

BUKU PANDUAN

PRAKTIKUM TEKNIK KONVERSI ENERGI



UMY

UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH
YOGYAKARTA

Unggul & Islami

Disusun Oleh:

**Muhammad Nadjib, S.T. M.Eng.
Tito Hadji Agung Sentosa, S.T., M.T.**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2019**

PENGANTAR

Setinggi puji dan sedalam syukur hanya kepada Allah, Rabb sekalian alam. Atas berkat rahmatNya, Buku Panduan Praktikum Teknik Konversi Energi ini dapat terwujud setelah melalui beberapa revisi. Revisi panduan dilakukan sebagai upaya penyempurnaan agar mudah dipahami oleh mahasiswa sehingga pelaksanaan praktikum lebih lancar.

Buku ini merupakan pegangan bagi mahasiswa peserta kuliah Teknik Konversi Energi di Program Studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dimana di dalam kuliah tersebut berisi materi praktikum. Praktikum ini dilaksanakan agar mahasiswa lebih memahami materi kuliah yang diberikan. Adapun materi praktikum ini adalah Turbin Reaksi, Pompa Air Tenaga Matahari, Energi Biomassa dan Motor Bakar Torak.

Penyusun mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dalam penyusunan buku panduan ini. Kritik dan saran yang membangun penyusun harapkan untuk perbaikan pada masa mendatang. Akhirnya penyusun ucapkan selamat melaksanakan praktikum kepada mahasiswa.

Yogyakarta, Nopember 2019
Pengampu Teknik Konversi Energi

TATA TERTIB

PRAKTIKUM TEKNIK KONVERSI ENERGI

Para mahasiswa peserta praktikum Teknik Konversi Energi di Program Studi S-1 Teknik Mesin FT UMY harus mentaati peraturan-peraturan sebagai berikut.

1. Sebelum memulai praktikum mahasiswa harus mempelajari buku panduan terlebih dahulu dengan cermat.
2. Mahasiswa harus tunduk pada peraturan yang berlaku: disiplin, jujur, dan tidak meninggalkan laboratorium selama praktikum berlangsung.
3. Setiap kali praktikum, mahasiswa diwajibkan mengisi dan menandatangani daftar presensi. Jika berhalangan hadir, mahasiswa harus memberikan keterangan tertulis disertai alasan-alasan yang dapat dipertanggungjawabkan.
4. Pada saat praktikum mahasiswa diwajibkan mengenakan pakaian yang rapi dan sopan. Mahasiswa tidak diperbolehkan memakai sandal.
5. Mahasiswa peserta praktikum wajib mentaati bimbingan Dosen Pengawas/Asisten.
6. Mahasiswa wajib menjaga keselamatan diri selama praktikum, termasuk menjaga keutuhan dan fungsi alat. Setiap kerusakan alat yang diakibatkan oleh keledoran penggunaan menjadi tanggung jawab mahasiswa.
7. Tas dan atau map mahasiswa harap diletakkan pada almari tas.
8. Setelah praktikum selesai, mahasiswa **wajib** menyerahkan laporan sementara berupa **lembar pengamatan asli** yang ditandatangani Dosen Pengawas/Asisten.

DAFTAR ISI

PENGANTAR	ii
TATA TERTIB	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB I TURBIN REAKSI	1
BAB II POMPA AIR TENAGA MATAHARI	15
BAB III MOTOR BAKAR TORAK	30
LAMPIRAN: KETENTUAN PEMBUATAN LAPORAN	36

BAB I

TURBIN REAKSI

1.1. TUJUAN

Tujuan percobaan ini adalah mengenalkan mahasiswa tentang peralatan turbin dan mempelajari karakteristik termodinamikanya. Jenis turbin yang digunakan dalam pengujian ini adalah turbin reaksi satu tingkat (*single-stage reaction turbine*). Dalam pengujian ini akan dilakukan 4 macam pengujian yaitu:

- a. Investigasi karakteristik torsi vs kecepatan putar dan karakteristik daya yang dibangkitkan vs kecepatan putar dari instalasi turbin reaksi.
- b. Melakukan analisis Hukum I Termodinamika model sistem terbuka sistem aliran tunak pada instalasi turbin reaksi.
- c. Menentukan efisiensi isentropik suatu turbin.

