yang lainnya disebabkan adanya gaya listrik dan tergantung pada jumlah elektron terluar pada struktur atom. Bahan padat yang dimaksud adalah bahan padat seperti, isolator, semikonduktor ataupun superkonduktor. Untuk penyusun dari bahan padat terbagi menjadi dua bagian yaitu bahan padat kristal dan bahan padat amorf. Bahan padat kristal merupakan suatu bahan padat dengan struktur partikelnya disusun secara keteraturan yang panjang dan berulang secara periodic, pada bahan jenis *Silicon*, *Germanium*, *Gallium*, *Arsenid*, dsb. Sedangkan bahan padat amorf struktur partikelnya disusun dengan keteraturan yang pendek dan tidak berulang secara periodic, seperti Amorphos Silicon.

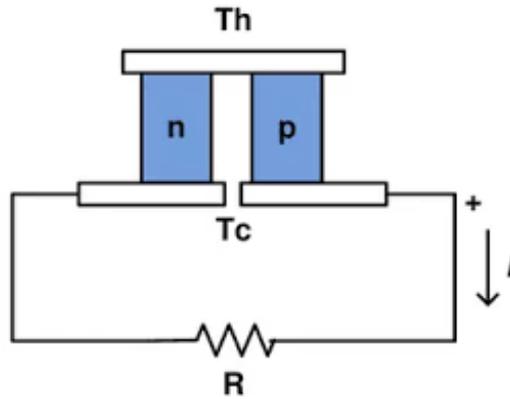


Gambar 2. 3 Struktur elemen peltier

Semikonduktor terbagi menjadi dua yaitu semikonduktor intrinsik (murni) dan semikonduktor ekstrinsik (tidak murni). Semikonduktor intrinsik merupakan jenis semikonduktor yang murni dengan elektron valensi empat, misalnya silicon dan germanium, keduanya terletak pada kolom empat dan table periodic. Silicon dan germanium dibentuk oleh tetrahedral dimana setiap atom akan menggunakan bersama atom elektron valensi dengan atom – atom tetangganya.

Semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor tidak murni dimana terjadi penambah elektron. Proses penambahan disebut Doping untuk mendapatkan elektron valensi bebas dalam jumlah lebih banyak dan permanen, yang diharapkan agar dapat menghantarkan listrik. Doping dibagi menjadi dua tipe yaitu tipe-N dan tipe-P, dimana semikonduktor tipe-N yang menghasilkan muatan negatif dan merupakan donor untuk melepaskan elektron sedangkan semikonduktor tipe-P menghasilkan muatan positif.

Dalam penjelasan semikonduktor maka dapat disimpulkan bahwa didalam sel Peltier terdapat bahan semikonduktor tipe-N dan tipe P yang apabila kedua tipe tersebut diberi arus listrik akan menimbulkan beda potensial.



Gambar 2. 4 Modul termoelektrik mengkonversi panas menjadi listrik

Keterangan dari Gambar 2.4 modul termoelektrik mengkonversi panas menjadi listrik yaitu antara lain :

T_h = temperature hot

T_c = temperature cool

P = konduktor +

N = konduktor -

R = hambatan

I = arus listrik (ampere)

2.4.4 Heatsink

Heatsink adalah material yang dapat menyerap dan mendisipasi panas dari suatu tempat yang bersentuhan dengan sumber panas dan membuangnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Heatsink digunakan pada beberapa teknologi pendingin seperti refrijerasi, air conditioning, dan radiator pada mobil.



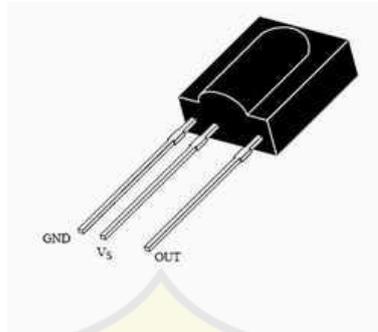
Gambar 2. 5 Heatsink

Sebuah heatsink dirancang untuk meningkatkan luas kontak permukaan dengan fluida disekitarnya, seperti udara. Kecepatan udara pada lingkungan sekitar, pemilihan material, desain sirip (atau bentuk lainnya) dan surface treatment adalah beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan thermal dari heatsink. Thermal adhesive (juga dikenal dengan thermal grease) ditambahkan pada dasar permukaan heatsink agar tidak ada udara yang terjebak di antara heatsink dengan bagian yang akan diserap panasnya.

2.5 Pengertian Infrared Sensor Temperatur

Infrared (IR) detector atau sensor inframerah adalah komponen elektronika yang dapat mengidentifikasi cahaya inframerah (Infrared, IR). Sensor inframerah atau detektor inframerah saat ini ada yang dibuat khusus dalam satu modul dan dinamakan sebagai Infrared Detector Photomodules. Infrared Detector Photomodules merupakan sebuah chip detektor inframerah digital yang didalamnya

terdapat fotodiode dan penguat (amplifier). Adapun bentuk dan konfigurasi Pin IR Detector Photomodules TSOP yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Infrared TSOP

Konfigurasi pin infrared (IR) receiver atau penerima inframerah tipe TSOP adalah output (Out), Vs (VCC + 5 volt DC), dan Ground (GND). Sensor penerima inframerah TSOP (TEMIC Semiconductors Optoelectronics Photomodules) memiliki fitur-fitur utama yaitu fotodiode dan penguat dalam satu chip, keluaran aktif rendah, konsumsi daya rendah, dan mendukung logika TTL dan CMOS. Detektor inframerah atau sensor inframerah jenis TSOP (TEMIC Semiconductors Optoelectronics Photomodules) adalah penerima inframerah yang telah dilengkapi filter frekuensi 30-56 kHz, sehingga penerima langsung mengubah frekuensi tersebut menjadi logika 0 dan 1. Jika detektor inframerah (TSOP) menerima frekuensi carrier tersebut, maka pin keluarannya akan berlogika 0. Sebaliknya, jika tidak menerima frekuensi carrier tersebut, maka keluaran detektor inframerah (TSOP) akan berlogika 1.

