

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Hasil Penelitian Sebelumnya**

Habibi Santoso (2018), dengan judul “Optimalisasi Untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW” pada penelitian ini dijelaskan bahwa Turbin uap yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga biomassa adalah turbin Impuls dengan 1 *shaft* karena sudu gerak dan sudu tetap pada turbin jenis ini memiliki fungsi yang berbeda, yaitu sudu tetap hanya berfungsi sebagai pengarah tekanan uap saja dan sudu gerak mengubah menjadi energi mekanis, sehingga gaya *aksial* yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin reaksi yang mana sudu tetap dan geraknya berfungsi sebagai nosel sehingga gaya *aksial* yang dihasilkan lebih besar. Pada penelitian ini menggunakan metode perancangan awal siklus *rankine*, antara lain menentukan jenis turbin apa yang digunakan apakah turbin reaksi atau impuls, berapa posos turbin, menentukan siklus sederhana, regeneratif atau siklus termodifikasi yang lain.

Farid Majedi (2017), dengan judul “Optimasi Daya dan Torsi Pada Motor 4 Tak Dengan Modifikasi *Crankshaft* dan *Porting* Pada *Cylinder Head*” pada penelitian dijelaskan bahwa Daya dan torsi sangat dipengaruhi oleh besarnya variabel *intake valve*, panjang langkah poros engkol (*crankshaft*), diameter piston dan besar ruang bakar, sehingga dengan semakin besar variabel-variabel tersebut maka semakin besar nilai daya dan torsi. Pada Penelitian ini dilakukan dengan menguji langsung

pada *Dynometer chasis*, dengan dua kondisi yaitu Kondisi mesin dengan *crankshaft* standar dan *cylinder head* standar; Kondisi mesin dengan *crankshaft* dan *cylinder head* modifikasi.

Sri Endah Susilowati (2015), dengan judul “Analisis Bentuk Permukaan Piston Terhadap Kinerja Motor Bensin” Pada penelitian ini dijelaskan bahwa Penyediaan udara bertekanan di atas kapal merupakan peralatan bantu yang dipergunakan untuk starting engine. Pada KM. GUNUNG DEMPO kompresor yang dipergunakan adalah merek NK Type : HD40, yaitu kompresor torak satu silinder dua tingkat kompresi. Kompresor tersebut pada saat ini mengalami penurunan kinerja. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja kompresor dengan cara menghitung secara teoritis data-data yang ada, kemudian dilakukan komparasi dengan hasil nyata di lapangan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini bahwa kapasitas udara yang dihasilkan oleh kompresor mengalami penurunan sehingga diperlukan waktu yang lebih lama, atau tambahan waktu sebesar 15.44 menit untuk mengisi tabung penyimpanan udara bertekanan, karena efisiensi volumetric kompresor yang seharusnya 74.94% turun menjadi 61%.

Martinus Pakiding (2018), dengan judul “Analisa efisiensi thermal pembangkit listrik tenaga panas bumi lahendong unit 5 dan 6 di tompaso” pada penelitian ini dijelaskan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) khususnya PLTP 5 dan 6 Lahendong merupakan unit pembangkit yang baru dibangun sebagai bagian dari program 35.000 MW dari pemerintah. Sebab itu perlu diketahui berapa besar efisiensi thermal yang didapat di pembangkit tersebut dan cara peningkatan

efisiensinya. Pada penelitian ini membahas analisa efisiensi thermal dari PLTP 5 dan 6 Lahendong melalui analisa tingkat keadaan dengan pendekatan termodinamika dan analisa di tiap proses pembangkit tersebut.

Vosough Amir (2012), dengan judul “ *Improving Steam Power Plant Efficiency Through Exergy Analysis: Ambient Temperature*” pada penelitian ini dijelaskan bahwa konsep energi dan exergi berguna pemanfaatan dianalisis, dan diterapkan pada sistem boiler. Energi dan aliran eksergi dalam boiler telah ditunjukkan dalam tulisan ini. Energi dan efisiensi eksergi telah ditentukan juga. Dalam ketel, itu efisiensi energi dan exergi ditemukan 89,21% dan 45,48%, masing-masing. Energi boiler dan efisiensi eksergi dibandingkan dengan yang lain bekerja juga. Telah ditemukan bahwa pembakaran kamar adalah kontributor utama untuk perusakan eksergi diikuti oleh penukar panas dari sistem boiler. Selanjutnya, Modifikasi adalah diperiksa untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga uap dengan mengurangi irreversibilitas dalam generator uap, termasuk Penurunan fraksi udara pembakaran berlebih, dan / atau tumpukan-gas suhu. Keseluruhan energi tanaman dan efisiensi eksergi keduanya meningkat sebesar 0,19%, masing-masing 0,37% ketika fraksi kelebihan udara pembakaran berkurang dari 0,4 menjadi 0,15, dan sebesar 0,84%, ketika 2,3% suhu tumpukan gas menurun dari 137 ° C hingga 90 ° C .