1.2. TEORI

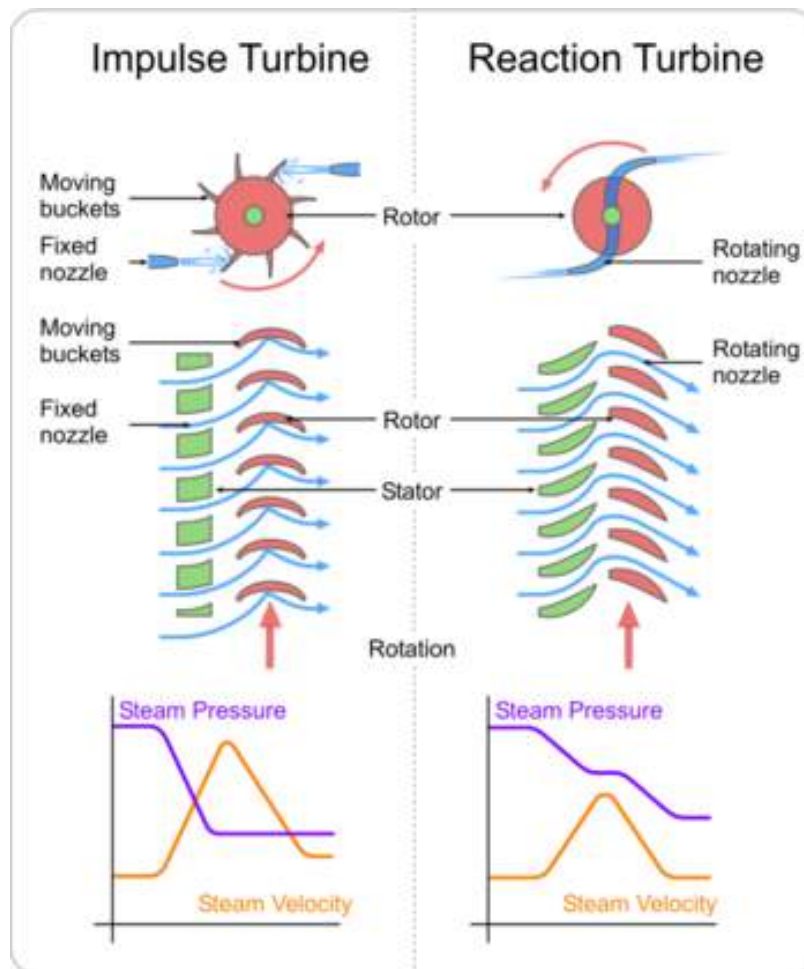
Turbin adalah peralatan mekanikal yang digunakan untuk melakukan proses ekspansi (proses penurunan tekanan) suatu fluida. Fluida tersebut dapat berupa fasa cair dan fasa gas. Fluida yang memasuki turbin akan melewati barisan sudu-sudu turbin baik bagian yang diam (stator, sudu turbin yang tidak berputar) dan bagian yang bergerak (rotor, sudu turbin yang berputar). Akibat bergeraknya rotor maka poros dari turbin dapat berputar.

Pada instalasi pembangkit listrik, poros turbin dikopel dengan poros generator listrik. Putaran poros generator listrik akan memutar rotor berupa lilitan/kumparan yang berada di dalam medan magnet sehingga terjadi aliran listrik.

Pengujian ini dapat mensimulasikan karakteristik dari aplikasi turbin uap dan turbin gas. Percobaan ini tidak menggunakan uap air sebagaimana untuk aplikasi turbin uap atau menggunakan gas seperti pada aplikasi turbin gas, namun dipakai udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor.