Sistem sensor inframerah pada dasarnya menggunakan inframerah sebagai media untuk komunikasi data antara receiver dan transmitter. Sistem akan bekerja

jika sinar inframerah yang dipancarkan terhalang oleh suatu benda yang mengakibatkan sinar inframerah tersebut tidak dapat terdeteksi oleh penerima. Keuntungan atau manfaat dari sistem ini dalam penerapannya antara lain sebagai pengendali jarak jauh, alarm keamanan, otomatisasi pada sistem. Pemancar pada sistem ini terdiri atas sebuah LED infra merah yang dilengkapi dengan rangkaian yang mampu membangkitkan data untuk dikirimkan melalui sinar inframerah, sedangkan pada bagian penerima biasanya terdapat foto transistor, fotodiode, atau inframerah modul yang berfungsi untuk menerima sinar inframerah yang dikirimkan oleh pemancar.

LED adalah suatu bahan semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. Pengembangan LED dimulai dengan alat inframerah dibuat dengan galliumarsenide. Cahaya inframerah pada dasarnya adalah radiasi elektromagnetik dari panjang gelombang yang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio, dengan kata lain inframerah merupakan warna dari cahaya tampak dengan gelombang terpanjang, yaitu sekitar 700 nm sampai 1 mm. Adapun infrared sensor temperature yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 sebagai berikut.



Gambar 2. 7 Infrared Sensor Temperature

2.6 Pengertian Multimeter

Multimeter adalah alat yang berfungsi untuk mengukur Voltage (Tegangan), Ampere (Arus Listrik), dan Ohm (Hambatan / Resistansi) dalam satu unit. Multimeter sering disebut juga dengan istilah Multitester atau AVO Meter (singkatan dari Ampere Volt Ohm Meter). Terdapat 2 jenis Multimeter dalam menampilkan hasil pengukurannya yaitu Analog Multimeter (AMM) dan Digital Multimeter (DMM).

Sehubungan dengan tuntutan akan keakurasian nilai pengukuran dan kemudahan pemakaiannya serta didukung dengan harga yang semakin terjangkau, Digital Multimeter (DMM) menjadi lebih populer dan lebih banyak dipergunakan oleh para Teknisi Elektronika ataupun penghobi Elektronika.

Dengan perkembangan teknologi, kini sebuah Multimeter atau Multitester tidak hanya dapat mengukur Ampere, Voltage dan Ohm atau disingkat dengan

AVO, tetapi dapat juga mengukur Kapasitansi, Frekuensi dan Induksi dalam satu unit (terutama pada Multimeter Digital). Beberapa kemampuan pengukuran Multimeter yang banyak terdapat di pasaran antara lain :

1. Voltage (Tegangan) AC dan DC satuan pengukuran Volt
2. Current (Arus Listrik) satuan pengukuran Ampere
3. Resistance (Hambatan) satuan pengukuran Ohm
4. Capacitance (Kapasitansi) satuan pengukuran Farad
5. Frequency (Frekuensi) satuan pengukuran Hertz
6. Inductance (Induktansi) satuan pengukuran Henry
7. Pengukuran atau Pengujian Dioda
8. Pengukuran atau Pengujian Transistor

Adapun multimeter digital yang dapat dilihat pada Gambar 2.8 sebagai berikut.



Gambar 2. 8 Multimeter Digital

2.7 Pengertian Rem

Rem adalah komponen kendaraan yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan laju kendaraan. Sistem ini harus terpasang pada setiap kendaraan darat, air, dan udara karena sebagai penjamin keamanan. Selain itu, rem diharapkan bisa menghentikan kendaraan di tempat manapun dengan jarak dan waktu yang memadai serta kendaraan yang terarah dan terkendali. Saat kendaraan bergerak, meskipun sudah tidak terhubung lagi dengan transmisi, kendaraan masih akan tetap bergerak pada jarak tertentu sebelum berhenti dengan sendirinya. Mesin merubah energi panas menjadi energi kinetik (energi gerak) untuk menggerakkan kendaraan. Sebaliknya, prinsip kerja rem adalah mengubah energi kinetik kembali menjadi energi panas untuk menghentikan kendaraan. Rem bekerja disebabkan oleh adanya gesekan antara gerak putar (*disc*) dengan penekanan (*pad*).

Sistem rem dari suatu kendaraan merupakan salah satu elemen terpenting dari suatu kendaraan, karena merupakan bagian terpenting untuk keamanan kendaraan. Sistem rem kendaraan harus mampu mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan secara aman baik pada kondisi jalan lurus maupun belok pada segala kecepatan. Pada dasarnya besar ideal gaya rem yang dibutuhkan setiap kendaraan adalah berbeda. Begitu juga distribusi ideal gaya rem pada setiap roda untuk setiap kendaraan berbeda. Hal ini berarti bahwa sistem rem dari satu kendaraan tidak langsung memenuhi kebutuhan pengereman untuk kendaraan lain.