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1.	Habibi Santoso	Optimalisasi Untuk Menghasilkan Efisiensi Ideal Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Kapasitas 20 MW	Menentukan tekanan masuk, temperatur masuk, tekanan keluar turbin uap 20 MW dan tekanan kondensor untuk menentukan jenis turbin uap impuls atau reaksi, dengan melakukan perbandingan grafik tekanan uap dan kecepatan uap antara turbin impuls dan reaksi	Dari hasil perhitungan didapatkan turbin uap dengan jenis turbin <i>impuls</i> satu poros. Siklus yang digunakan regeneratif dengan <i>3 feedwater Heater</i> karena dapat menaikkan efisiensi menjadi 50% jika dibandingkan dengan siklus regeneratif sederhana yang efisiensinya hanya 37%
2.	Sri Endah Susilowati	Penurunan kinerja kompresor untuk starting engine di Km. Gunung Dempo	Menghitung daya kompresor dan efisiensi adiabatik keseluruhan	Kompresor yang dipergunakan dalam <i>air pressure system</i> di Km. Gunung Dempo mengalami penurunan kinerja. Kapasitas udara yang dihasilkan seharusnya 47 m <sup>3</sup> /h (sesuai spesifikasi), turun menjadi 38.22 m <sup>3</sup> /h, sehingga efisiensi volumetrisnya yang semula 74,94%

				menjadi 61.0%
3.	Farid Majedi	Optimasi daya dan torsi pada motor 4 tak dengan modifikasi crankshaft dan porting pada cylinder head	Menghitung torsi, gaya yang bekerja pada piston, dan daya motor.	Daya dan torsi sangat dipengaruhi oleh besarnya variabel <i>intake valve</i> , panjang langkah poros engkol ( <i>crankshaft</i> ), diameter piston dan besar ruang bakar, sehingga dengan semakin besar variabel-variabel tersebut maka semakin besar nilai daya dan torsi.
4.	Martinus Pakiding	Analisa efisiensi thermal pembangkit listrik tenaga panas bumi lahendong unit 5 dan 6 di tompaso.	Melakukan analisa efisiensi thermal pada kedua unit pembangkit dan Melakukan analisa state serta analisa energi pada tiap peralatan untuk penerapan siklus biner.	Dengan menggunakan siklus biner pada PLTP Lahendong unit 5 yang memanfaatkan <i>brine</i> dari separator, efisiensi thermal pembangkit listrik tenaga panas bumi Lahendong unit 6 meningkat menjadi sebesar 15,14%.
5.	Vosough Amir	<i>Improving Steam Power Plant Efficiency Through Exergy Analysis:</i>	Membuat pemodelan dan simulasi boiler, menganalisa pengaruh temperature ambien terhadap	Hasil menunjukkan bahwa mengurangi sebagian kecil dari pembakaran berlebih udara atau suhu tumpukan gas menyebabkan

		<i>Ambient Temperature</i>	efisiensi pembangkit listrik	tingkat irreversibilitas dalam pembangkit uap menurun, terutama karena penurunan tingkat irreversibilitas yang terkait dengan pembakaran di dalamnya alat.
--	--	----------------------------	------------------------------	--

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini akan dirancang sistem turbin uap untuk penggerak mula generator DC 220 Volt 150 Watt. Sistem turbin ini dibuat dalam bentuk *prototype*, karena turbin ini digunakan untuk beban dengan tegangan 220 Volt DC 150 Watt.

#### B. Termodinamika Uap

Menurut Gunawan (2007), *Fluida* yang bekerja pada turbin uap adalah uap air. Uap merupakan gas yang timbul akibat dari perubahan fase cair menjadi uap yang mengalami pemanasan lanjut sampai melebihi fase uap panas lanjut. Uap merupakan *fluida* kerja yang memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Dapat menyimpan sejumlah energi
2. Dapat diproduksi dari air yang murah dan mudah diperoleh
3. Dapat digunakan untuk tujuan pemanasan sebelum tenaganya digunakan sebagai *fluida* kerja.

Proses penguapan adalah berubahnya molekul-molekul air menjadi molekul-molekul uap melalui suatu proses pemanasan, dimana temperatur pada saat pemanasan mencapai temperatur didih dan bila proses pemanasan masih dilanjutkan maka temperaturnya tidak akan berubah. Berdasarkan proses penguapannya, uap terbagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Uap basah, merupakan uap yang masih bercampur dengan titik-titik air halus dan mempunyai temperatur sama.
2. Uap jenuh, merupakan uap yang mempunyai tekanan dan temperatur didih yang sama dengan titik didih air.
3. Uap panas lanjut, merupakan uap jenuh yang mengalami pemanasan lebih lanjut pada tekanan yang sama dengan tekanan uap jenuh.

Dalam proses pemanasan, kedua fase cair dan uap akan berada dalam keadaan setimbang. Ciri-ciri uap jenuh adalah sebagai berikut :

1. Uap jenuh adalah uap yang dalam keadaan seimbang dengan air yang ada di bawahnya.
2. Uap jenuh adalah uap yang mempunyai tekanan dan temperatur mendidih yang sama dengan tekanan dan temperatur mendidih air yang ada di bawahnya.
3. Uap jenuh adalah uap yang mempunyai pasangan-pasangan harga antara tekanan ( $P$ ) dan temperatur mendidihnya ( $T_d$ ).
4. Uap jenuh adalah uap yang apabila didinginkan akan segera mengembun menjadi air.