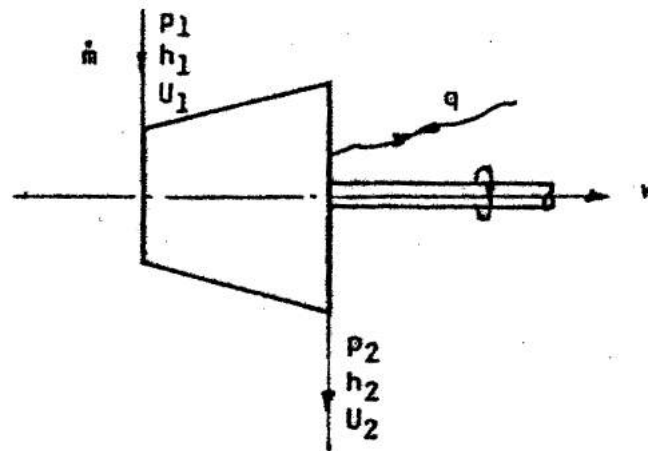
Turbin dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan jenis sudu-sudunya

yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Perbedaan utama dari keduanya adalah pada ada tidaknya penurunan tekanan pada bagian stator. Jika pada bagian rotor terjadi penurunan tekanan, jenis turbin ini disebut turbin reaksi. Jika pada bagian rotor tidak terjadi penurunan tekanan maka jenis turbin disebut turbin impuls. Skema turbin impuls dan turbin reaksi serta penurunan tekanan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Skema turbin impuls dan turbin reaksi

Analisis termodinamika pada turbin dilakukan dengan membuat model sistem terbuka dalam kondisi tunak sebagaimana Gambar 1.2 berikut.



Gambar 1.2 Model sistem terbuka kondisi tunak pada turbin

Dalam kondisi ideal (proses 1 ke 2' di Gambar 1.3), diasumsikan bahwa tidak ada gesekan antara fluida dengan sudu turbin dan antara lapis-lapis fluida itu sendiri. Pada keadaan ini tidak ada kalor yang terbuang ke luar turbin (proses adiabatik). Proses yang terjadi dengan kondisi ideal ini disebut proses adiabatik dan reversibel atau disebut juga proses isentropik (entropi konstan, $s_2' = s_1$).

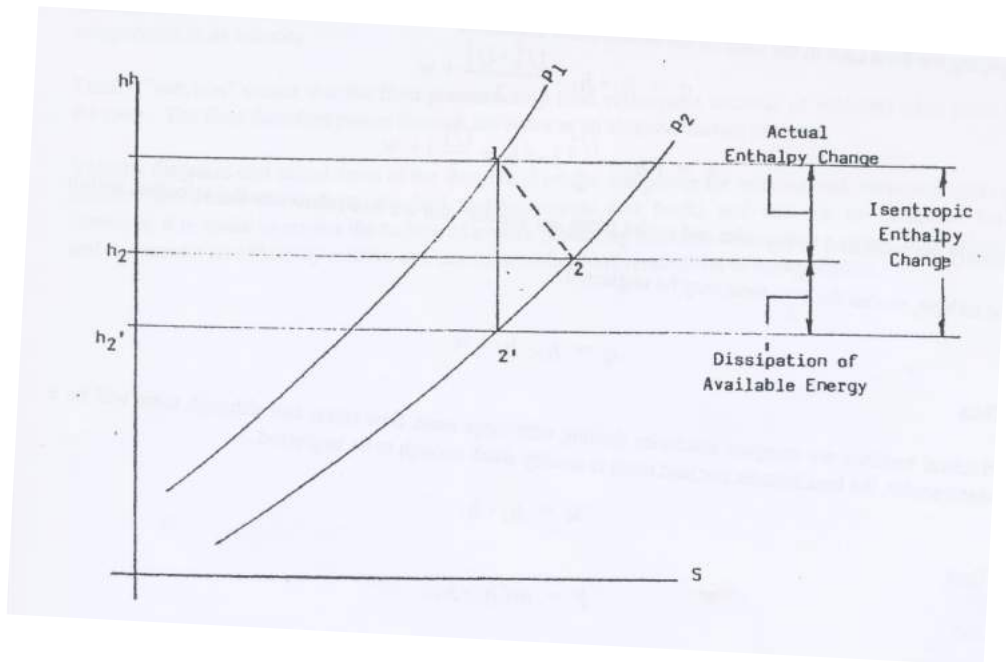
Unjuk kerja dari turbin dinyatakan dengan efisiensi isentropik turbin yang didefinisikan sebagai berikut.