Sistem pengereman menghasilkan gaya pengereman pada kendaraan dengan mengubah energi kinetik dari kendaraan menjadi energi panas dengan memanfaatkan gaya gesek, sehingga dibutuhkan beberapa persyaratan yaitu :

1. Sistem pengereman tidak mempengaruhi gerak roda saat dipakai.
2. Sistem pengereman harus bisa berfungsi dengan baik dalam keadaan *maximum speed* dengan beban pada kendaraan.
3. Pengoperasian rem harus mudah tanpa menimbulkan kelelahan dan usaha berlebih pada pengendara.
4. Harus menghasilkan pengereman yang pasti dan mudah dalam mengecek dan mengontrol kondisi sistem pengereman.
5. Sistem pengereman harus memiliki durabilitas dan reliabilitas yang baik pada segala cuaca.

Sistem rem adalah mekanisme perlambatan kecepatan kendaraan agar laju kendaraan bisa dikendalikan. Sistem pengereman, menggunakan prinsip perubahan energi dari energi gerak ke energi panas. Sehingga, gerakan pada roda kendaraan bisa berkurang.

Seperti yang dijelaskan diatas, sistem rem ini merupakan mekanisme perlambatan kecepatan kendaraan. Dengan kata lain, sistem pengereman menjadi salah satu komponen keselamatan aktif pada mobil dan motor. Fungsi dari sistem rem antara lain yaitu :

1. Mengurangi kecepatan kendaraan secara berkala atau drastis.
2. Menahan kendaraan agar tidak bergerak maju atau mundur.

2.8 Tipe – Tipe Rem

Adapun tipe-tipe rem berdasarkan dari beberapa hal antara lain sebagai berikut.

2.8.1 Berdasarkan Konstruksi

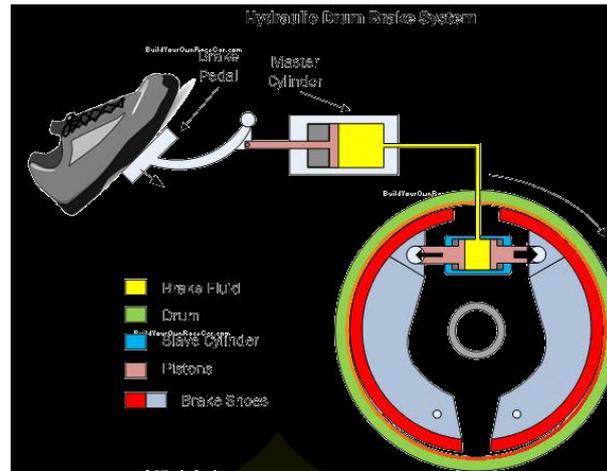
Berdasarkan konstruksinya, rem dibedakan menjadi dua macam yaitu rem tromol (*Drum Brake*) dan rem cakram (*Disc Brake*). Adapun contoh gambar perbedaan antara *drum brake* dengan *disc brake* yang dapat dilihat pada Gambar 2.9 sebagai berikut.



Gambar 2. 9 *Drum Brake* dan *Disc Brake*

2.8.1.1 Rem Tromol

Rem tromol atau *drum brake* adalah salah satu konstruksi rem yang cara pengeremannya dengan menggunakan tromol rem (*drum brake*), sepatu rem (*brake shoe*), dan silinder roda (*wheel cylinder*). Pada dasarnya jenis rem tromol yang digunakan roda depan dan belakang tidak sama, hal ini dimaksudkan supaya sistem rem dapat berfungsi dengan baik.



Gambar 2. 10 Rem Tromol Hidrolik

Cara kerja rem tromol yaitu saat pengemudi menginjak pedal rem, master silinder menekan fluida kemudian fluida meneruskan tekanan ke silinder roda, silinder roda kemudian menekan sepatu rem yang akhirnya sepatu rem yang membawa kampas rem menekan tromol dan menimbulkan gesekan antara kampas rem dan tromol, gesekan inilah yang menyebabkan kendaraan melambat atau berhenti.

Adapun bagian-bagian utama rem tromol adalah sebagai berikut:

1. Silinder Roda (*Wheel Cylinder*)

Wheel cyliner berfungsi untuk menekan *brake shoe* (sepatu rem) ke *brake drum* (tromol rem). Didalam silinder roda terpasang satu atau dua buah piston beserta seal tergantung dari konstruksi rem tromolnya. Bila *brake pedal* diinjak, tekanan minyak rem dari *master silinder* disalurkan ke semua *wheel silinder*,

tekanan didalam *wheel silinder* menekan piston kearah luar dan selanjutnya piston menekan *brake shoe* menggesek tromol sehingga roda berhenti. Bila *brake pedal* dilepas, maka *brake shoe* kembali ke posisi semula oleh tarikan pegas, roda bebas.

2. **Sepatu Rem (*Brake Shoe*)**

Brake shoe berfungsi untuk menahan putaran *brake drum* melalui gesekan.

Pada bagian luar *brake shoe* terbuat dari asbes dengan tembaga atau campuran plastik yang tahan panas.

3. **Pegas pengembali (*Return Spring*)**

Berfungsi untuk mengembalikan sepatu rem (*Brake shoe*) ke posisi semula pada saat tekanan silinder roda turun.

4. ***Backing Plate***

Berfungsi sebagai tumpuan untuk menahan putaran drum sekaligus sebagaiudukan silinder roda. Rem tromol memiliki tipe yang berbeda beda.