5. Uap jenuh adalah uap yang bila melakukan ekspansi atau dibiarkan berekspansi akan mengembun menjadi air.

Dalam prakteknya uap air dalam tekanan sedang dan tinggi tidak dapat lagi dikatakan gas ideal, sehingga seluruh hukum yang berlaku pada hukum gas ideal tidak dapat di aplikasikan ketika uap melewati nosel ataupun sudu gerak pada bagian dalam turbin uap. Akan tetapi untuk memudahkan perhitungan, uap panas lanjut lebih mempunyai sifat-sifat yang mendekati gas ideal. Uap panas lanjut mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- a. Tekanan lebih rendah,  $P < P_{\text{sat}}$  pada T
- b. Temperatur tinggi,  $T > T_{\text{sat}}$  pada P
- c. Volume jenis besar,  $v > v_g$  pada P atau T
- d. Energi yang dibangkitkan besar,  $u > u_g$  pada P atau T
- e. *Entalpi* besar,  $h > h_g$  pada P atau T

### **C. Siklus Rankine**

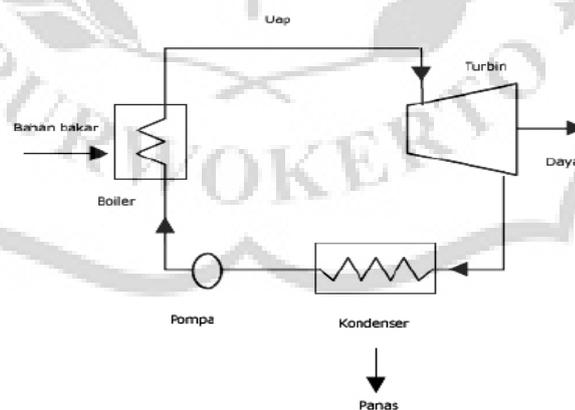
Menurut Gunawan (2007), Corak fisik yang paling terlihat dari suatu pembangkit listrik tenaga uap modern adalah ketel uap. Pada ketel uap terjadi pembakaran dari suatu bahan bakar seperti minyak, gas alam, atau batubara untuk memanaskan air yang melintas di tabung dalam ketel uap. Perpindahan kalor kepada air yang melintas (*feedwater*) pertama-tama akan meningkatkan temperatur air sampai menjadi uap basah, kemudian diuapkan untuk membentuk uap jenuh,

dan kemudian menaikkan temperatur uap tersebut lebih lanjut untuk menciptakan uap panas lanjut.

Dalam termodinamika siklus yang dipakai untuk turbin uap adalah siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* merupakan siklus yang dipakai secara konvensional dalam stasiun pembangkit listrik yang terdiri dari suatu sumber panas (ketel uap) berfungsi untuk mengubah air menjadi uap bertekanan tinggi.

Dalam siklus *Rankine* sederhana, uap air mengalir ke dalam turbin, dimana sebagian besar dari energi kalornya dikonversikan menjadi daya mekanis melalui poros untuk memutar suatu generator listrik. Uap bekas kemudian akan dialirkan keluar turbin melalui sebuah kondensor dimana uap bekas akan diubah menjadi air kembali. Suatu pompa air umpan akan mengalirkan air dari kondenser kembali ke dalam ketel uap.

Skema siklus *Rankine* sederhana pada sistem pembangkit listrik tenaga uap dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema Siklus *Rankine*

(Sumber: Gunawan, 2007)

Sebagai akibat dari konversi energi kalor uap tersebut ke dalam daya mekanis, uap air meninggalkan turbin pada temperatur dan tekanan jauh ketika masuk ke dalam turbin. Dalam keadaan ini uap air dapat langsung dilepaskan langsung ke atmosfer, akan tetapi dikarenakan sumber daya air yang terbatas dan pertimbangan dari segi ekonomis air sama dapat digunakan berulang kali. Ketel uap dan kondenser dapat digolongkan sebagai alat penukar kalor dikarenakan oleh cara kerja keduanya.

Ketel uap mengubah air menjadi uap dengan gas hasil pembakaran yang mengalir di luar tabung yang diisi dengan air, sedangkan kondenser bekerja dengan mengalirkan air penyejuk eksternal yang melintas pada tabung pada bagian keluaran turbin. Dikarenakan dalam suatu alat penukar kalor yang baik, fluida melintas dengan kerugian tekanan yang kecil oleh karena itu, ketel uap dan kondenser beroperasi pada tekanan yang konstan. Biasanya, semakin besar suatu sistem tuntutan akan nilai ekonomis yang rendah menjadi lebih besar dimana pada temperatur dan tekanan lebih tinggi dibutuhkan ketel uap dengan tabung-tabung yang lebih baik dan dengan material campuran logam yang lebih mahal.

Siklus rankine dapat dianggap beroperasi antara dua tekanan, tekanan dalam ketel uap dan tekanan dalam kondenser. Pompa air umpan akan memberikan peningkatan tekanan, dan pada turbin perbedaan tekanan diantara tingkatannya.