$$\eta_{is, turbin} = \frac{\text{Kerja Aktual Turbin}}{\text{Kerja Ideal Turbin}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_2'} \quad (1.1)$$

Turbin yang operasinya ideal maka nilai efisiensi isentropiknya adalah 100%.

Pada turbin aktual (proses 1 ke 2 di Gambar 1.3), gesekan yang terjadi turut dipertimbangkan sehingga terdapat sejumlah kalor yang dibuang dari turbin. Pada keadaan aktual terjadi penambahan nilai entropi fluida yang keluar turbin yakni sebesar $s_2 - s_2'$.

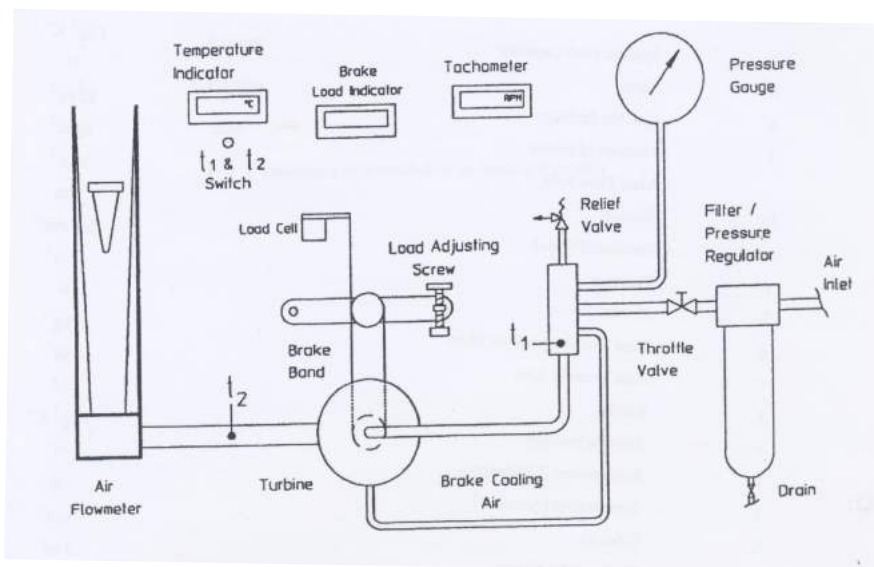
Proses untuk turbin aktual dan turbin ideal dapat dilihat pada Gambar 1.3 berikut.