Diantaranya adalah:

a. **Tipe *Leading and Trailing***

Jenis ini hanya menggunakan satu silinder roda dengan dua piston di dalamnya. Sepatu kiri disebut *leading* dan sepatu kanan disebut *trailing*. Sepatu roda yang tidak berhubungan dengan silinder roda ditumpu oleh *anchor pin* sehingga tidak dapat bergerak. Gaya pengereman tipe ini sama kekuatannya pada saat maju atau mundur sehingga lebih cocok untuk rem roda belakang.

b. **Tipe *Uniservo***

Konstruksi model ini dilengkapi dengan dua buah silinder di bagian atas sepatu primer dan sekunder. Bila pedal rem ditekan maka piston bergerak

mendorong sepatu rem searah putaran tromol. Akibatnya timbul gesekan dan diteruskan ke sepatu sekunder. Gerakan sepatu *trailing* dijaga silinder roda dan tenaga rem yang dihasilkan besar. Bila putaran tromol terbalik, maka kedua sepatu rem akan menjadi *trailing* dan efek pengereman jelek. Kekuatan pengereman jenis ini lebih kuat pada saat maju dibanding mundur, sehingga lebih cocok untuk rem depan.

c. Tipe Duoservo

Tipe ini hampir sama dengan tipe *leading and trailing*, perbedaannya pada sepatu rem yang tidak berhubungan dengan silinder roda tidak diikat mati, atau diikat mengambang sehingga dapat bergerak. Seperti pada tipe *uniservo*, tekanan hidrolik yang diterima sepatu rem diteruskan ke sepatu rem yang lain. Kekuatan pengereman tipe ini sama kuatnya antara maju dan mundur, sehingga lebih cocok untuk rem belakang tetapi kekuatannya lebih kuat dibanding tipe *leading and trailing*.

d. Tipe Two Leading Single Action

Konstruksi model ini pada bagian atas sepatu primer dan sekunder di pasang sebuah silinder roda dengan penyetel sepatu rem menjadi *leading* jika berputar sebaliknya maka kedua sepatu rem menjadi *trailing*.

e. Tipe Two Leading Double Action

Konstruksi model ini dilengkapi dengan dua buah silinder roda yang dipasang di atas dan di bawah sepatu primer dan sekunder. Pada model ini baik maju maupun mundur kedua sepatu menjadi *trailing*.

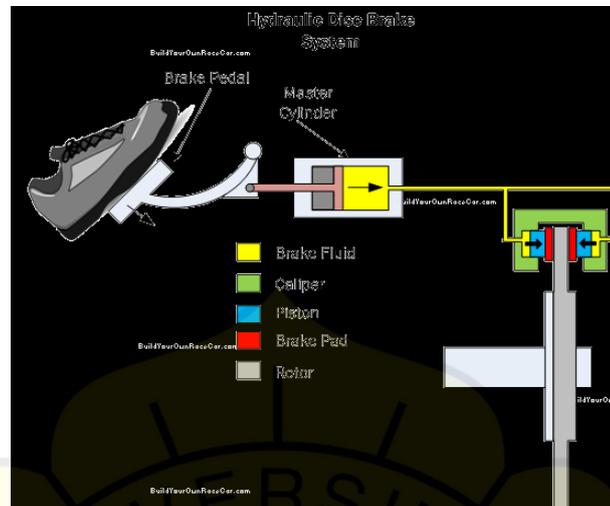
2.8.1.2 Rem Cakram

Cara kerja rem cakram (*Disc Brake*) berbeda dengan cara kerja rem tromol, walaupun secara prinsip, keduanya menggunakan gaya yang sama untuk mengurangi kecepatan yaitu gaya gesek. Pada sistem rem cakram, gaya gesek yang digunakan untuk mengurangi kecepatan adalah gaya gesek antara kampas rem (*brake pad*) dengan piringan rem (*disc brake rotor*).

Rem piringan efektif karena rotor piringannya terbuka terhadap aliran udara yang dingin dan karena rotor piringan tersebut dapat membuang air dengan segera. Karena itulah gaya pengereman yang baik dapat terjamin walau pada kecepatan tinggi. Sebaliknya berhubung tidak adanya *self servo effect*, maka dibutuhkan gaya pedal yang lebih besar dibandingkan dengan rem tromol. Karena alasan inilah booster rem biasanya digunakan untuk membantu gaya pedal.

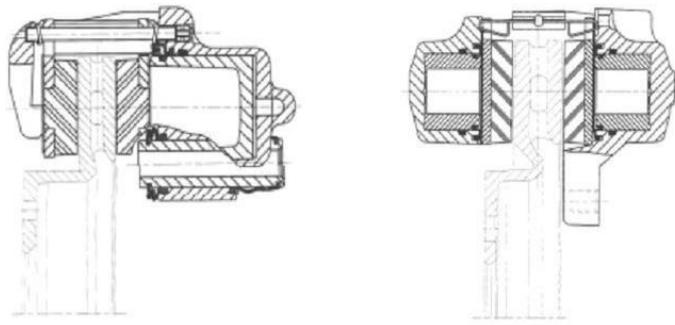
Pada saat mobil bergerak maka piringan rem akan mengikuti pergerakan roda. Karena keduanya disatukan dengan poros yang sama maka kecepatan berputar piringan rem dan roda adalah sama. Menghentikan pergerakan piringan roda sama dengan menghentikan pergerakan roda. Proses pengereman diawali pada saat kita menekan pedal rem. Kemudian gaya tersebut akan diteruskan mulai dari pedal rem melalui jalur rem hingga mencapai piston pada kaliper rem. Piston tersebut akan mendorong kampas rem hingga bergesekan dengan piringan rem. Dengan konstruksi pada kaliper maka kampas rem di sisi lain juga akan bergerak hingga bergesekan dengan piringan rem. Sehingga kedua kampas rem tersebut menjepit piringan rem. Gaya gesek yang terjadi akan menghambat putaran dari piringan rem

dan sekaligus akan mengurangi kecepatan putar dari roda, sehingga kecepatan terus berkurang dan akhirnya roda berhenti.