#### **D. Turbin**

Menurut Munandar (2004), turbin adalah mesin penggerak, dimana energi *fluida* kerja dipergunakan langsung untuk memutar sudu turbin. Jadi, berbeda dengan yang terjadi pada mesin torak, pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar dinamakan rotor atau sudu turbin, sedangkan bagian yang tidak bergerak dinamakan stator atau rumah turbin. Sudu turbin terletak di dalam rumah turbin dan sudu turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (baling-baling, generator listrik, pompa, kompresor, atau mesin lainnya).

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran poros. Turbin uap modern pertama kali dikembangkan oleh Sir Charles Persons pada tahun 1884. Pada perkembangannya, turbin uap ini mampu menggantikan peranan dari kerja mesin uap torak. Hal ini disebabkan karena turbin uap memiliki kelebihan berupa efisiensi termal yang besar dan perbandingan berat dengan daya yang dihasilkan yang cukup

tinggi. Pada prosesnya turbin uap menghasilkan gerakan rotasi, sehingga hal ini sangat cocok digunakan untuk menggerakkan generator listrik.

Menurut Marcos (1933) turbin uap adalah suatu pesawat yang digunakan merubah energi uap menjadi energi mekanis, atau dengan kata lain: “turbin uap adalah sebuah pesawat dimana energi potensial yang diubah menjadi energi kinetis dan selanjutnya energi itu dirubah menjadi usaha mekanik”. Pada Gambar 2.2 diperlihatkan sistem pemesinan dari turbin uap.



Gambar 2.2 Turbin Uap

(Sumber: Rachmat Subagyo, 2018)

### **1. Prinsip Dasar Desain Turbin Uap**

Menurut Luthfi (2018), Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung kepada jenis mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk

pembangkit tenaga listrik, dan untuk transportasi. Dalam perancangan ini, turbin uap digunakan untuk menggerakkan Alternator DC 220 Volt.

Untuk mengubah energi potensial uap menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara, sehingga turbin uap secara umum terdiri dari tiga jenis utama, yaitu : turbin uap impuls, reaksi, dan gabungan (*impuls*-reaksi). Selama proses ekspansi uap di dalam turbin juga terjadi beberapa kerugian utama yang dikelompokkan menjadi dua jenis kerugian utama, yaitu kerugian dalam dan kerugian luar. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kehilangan energi, penurunan kecepatan dan penurunan tekanan dari uap tersebut yang pada akhirnya akan mengurangi efisiensi siklus dan penurunan daya generator yang akan dihasilkan oleh generator listrik.

## **2. Klasifikasi Turbin Uap**

Menurut Gunawan (2007), Turbin uap dapat diklasifikasikan ke dalam kategori yang berbeda yang tergantung pada jumlah tingkat tekanan, arah aliran uap, proses penurunan kalor, kondisikondisi uap pada sisi masuk turbin dan pemakaiannya di bidang industri. Adapun klasifikasinya antara lain :

1. Menurut jumlah tingkat tekanan, terdiri dari :

- a. Turbin satu tingkat dengan satu atau lebih tingkat kecepatan, yaitu turbin yang biasanya berkapasitas kecil dan turbin ini kebanyakan dipakai untuk menggerakkan kompresor sentrifugal.
- b. Turbin impuls dan reaksi nekatingkat, yaitu turbin yang dibuat dalam jangka kapasitas yang luas mulai dari yang kecil sampai yang besar.

2. Menurut arah aliran uap, terdiri dari :

- a. Turbin aksial, yaitu turbin yang uapnya mengalir dalam arah yang sejajar terhadap sumbu turbin.
- b. Turbin radial, yaitu turbin yang uapnya mengalir dalam arah yang tegak lurus terhadap sumbu turbin.

3. Menurut jumlah silinder, terdiri dari :

- a. Turbin silinder tunggal
- b. Turbin silinder ganda
- c. Turbin tiga silinder
- d. Turbin empat silinder

Turbin nekatingkat yang rotornya dipasang pada satu poros yang sama dan yang dikopel dengan generator tunggal dikenal dengan turbin poros tunggal, turbin dengan poros rotor yang terpisah untuk masing-masing silinder yang dipasang sejajar satu dengan yang lainnya dikenal dengan turbin *neka-aksial*.

4. Menurut metode pengaturan, terdiri dari :

- a. Turbin dengan pengaturan pencekikan (*throttling*), dalam hal ini uap panas lanjut yang keluar dari ketel masuk melalui satu atau lebih katup pencekik yang dioperasikan serempak.
- b. Turbin dengan pengaturan *nosel* yang uap segarnya masuk melalui dua atau lebih pengatur pembuka yang berurutan.
- c. Turbin dengan pengaturan langkah (*by-pass governing*), dimana uap panas lanjut yang keluar dari ketel disamping dialirkan ke tingkat pertama juga

langsung dialirkan ke satu, dua, atau bahkan tiga tingkat menengah turbin tersebut.