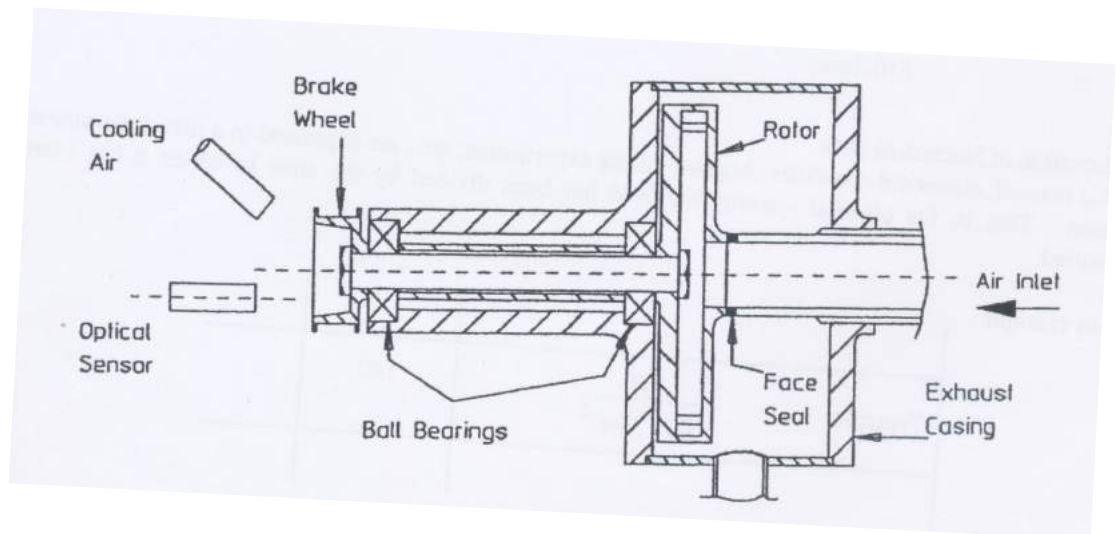
Gambar 1.3 Diagram proses (h-s) pada turbin

1.3. BAHAN DAN ALAT PERCOBAAN

Percobaan ini memakai bahan udara bertekanan dari kompresor dan listrik 3 phase untuk menggerakkan kompresor. Alat percobaan berupa unit turbin reaksi dengan skema pada Gambar 1.4 dan penampang lintangnya disajikan dalam Gambar 1.5.



Gambar 1.4. Skema instalasi turbin reaksi



Gambar 1.5. Penampang lintang turbin reaksi

Komponen alat yang dipakai dalam percobaan adalah

1. Satu unit kompresor udara sebagai penyedia udara bertekanan untuk unit instalasi turbin reaksi.
2. Instalasi turbin reaksi yang terdiri dari komponen-komponen:
 - a. Selang penyambung kompresor ke turbin
 - b. Filter / *Pressure Regulator* untuk mengatur tekanan udara masuk instalasi turbin.
 - c. *Pressure Gauge* untuk mengukur tekanan gauge dari udara masuk.
 - d. *Throttle Valve* untuk mengatur laju aliran massa udara masuk.
 - e. *Relief Valve* untuk membuang kelebihan udara.
 - f. Roda dan Sudu Turbin Reaksi untuk proses ekspansi udara yang melewatinya.
 - g. *Air Flowmeter* untuk mengukur laju aliran massa udara yang melewati turbin.
 - h. *Load Adjusting Screw* untuk mengatur-atur beban pada turbin.
 - i. Puli & Pita Rem (*Brake Band*) untuk menghubungkan poros turbin, puli pada *load adjusting screw*, dan *load cell*.
 - j. *Load Cell* sebagai sensor *strain gauge* untuk mengukur gaya akibat beban yang diterapkan.

- k. Termokopel (2 buah) untuk mengukur suhu udara masuk dan keluar turbin.
- l. *Optical Sensor* untuk mengukur kecepatan putar poros turbin.

1.4. PROSEDUR PERCOBAAN

Praktikum modul turbin reaksi meliputi 4 percobaan, yaitu:

A. Percobaan I

Investigasi karakteristik torsi vs kecepatan putar dan karakteristik daya yang dibangkitkan vs kecepatan putar dari instalasi turbin reaksi.

B. Percobaan II

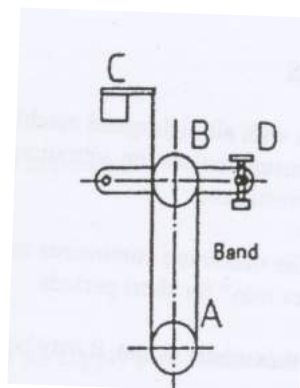
Melakukan analisis Hukum I Termodinamika model sistem terbuka sistem aliran tunak pada instalasi turbin reaksi.

C. Percobaan III

Menentukan efisiensi isentropik suatu turbin.