Gambar 2. 11 Rem Cakram Hidrolik

Celah rem atau celah antara piringan rem dan kampas rem akan disesuaikan secara otomatis oleh penutup piston (karet) jadi tidak perlu di setel dengan tangan. Pada saat pedal rem di lepas maka piston akan kembali ke posisi semula sebelum ditekan karena karet akan kembali ke bentuk semula seperti sebelum pedal rem ditekan. Adapun tipe-tipe kaliper rem cakram yang dapat dilihat pada Gambar 2.13 sebagai berikut.



Gambar 2.12 *Sliding dan Fixed Caliper*

1. Fixed Type (Double Piston)

Sebuah tipe *fixed caliper* mempunyai sepasang piston untuk mendorong rotor rem cakram pada kedua sisinya.

2. Floating Caliper

Sebuah tipe *floating caliper* tertempel pada piston hanya pada satu sisi dari *caliper*. Piston berperan sebagai pembuat tekanan hidrolis, dan apabila bantalan rem cakram ditekan, *caliper* akan bergerak ke arah yang berbeda dari piston, dan mendorong rotor rem cakram dari kedua sisinya.

Akibatnya, *caliper* akan menghentikan perputaran roda. Ada beberapa jenis *floating caliper*, tergantung dari metode menempelkan *caliper* ke piringan putar. Jenis yang pertama adalah *full floating caliper*. Dan yang kedua adalah *semi floating caliper*.

2.8.2 Berdasarkan Tempatnya

Berdasarkan tempatnya, rem dibagi menjadi 2 yaitu rem roda dan rem propeller atau rem poros antara lain sebagai berikut.

2.8.2.1 Rem Roda

Rem roda merupakan rem yang di tempatkan pada roda belakang maupun roda depan yaitu proses pengereman (penghentian atau pengurangan kecepatan) dilakukan dengan menahan roda agar tidak berputar. Berdasarkan tempatnya, pada rem roda ini baik rem tromol maupun rem cakram bisa di pasang pada rem roda ini. Pada rem tromol, daya pengereman diperoleh dari sepatu rem yang menekan dinding tromol bagian dalam yg berputar bersama-sama dengan roda. Sedangkan pada rem cakram, daya pengereman diperoleh dari sepatu rem yang menekan Disc brake yang berputar mengikuti roda. Umumnya rem roda depan dan belakang memiliki *braking force* dan dimensi yang berbeda.

2.8.2.2 Rem Propeller

Rem *propeller* merupakan proses pengereman yang dilakukan dengan menghambat poros penggerak kendaraan. Nama lain dari rem ini adalah Retarder, ada beberapa jenis retarder yaitu Hidrolik dan *Electromagnetic*. Rem jenis ini ditempatkan pada poros *propeller* atau poros penggerak roda. Rem ini sering digunakan pada kendaraan besar seperti Bus dan Truk untuk membantu *Engine Brake*.

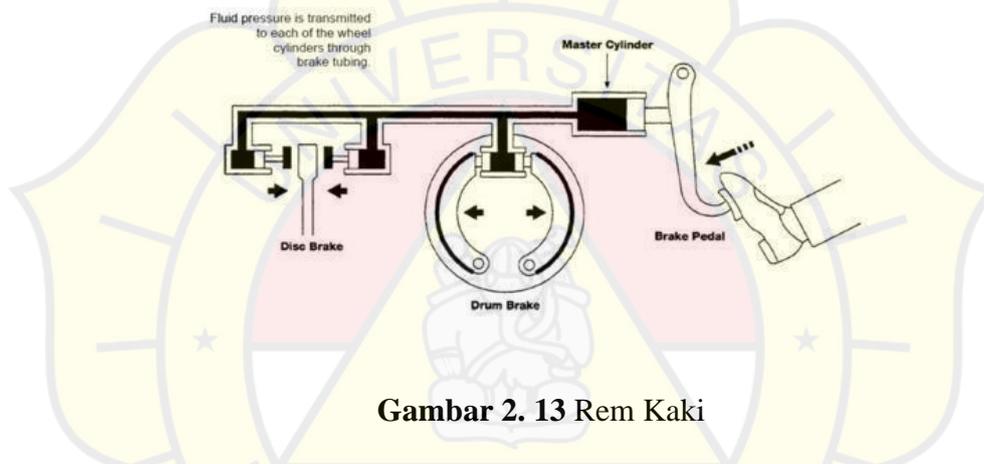
2.8.3 Berdasarkan Layanannya

Berdasarkan layanannya, rem dibedakan menjadi 2 yaitu *foot brake* dan *hand brake* antara lain sebagai berikut.

2.8.3.1 Foot Brake

Rem kaki digunakan untuk mengontrol kecepatan dan menghentikan kendaraan dengan cara memijak atau menginjaknya. Rem kaki (*foot brake*) dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu rem hidraulis (*hydraulic brake*) dan rem pneumatis (*pneumatis brake*).

Rem hidraulis mempunyai keuntungan lebih respon (lebih cepat) dan konstruksi lebih sederhana, sedangkan rem pneumatis menggunakan kompresor yang menghasilkan udara bertekanan untuk menambah daya pengereman.