5. Menurut prinsip aksi uap, terdiri dari :

- a. Turbin impuls, yang energi potensial uapnya diubah menjadi energi kinetik di dalam nosel atau laluan yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan, dan didalam sudu-sudu gerak, energi kinetik uap diubah menjadi energi mekanis.
- b. Turbin reaksi aksial yang ekspansi uapnya diantara laluan sudu, baik sudu pengarah maupun sudu gerak.
- c. Turbin reaksi radial tanpa sudu pengarah yang diam
- d. Turbin reaksi radial dengan sudu pengarah yang diam

6. Menurut proses penurunan kalor, terdiri dari :

- a. Turbin kondensasi (*condensing turbine*) dengan *regenerator*, yaitu turbin dimana uap pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfer dialirkan ke kondensor, disamping itu uap juga dicerat dari tingkat-tingkat menengahnya untuk memanaskan air pengisian ketel, dimana jumlah penceratan itu biasanya dari 2-3 hingga sebanyak 8-9. Kalor laten uap buang selama proses kondensasi semuanya hilang pada turbin ini. Turbin kondensasi dengan satu atau dua penceratan dari tingkat menengahnya pada tekanan tertentu untuk keperluan-keperluan industri dan pemanasan.

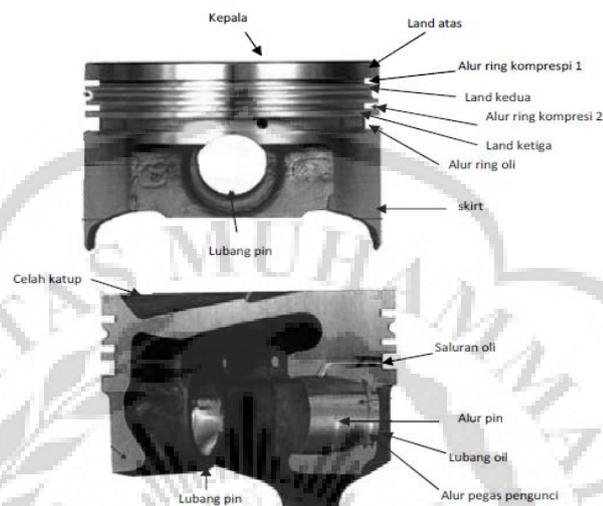
- b. Turbin tekanan lawan (*back pressure turbine*), yaitu turbin yang uap buang dipakai untuk keperluan-keperluan pemanasan dan untuk keperluan-keperluan proses dalam industri.
  - c. Turbin tumpang, yaitu suatu jenis turbin tekanan lawan dengan perbedaan bahwa uap buang dari turbin jenis ini lebih lanjut masih dipakai untuk turbin turbin kondensasi tekanan menengah dan rendah. Turbin ini, secara umum beroperasi pada kondisi tekanan dan temperatur uap awal yang tinggi, dan dipakai kebanyakan untuk membesarkan kapasitas pembangkitan pabrik, dengan maksud untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik.
  - d. Turbin tekanan lawan dengan pemerataan uap dari tingkat-tingkat menengahnya pada tekanan tertentu, dimana turbin jenis ini dimaksudkan untuk mensuplai uap kepada konsumen pada berbagai kondisi tekanan dan temperatur.
  - e. Turbin tekanan rendah (tekanan buang), yaitu turbin yang uap buang dari mesin-mesin uap, palu uap, mesin tekan, dan lain-lain, dipakai untuk keperluan pembangkitan tenaga listrik.
  - f. Turbin tekanan campur dengan dua atau tiga tingkat-tekanan, dengan suplai uap buang ke tingkat-tingkat menengahnya.
7. Menurut kondisi-kondisi uap pada sisi masuk turbin, terdiri dari :
- a. Turbin tekanan rendah, yaitu turbin yang memakai uap pada tekanan 1,2 sampai 2 ata.

- b. Turbin tekanan menengah, yaitu turbin yang memakai uap pada tekanan sampai 40 ata.
  - c. Turbin tekanan tinggi, yaitu turbin yang memakai uap pada tekanan diatas 40 ata.
  - d. Turbin tekanan yang sangat tinggi, yaitu turbin yang memakai uap pada tekanan 170 ata atau lebih dan temperatur diatas 550°C atau lebih.
  - e. Turbin tekanan superkritis, yaitu tubin yang memakai uap pada tekanan 225 ata atau lebih.
8. Menurut pemakaiannya di bidang industri, terdiri dari :
- a. Turbin *stasioner* dengan kepesatan putar yang konstan dipakai terutama untuk menggerakkan alternator.
  - b. Turbin uap *stasioner* dengan kepesatan yang bervariasi dipakai untuk menggerakkan *blower-turbo*, pengedar udara (*air circulator*), pompa, dan lain-lain.
  - c. Turbin yang tidak stasioner dengan kepesatan yang bervariasi, yaitu turbin yang biasanya dipakai pada kapal-kapal uap, kapal, dan *lokomotif* kereta api (*lokomotif-turbo*).