Tahap Persiapan Percobaan:

1. Yakinkan bahwa pita rem (*brake band*) terpasang dengan benar ke 2 puli (A dan B) dan *load cell* (C) (Gambar 1.6). Pita rem tidak boleh pada keadaan terluntung. Kendurkan ulir pengatur beban (D) sehingga sabuk pada keadaan kendur. ***Hati-hati dengan load cell yang mempunyai kapasitas beban maksimum 10 N.***



Gambar 1.6. *Setting* pita rem turbin reaksi

2. Yakinkan bahwa mur (*knurled nut*) pada rumah turbin tidak kendur.
3. Berikan tetes oli pada lubang oli di bagian atas rumah poros.
4. Nyalakan aliran listrik.
5. Jalankan kompresor udara dan secara perlahan buka katup *throttle* hingga tekanan inlet antara 10-30 kN/m² *gauge*.
6. Secara perlahan, buka penuh katup *throttle* dan periksa bahwa tekanan inlet tidak lebih dari 30 kN/m² *gauge*.
7. Instalasi sekarang siap untuk digunakan.

Catatan:

- *Filter regulator* diatur-atur untuk mencapai tekanan inlet yang digunakan dalam pengujian ini.
- Untuk mengatur *filter regulator*, tekan knob pada regulator dan putar untuk mendapatkan tekanan yang diinginkan. Selanjutnya knob ditarik ke atas lagi untuk mengunci *setting* tekanan inlet.
- **Harga tekanan pada butir 5 dan 6 dapat diubah sesuai kondisi alat. Perubahan harus sepengetahuan pendamping praktikum.**

A. Percobaan I:

Percobaan ini dilaksanakan dengan prosedur berikut.

1. Siapkan instalasi turbin seperti pada Gambar 1.4.
2. Setel katup *throttle* hingga tekanan udara inlet sekitar 10 kN/m² *gauge* (tekanan dipertahankan konstan selama pengujian).
3. Kendorkan ulir pengatur beban hingga turbin berputar sampai mendekati kecepatan putar maksimum, namun tidak melebihi ± 1000 rpm.
4. Jika kondisi sudah stabil, catat kecepatan putar, pembacaan *spring balance*, dan laju aliran udara.
5. Putar ulir penyetel beban hingga turbin berputar pada 85% dari kecepatan putar awal. Jika sudah stabil, catat kembali kecepatan putar, pembacaan *spring balance*, dan laju aliran udara.

6. Ulangi pengujian di atas dengan pengurangan kecepatan putar hingga turbin mengalami *stall* (kecepatan putar = 0 rpm).
7. Ulangi lagi pengujian di atas untuk tekanan inlet 15 kN/m^2 *gauge* dan 20 kN/m^2 *gauge*.
8. Hitung torsi dan daya poros yang dibangkitkan (lihat ilustrasi).
9. Buat grafik hubungan antara torsi vs kecepatan putar dan daya vs kecepatan putar serta berikan analisisnya (lihat contoh grafik yang diberikan).

Tabel Pengamatan Percobaan I, II, dan III → lihat bagian tabel pengamatan

Ilustrasi Data & Pengolahan Data:

Contoh Data:

- Tekanan inlet : 60 kN/m^2 *gauge*
- *Brake Band Force* : 0,75 N
- Kecepatan Putar : 16.800 rpm
- Laju Aliran Massa Udara : 5,5 gram/detik
- Jari-Jari Sudu Turbin : 14,5 mm (data teknis alat)

Perhitungan Yang Dilakukan:

Torsi yang dibangkitkan (M):

$$M = F \times r \quad (1.2)$$

$$M = \text{Gaya} \times \text{Jari-Jari}$$

$$M = 0,75 \text{ N} \times 0,0145 \text{ m}$$

$$M = 0,0109 \text{ N.m}$$

Daya Poros Turbin (Ps):