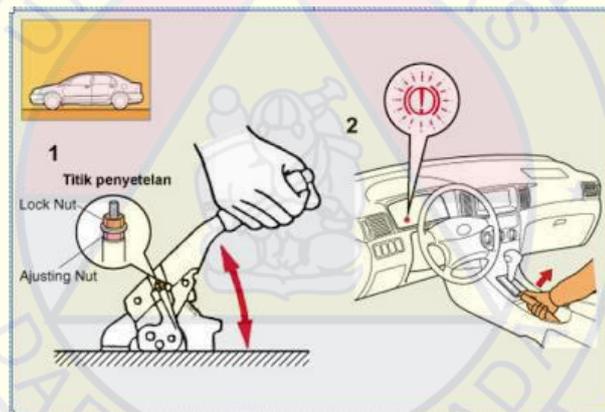
Gambar 2. 13 Rem Kaki

2.8.3.2 Hand Brake

Rem tangan adalah sebuah sistem pengereman pada kendaraan bermotor, khususnya kendaraan roda empat maupun lebih. Rem parkir umumnya berfungsi untuk menahan mobil bergerak dalam posisi kemiringan jalan yang miring, terutama dalam keadaan menanjak maupun menurun. Fungsi rem parkir ini dapat digunakan sebagai pengganti rem utama jika mobil dalam kondisi berhenti yang cukup lama, semisal dalam kondisi kemacetan atau saat parkir. Setiap mobil, truk,

maupun bus, dilengkapi dengan rem parkir dengan tuas dan cara kerja yang bervariasi, bergantung pada model mobil dan juga bobot kendaraan.

Meskipun rem tangan digunakan pada saat mobil berhenti, akan tetapi durasi penggunaan rem ini juga harus kita perhatikan. Pada mobil yang diparkir cukup lama (beberapa hari) penggunaan rem tangan ini tidak direkomendasikan karena dapat merusak *disk brake* terutama untuk daerah yang memiliki kelembaban tinggi atau mobil habis melewati genangan air yang dapat menimbulkan kerak pada cakram maupun tromol mobil. Menggunakan rem tangan direkomendasikan pada durasi antara 5 menit sampai 1 hari, lebih dari satu hari lebih baik mobil diganjal dengan kayu misalnya saat ditinggal pergi ke luar kota.



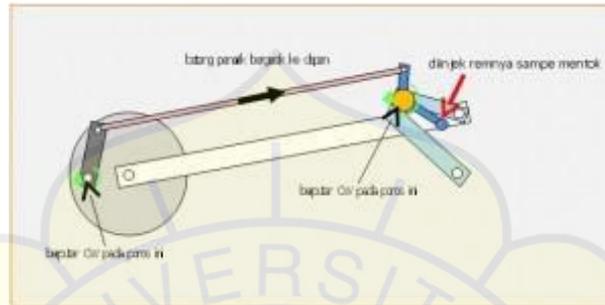
Gambar 2. 14 Rem Tangan

2.8.4 Berdasarkan Mekanisme Penggerakannya

Berdasarkan mekanisme penggerakannya dan penyalur daya, rem dibagi menjadi 4 antara lain sebagai berikut.

2.8.4.1 Rem Mekanis

Sistem rem mekanis ini merupakan sistem rem yang paling sederhana dan tidak terlalu banyak memakai komponen. Sistem Rem ini umumnya digunakan untuk kendaraan kecil seperti sepeda. Komponen terpenting dalam sistem rem jenis mekanis ini yaitu sepatu rem, tuas dan kawat / seling.



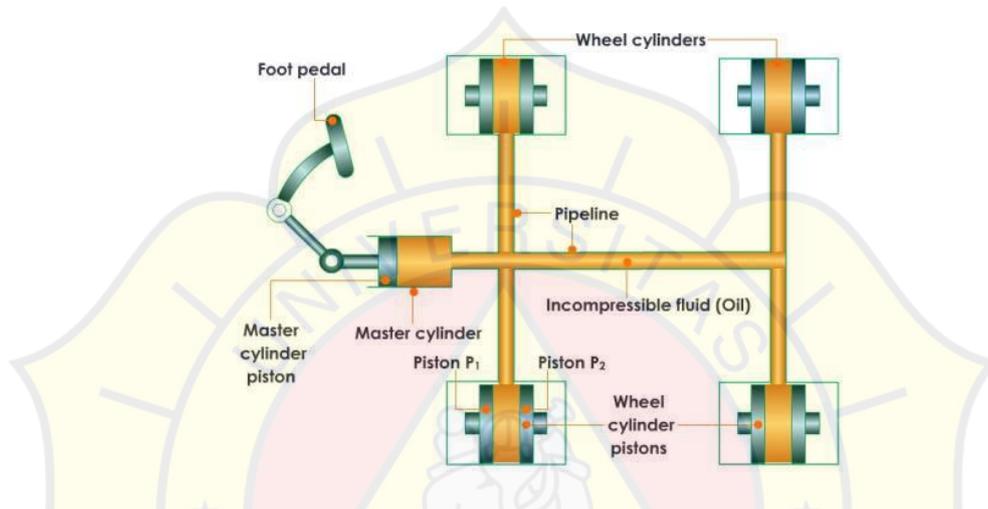
Gambar 2. 15 Sistem Rem Mekanis

Sistem rem mekanis lebih mudah dalam perawatan dan perbaikan karena konstruksi yang sederhana. Gerakan dorong dari tuas akan diteruskan ke sepatu rem dengan menggunakan kawat / seling, semakin kuat / panjang tuas bergerak maka semakin kuat sepatu rem menekan tromol atau lintasan.