### **E. Piston**

Menurut Nurhadi (2010), Piston dalam bahasa Indonesia juga dikenal dengan istilah torak adalah komponen dari mesin pembakaran dalam yang berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang

bakar silinder *liner*. Komponen mesin ini dipegang oleh setang piston yang mendapatkan gerakan turun-naik dari gerakan berputar *crankshaft*. Bentuk bagian-bagian piston dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bagian-bagian piston

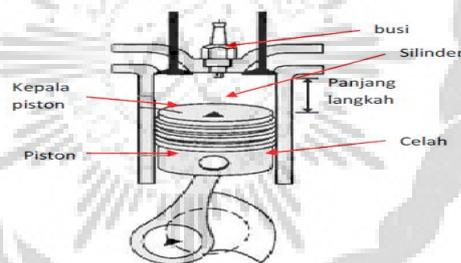
(Sumber: Nurhadi, 2010)

Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Komponen ini mengalami peningkatan temperatur dan tekanan tinggi sehingga mutlak harus memiliki daya tahan tinggi. Oleh karena itu, pabrikan kini lebih memilih paduan aluminium (Al-Si). Logam ini diyakini mampu meradiasikan panas yang lebih efisien dibandingkan material lainnya.

Karena piston bekerja pada temperatur tinggi maka, pada bagian-bagian tertentu seperti antara diameter piston dan diameter silinder ruang bakar oleh para desainer sengaja diciptakan celah. Celah ini secara otomatis akan berkurang (menjadi presisi) ketika komponen-komponen itu terkena suhu panas. Ini yang kemudian

mengurangi terjadinya kebocoran kompresi. Celah piston bagian atas lebih besar dibandingkan bagian bawah. Ukuran celah piston ini bervariasi tergantung dari jenis mesinnya. Umumnya antara 0,02 hingga 0,12 mm. Memakai ukuran celah yang tepat sangat penting. Alasannya, bila terlalu kecil akan menyebabkan tidak ada celah antara piston dan silinder ketika kondisi panas.

Kondisi ini akan menyebabkan piston bisa menekan silinder dan merusak mesin. Sebaliknya, kalau celahnya terlalu berlebihan, tekanan kompresi dan tekanan gas hasil pembakaran akan menjadi rendah. Akibatnya mesin kendaraan pun tidak bertenaga dan mengeluarkan asap. Celah antara piston dan silinder ruang bakar dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Celah antara piston dan silinder ruang bakar

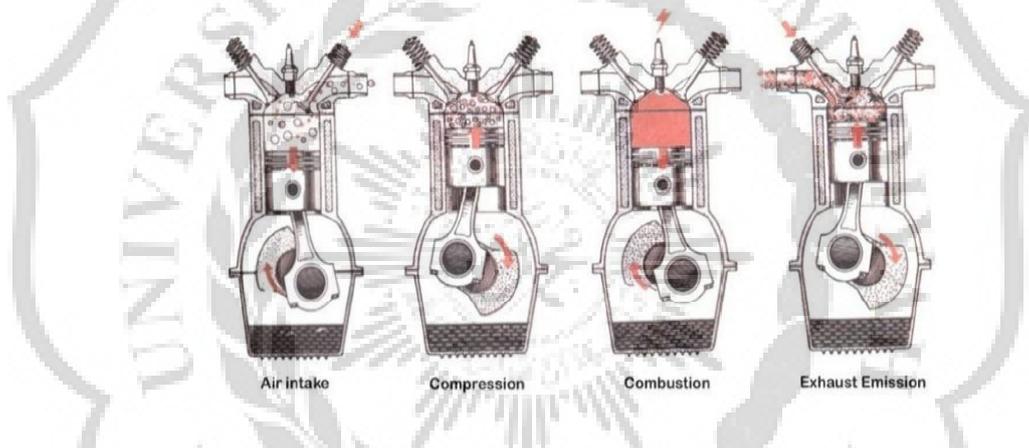
(Sumber: Nurhadi, 2010 )

### **Dasar Kerja Motor Empat Langkah**

Menurut Nurhadi (2010), Motor empat langkah adalah motor yang setiap siklus kerjanya diselesaikan dalam empat kali gerak bolak balik langkah piston atau dua kali putaran poros engkol (*crank shaft*). Langkah piston adalah gerak piston

tertinggi/teratas disebut titik mati atas (TMA) sampai yang terendah/terbawah disebut titik mati bawah (TMB).

Sedangkan siklus kerja adalah rangkaian proses yang dilakukan oleh gerak bolak-balik translasi torak (*piston*) yang membentuk rangkaian siklus tertutup. Proses siklus motor empat langkah dilakukan oleh gerak torak (*piston*) dalam silinder tertutup, yang bekerja sesuai dengan pengaturan gerak katup atau mekanisme katup pada katup isap dan katup buang. Prinsip kerja motor 4 langkah dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Prinsip kerja motor empat langkah

(Sumber: Nurhadi 2010 )

Langkah kerja motor empat langkah adalah langkah isap, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah buang, lebih jelasnya dapat diuraikan sebagai berikut :

**a. Langkah Hisap**

Torak (*piston*) bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Katup isap dibuka dan katup buang ditutup, sehingga tekanan di dalam

silinder menjadi tekanan rendah atau vacuum selanjutnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk melalui katup isap untuk mengisi ruang silinder.