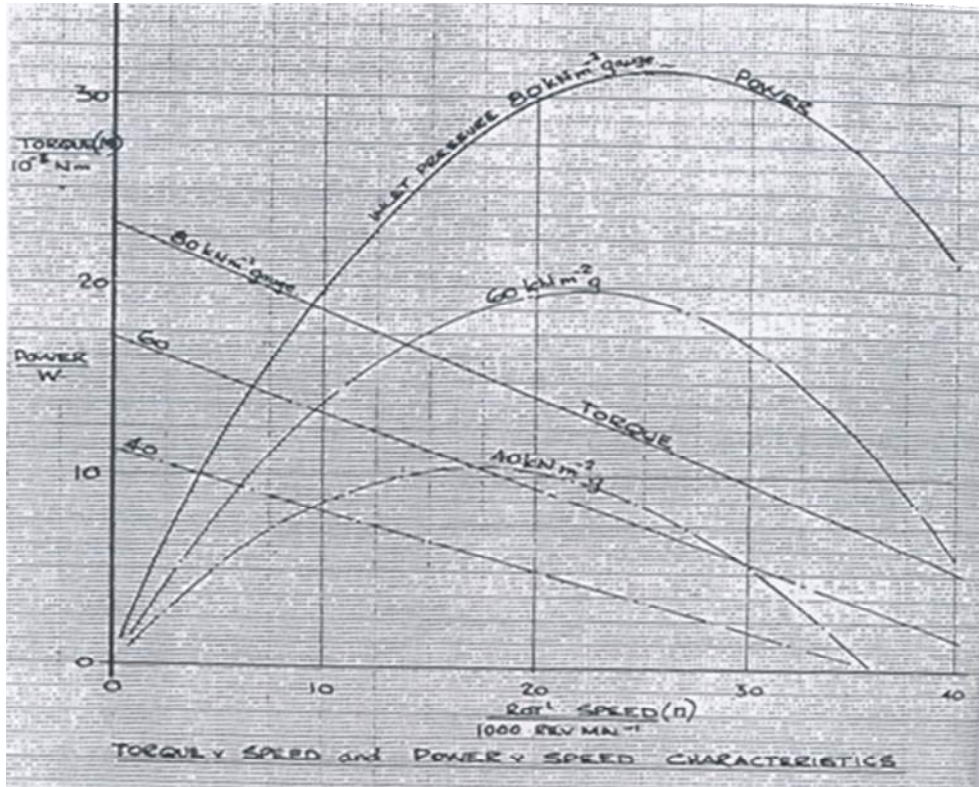
$$Ps = M \times n \quad (1.3)$$

$$Ps = \text{Torsi} \times \text{Kecepatan Putar}$$

$$Ps = 0,0109 \text{ N.m} \times (16.800 \times 2\pi/60) \text{ rad/detik}$$

$$Ps = 19,2 \text{ Watt}$$

Hasil perhitungan dibuat grafik seperti Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Contoh grafik hubungan torsi dan daya vs kecepatan putar

B. Percobaan II:

Percobaan ini dilaksanakan dengan prosedur berikut.

1. Siapkan instalasi turbin seperti pada Gambar 1.4.
2. Setel katup *throttle* hingga tekanan udara inlet sekitar $10 \text{ kN/m}^2 \text{ gauge}$ (tekanan dipertahankan konstan selama pengujian).
3. Setel ulir pengatur beban sehingga turbin menghasilkan daya maksimumnya (mengacu pada grafik torsi vs kecepatan putar, biasanya sekitar $\pm 2000 \text{ rpm}$).
4. Tahan tekanan inlet dan kecepatan putar tetap tunak hingga suhu udara masuk dan keluar juga pada kondisi tunak.

5. Amati dan catat semua pembacaan alat ukur dan gaya pada pita rem (*brake band*).
6. Ulangi lagi pengujian tekanan inlet yang berbeda, 15 dan 20 kN/m² *gauge*.
7. Hitung parameter-parameter seperti pada bagian ilustrasi di bawah dan berikan analisisnya.