2.8.4.2 Rem Hidraulik

Sistem rem hidraulik merupakan sistem rem yang menggunakan media fluida cair sebagai media penghantar/ penyalur gaya. Sistem rem hidrolik ini sangat rumit dan perlu perawatan yang berkala karena komponen-komponen rawan terhadap kerusakan, apabila terjadi kerusakan/ kebocoran pada selang atau sambungan-sambungan penyalur fluida maka akan mengganggu siklus aliran atau kerja dari sistem rem hidrolik.

Komponen terpenting dalam sistem rem hidrolik yaitu sepatu rem, master cylinder, actuator cylinder, dan tuas. Sistem rem hidrolik ini bekerja yaitu apabila tuas pedal rem diinjak maka tuas akan meneruskan gerakan ke master cylinder, didalam master cylinder terjadi perubahan dari energi kinetik menjadi tekanan pada minyak rem yang kemudian diteruskan menuju *actuator / caliper cylinder* melewati selang / pipa-pipa tekanan tinggi.



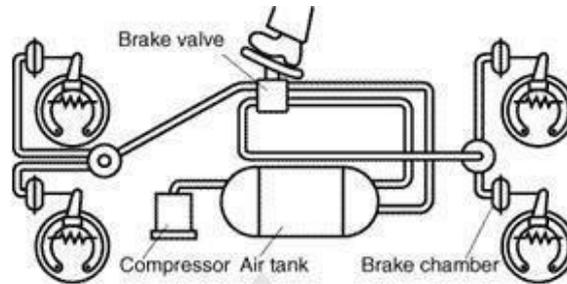
Gambar 2. 6 Sistem Rem Hidraulik

Setelah tekanan sampai di *caliper cylinder* kemudian gaya tekan dirubah kembali menjadi gerakan/kinetik oleh *caliper cylinder* untuk menggerakkan sepatu rem untuk menekan tromol / disc supaya terjadi proses pengereman.

2.8.4.3 Rem Angin

Full air brake (FAB) atau sering di sebut sistem rem Angin adalah sistem pengereman yang memanfaatkan tekanan udara untuk menekan sepatu rem. Di sini

pedal rem berperan hanya membuka dan menutup katup rem (*brake valve*). dan mengatur aliran udara bertekanan yang keluar dari tangki udara (*air tank*).

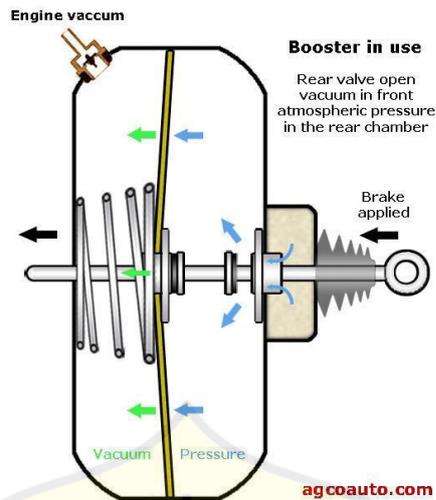


Gambar 2. 17 Sistem Rem Angin

Rem angin ini memiliki beberapa komponen untuk mendukung kerja dari suatu komponen lainnya, yaitu *air tank*, *air kompresor*, *brake valve*, *relay valve*, *brake cember*, *cam shaft*, *air dryer*, *regulator*.

2.8.4.4 Brake Booster

Brake booster adalah alat yang memakai perbedaan antara *engine vacuum* dan tekanan atmosfer untuk menghasilkan tenaga pendorong bantuan yang proporsional untuk tenaga penekan pedal dalam mengoperasikan rem. Maksud dari tenaga pendorong bantuan adalah untuk meringankan gaya yang diaplikasikan oleh kaki pengemudi saat mengerem, sehingga rem terasa ringan ketika ditekan.



Gambar 2. 18 Cara Kerja Booster Rem

Brake booster menggunakan vacuum yang dihasilkan pada beragam intake mesin. (pompa vacuum pada kasus mesin diesel karena menggunakan *turbocharger* atau *supercharger*, tekanan intake sama dengan atmosfer).

Booster rem dapat dipasang menjadi satu dengan master silinder (tipe integral) atau dapat juga dipasangkan secara terpisah dari master silinder itu sendiri. Tipe integral ini banyak digunakan pada kendaraan penumpang dan truk kecil.

Booster rem mempunyai diaphragm (membran) yang bekerja dengan adanya perbedaan tekanan antara tekanan atmosfer dan kevakuman yang dihasilkan dalam intake manifold. Master silinder dihubungkan dengan pedal dan membran untuk memperoleh daya pengereman yang besar dari langkah pedal yang minimum.

Untuk kendaraan berjenis diesel, booster remnya diganti dengan pompa vakum karena kevakuman yang terjadi pada intake manifold pada mesin diesel tidak cukup kuat.

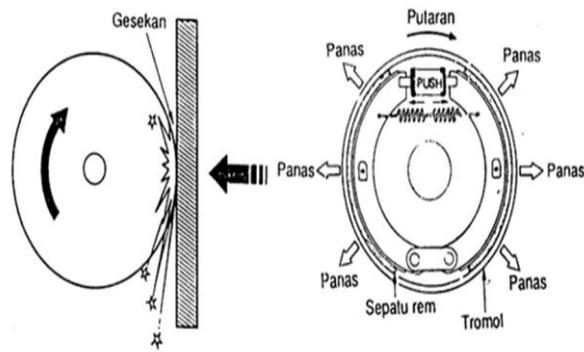
Booster body dibagi menjadi bagian depan (ruang tekanan tetap/*constant pressure chamber*) dan bagian belakang (ruang tekanan variasi/ *variable pressure chamber*), dan masing-masing ruang dibatasi dengan membran dan piston booster.