**b. Langkah Kompresi**

Torak (*piston*) bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA). Katup isap dan katup buang ditutup. Pada proses ini campuran bahan bakar dan udara ditekan atau kompresi, akibatnya tekanan dan temperaturnya naik sehingga akan memudahkan proses pembakaran.

**c. Langkah Kerja**

Torak (*piston*) bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Katup isap dan katup buang masih ditutup. Sesaat piston menjelang titik mati atas busi pijar menyalakan percikan api seketika campuran bahan bakar dan udara terbakar secara cepat berupa ledakan. Dengan terjadinya ledakan menghasilkan tekanan sangat tinggi untuk mendorong piston ke bawah, sebagai tenaga atau usaha yang dihasilkan mesin.

**d. Langkah Buang**

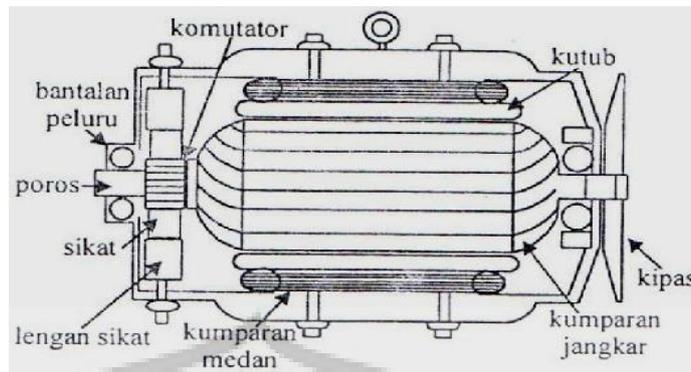
Torak (*piston*) bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA). Katup isap ditutup dan katup buang dibuka. Pada langkah/proses ini gas-gas bekas pembakaran didorong torak (*piston*) ke atas sampai TMA selanjutnya dibuang melewati katup buang. Dalam satu siklus kerja motor, poros engkol berputar dua kali putaran atau empat kali gerak bolak-balik torak.

## **F. Generator Arus Searah (DC)**

Menurut Saputra (2016), Generator arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen mesin-mesin listrik lainnya. Secara garis besar generator arus searah adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik dipergunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar di dalam medan magnet. Berdasarkan hukum Faraday, maka pada kawat penghantar akan timbul ggl induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan *fluksi* yang dilingkupi oleh kawat penghantar. Bila kumparan kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup maka akan timbul arus induksi. Perbedaan dari generator biasanya terletak pada komponen penyearah yang terdapat di dalamnya yang disebut dengan komutator dan sikat

### **1. Konstruksi Generator Arus Searah**

Generator arus searah memiliki konstruksi yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang berputar (rotor) dan bagian yang diam (stator). Stator adalah rangka, komponen magnet dan komponen sikat. Sedangkan rotor adalah jangkar, kumparan jangkar dan komutator. Secara umum konstruksi generator arus searah dapat dilihat seperti Gambar 2.6.



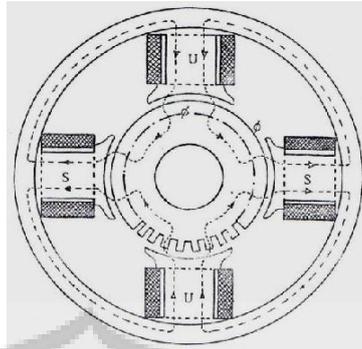
Gambar 2.6 Konstruksi generator arus searah

(Sumber: Saputra, 2016)

a. Badan Generator (Rangka)

Menurut Saputra (2016), Fungsi utama dari badan generator adalah sebagai bagian dari tempat mengalirnya *fluks* magnet yang dihasilkan kutub-kutub magnet, karena itu badan generator dibuat dari bahan *ferromagnetik*. Disamping itu badan generator ini berfungsi untuk meletakkan alat-alat tertentu dan melindungi bagian-bagian mesin lainnya. Oleh karena itu badan generator harus dibuat dari bahan yang kuat.

Untuk memenuhi kedua persyaratan pokok di atas, maka umumnya badan generator untuk mesin-mesin kecil dibuat dari besi tuang. Sedangkan generator yang besar umumnya dibuat dari plat-plat campuran baja. Biasanya pada generator terdapat name plate yang bertuliskan spesifikasi umum atau data-data teknik dari generator. Selain name plate badan generator juga terdapat terminal *box* yang merupakan tempat-tempat ujung-ujung lilitan penguat magnet dan lilitan jangkar, rangka generator arus searah dc dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangka generator arus searah

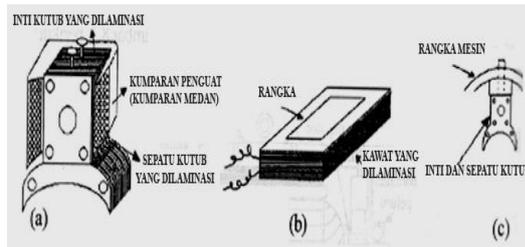
(Sumber: Saputra, 2016)

b. Magnet Penguat dan Kumbaran Penguat Medan

Sebagaimana diketahui bahwa *fluks* magnet yang terdapat pada generator arus searah dihasilkan oleh kutub magnet buatan yang dihasilkan dengan prinsip *elektromagnetik*. Magnet penguat terdiri dari inti kutub dan sepatu kutub. Adapun fungsi dari sepatu kutub adalah:

1. Menyebarkan *fluks* pada celah udara dan juga karena merupakan bidang lebar, maka akan mengurangi reluktansi jalur magnet.
2. Sebagai pendukung secara mekanis untuk kumbaran penguat atau kumbaran medan.