Mekanisme katup pengontrol (*control valve mechanisme*) berfungsi untuk mengatur tekanan didalam ruang tekan variasi. Termasuk katup udara (*air valve*), katup vacum (*vacuum valve*). Katup pengontrol dan sebagainya yang berhubungan dengan pedal rem melalui batang penggerak katup (*valve operating rod*).

2.9 Prinsip Kerja Sistem Rem

Ini adalah kebalikan dari mesin, mesin kendaraan menggunakan perubahan energi dari panas pembakaran ke bentuk gerakan. Namun, saat gerakan itu disalurkan ke roda ada mekanisme lain yang memperlambat putaran roda dengan mengubahnya kembali ke bentuk energi panas.

Ini karena energi tidak dapat dibuat dan dimusnahkan, sehingga untuk menghilangkan sebagian energi pada roda kendaraan, harus diubah ke bentuk lain. Bentuk perubahan energi yang paling memungkinkan adalah perubahan ke energi panas. Adapun prinsip kerja sistem rem menggunakan prinsip perubahan energi dari energi gerak ke energi panas yang dapat dilihat pada Gambar 2.19 sebagai berikut.



Gambar 2.19 Prinsip kerja sistem rem

2.10 Propertis Kendaraan

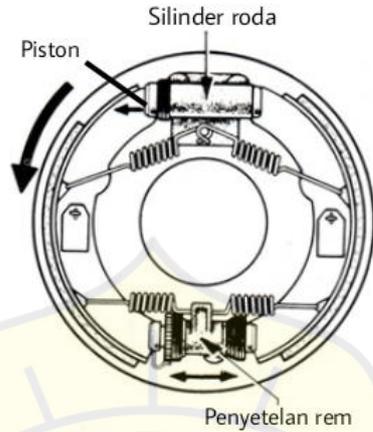
Adapun data parameter kendaraan yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Data parameter kendaraan

Item	Nilai	Satuan
Massa kendaraan m	8000	Kg
Wheel base l	4175	mm
Wheel track front t_f	1670	mm
Wheel track rear t_r	1650	mm

Adapun kendaraan ini adalah kendaraan bus medium yang ditinjau dari salah satu produsen kendaraan dengan modifikasi ukuran yang tidak signifikan. Massa kendaraan dipilih dengan mengikuti aturan pemerintah di Indonesia yaitu Nomor 55 Tahun 2012 Pasal 5 Ayat 3 tentang jumlah berat yang diperbolehkan

pada kendaraan bus medium adalah 8000 kg. Adapun tipe rem yang ditinjau adalah drum brake. Pada Gambar 2.20 berikut ditampilkan komponen utama drum brake.



Gambar 2. 20 Duo servo drum brakes

Pada Gambar 2.20 ditampilkan satu tipe brake yaitu duo servo drum brakes, di mana dasar kerja rem pada umumnya adalah dengan memanfaatkan gesekan antara shoe dengan drum untuk menahan kendaraan yang bergerak. Akibat gaya gesekan maka akan terjadi panas pada area gesekan tersebut.

2.11 Perhitungan Beban Rem

Perhitungan beban rem ini dilakukan pada satu unit rem yang menahan seperempat dari total berat kendaraan. Sebagai pendekatan, pengereman ditinjau pada gerak lurus. Dari segi energi bahwa pengereman adalah mengubah energi mekanik dari kendaraan bergerak ke dalam beberapa bentuk lain, yang menghasilkan penurunan kecepatan kendaraan. Energi gerak ini berupa energi kinetik yang berubah menjadi energi panas akibat efek gesekan antara shoe dan

drum/rotor, kemudian panas tersebut akan terlepas ke lingkungan. Semakin besar massa dan kecepatan kendaraan maka energi kinetik akan semakin besar. Energi kinetik dapat didefinisikan dengan menggunakan Persamaan (1).

$$EK = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Dimana m adalah seperempat massa kendaraan yang ditahan satu unit roda. Massa dikali dengan percepatan gravitasi adalah gaya normal roda, di mana gaya normal roda diasumsikan menjadi gaya yang ditahan oleh rem tersebut. Selanjutnya untuk menghitung jarak berhenti kendaraan setelah mulai pengereman dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2).

$$s = \frac{v_i^2}{2\mu g} \quad (2)$$

Untuk mengkalkulasikan total waktu pengereman dilakukan seperti pada Persamaan (3).

$$v_e = v_i + at \quad (3)$$

Perlambatan pengereman a dapat diperoleh dengan Persamaan (4).

$$v_e^2 = v_i^2 + 2as \quad (4)$$

Daya pengereman dapat dihitung dengan Persamaan (5).

$$Pb = \frac{EK}{t} \quad (5)$$

Di mana t adalah lama pengereman. Dan untuk menghitung heat flux dapat digunakan Persamaan (6).

$$Q = \frac{Pb}{A} \quad (6)$$

Di mana A adalah luas permukaan sentuh shoe dengan permukaan drum. Sebagai input simulasi transient termal yang menjadi acuan adalah heat flux. Heat flux adalah laju aliran panas pada permukaan rotor sebagai fungsi waktu. Heat flux dihitung dari kendaraan yang bergerak dengan kecepatan maksimum yang diizinkan di jalan raya seperti tol.