Inti kutub terbuat dari lembaran-lembaran besi tuang atau baja tuang. Sepatu kutub dilaminasi dan di baut ke inti kutub. Sedangkan kutub (inti kutub dan sepatu kutub) dibaut atau dikeling ke rangka mesin Kumbaran penguat atau kumbaran kutub terbuat dari kawat tembaga (berbentuk bulat atau *strip* / persegi) yang dililitkan sedemikian rupa dengan ukuran tertentu seperti pada Gambar 2.8.

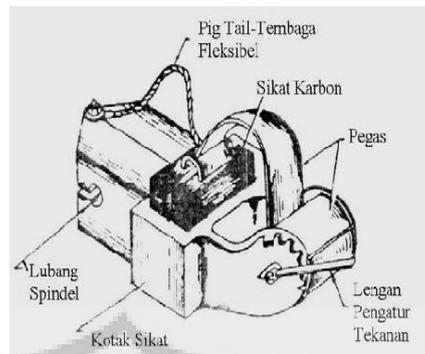


Gambar 2.8 Konstruksi kutub dan penempatannya

(Sumber: Saputra, 2016 )

### c. Sikat

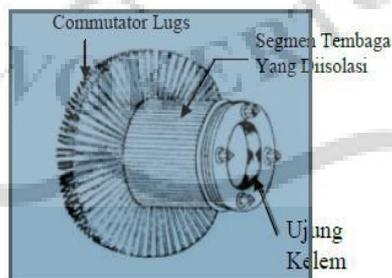
Menurut Saputra (2016), Fungsi dari sikat adalah untuk jembatan bagi aliran arus dari lilitan jangkar dengan beban. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Agar gesekan antara komutator-komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator, maka sikat lebih lunak daripada komutator. Sikat terbuat dari karbon, grafit, logam grafit, atau campuran karbon- grafit, yang dilengkapi dengan pegas penekan dan kotak sikat. Besarnya tekanan pegas dapat diatur sesuai dengan keinginan. Permukaan sikat ditekan ke permukaan *segmen* komutator untuk menyalurkan arus listrik. Karbon yang ada diusahakan memiliki konduktivitas yang tinggi untuk mengurangi rugi-rugi listrik, dan koefisien gesekan yang rendah untuk mengurangi keausan. Adapun bagian-bagian dari sikat ini dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konstruksi sikat  
(Sumber: Saputra, 2016 )

d. Komutator

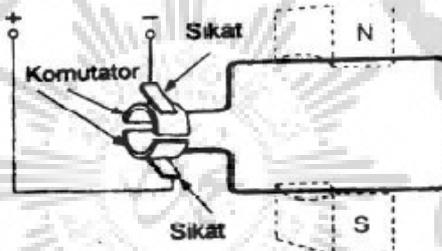
Sebagaimana diketahui komutator berfungsi sebagai penyearah mekanik, yaitu untuk mengumpulkan arus listrik induksi dari konduktor jangkar dan mengkonversikannya menjadi arus searah melalui sikat yang disebut komutasi. Agar menghasilkan penyearahan yang lebih baik maka komutator yang digunakan hendaknya dalam jumlah yang besar. Komutator terbuat dari batangan tembaga yang dikeraskan, yang diisolasi dengan bahan sejenis mika dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Konstruksi komutator  
(Sumber: Saputra, 2016)

## 2. Prinsip Kerja Generator Arus Searah

Menurut Saputra (2016), Suatu generator arus searah bekerja berdasarkan prinsip induksi magnetis sesuai dengan Hukum Faraday. Bila ada sepotong penghantar dalam medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk GGL induksi. Demikian pula sebaliknya bila sepotong penghantar digerak-gerakkan dalam medan magnet, dalam penghantar tersebut juga terbentuk GGL induksi. Suatu penghantar yang diputar dalam medan magnet dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Sistem generator dc sederhana

(Sumber: Saputra, 2016 )

Sikat-sikat diletakkan sehingga menghubungkan singkat kumparan jangkar ketika kumparan tidak memotong pada medan magnet. Pada saat itu tidak ada aliran arus dan tidak ada bunga api pada sikat-sikat. Generator dc lebih banyak yang menggunakan kumparan medan elektromagnet dibandingkan magnet permanen. Arus searah yang dihasilkan untuk memberikan energi pada kumparan medan disebut arus penguat. Generator arus searah diklasifikasikan menurut metode di mana arus diberikan pada kumparan medan.