Ilustrasi Data & Pengolahan Data:

Contoh Data:

- Suhu atmosfer : 21 °C
- Tekanan Udara Inlet : 80 kN/m² *gauge*
- Suhu Udara Inlet (t_1) : 20,7 °C
- Suhu Udara Outlet (t_2) : 16,7 °C
- Kecepatan Putar : 25.000 rpm
- *Brake Band Force* (F) : 0,78 N
- Laju Aliran Massa Udara : 6,5 gram/detik
- Jari-Jari Sudu Turbin : 14,5 mm (data teknis alat)
- Kalor jenis C_p rata-rata : 1,004 kJ/(kg.K)

Perhitungan Yang Dilakukan:

Daya Poros yang dibangkitkan (P_s)

$$P_s = M \cdot n \quad (1.4)$$

$$P_s = F \cdot r \cdot n$$

$$P_s = 0,78 \text{ N} \times 0,0145 \text{ m} \times (25.000 \times 2\pi/60) \text{ radian/detik}$$

$$P_s = 29,6 \text{ Watt}$$

(Selama perjalanan udara melewati turbin, kerja yang ditransfer ke lingkungan adalah 29,6 Watt).

Perubahan Entalpi Jenis ($h_2 - h_1$):

$$h_2 - h_1 = C_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (1.5)$$

$$= 1,004 \text{ kJ/(kg.K)} \times (16,7 \text{ °C} - 20,7 \text{ °C})$$

$$= - 4,016 \text{ kJ/kg}$$

Ingat bahwa $\Delta H = \dot{Q} - P_s$ (Hukum I Termodinamika sistem terbuka). Maka laju kalor yang didisipasi selama proses ekspansi pada turbin (\dot{Q}):

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) + P_s & (1.6) \\ &= 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/detik} \times (-4,016 \cdot 10^3 \text{ J/kg}) + 29,6 \text{ Watt} \\ &= -26,1 + 29,6 = 3,5 \text{ W}\end{aligned}$$

(Selama perjalanan udara melewati turbin, entalpi udara turun sebesar 4,016 kJ/kg dan kalor yang ditransfer dari lingkungan ke sistem turbin adalah 3,5 W. Ingat bahwa harga \dot{Q} positif yang berarti kalor masuk ke sistem. Hal ini wajar karena temperatur udara keluar turbin lebih rendah daripada temperatur lingkungan, $16,7^\circ\text{C} < 20,7^\circ\text{C}$).

C. Percobaan III:

Percobaan ini dilaksanakan dengan prosedur berikut.

1. Siapkan instalasi turbin seperti pada Gambar 1.4.
2. Atur katup *throttle* dan ulir pengatur beban sehingga turbin berputar sekitar 50% dari kecepatan putar pada kondisi tanpa beban dengan tekanan inlet sebesar 10 kN/m^2 *gauge*.
3. Tahan kondisi tunak hingga suhu masuk dan keluar udara stabil.
4. Catat semua hasil pengamatan pada alat-alat ukur.
5. Ulangi lagi pengujian pada kecepatan putar yang berbeda.
6. Ulangi pengujian untuk tekanan inlet yang lain, yaitu 15 & 20 kN/m^2 *gauge*.
7. Hitung parameter seperti ditunjukkan pada bagian ilustrasi.
8. Plot grafik hubungan antara Daya & Efisiensi Isentropik terhadap Tekanan Inlet dan berikan analisis grafiknya (lihat contoh grafik yang dimaksud).

Ilustrasi Data & Pengolahan Data:

Contoh Data:

- Suhu atmosfer : 22 °C
- Tekanan atmosfer : 765 mmHg
- Tekanan Udara Inlet : 80 kN/m² gauge
- Suhu Udara Inlet (t₁) : 22 °C
- Suhu Udara Outlet (t₂) : 18 °C
- Kecepatan Putar (n) : 24.000 rpm
- *Brake Band Force* (F) : 0,8 N
- Laju Aliran Massa Udara : 6,5 gram/detik
- Jari-Jari Sudu Turbin : 14,5 mm (data teknis alat)
- Rasio kalor jenis (γ) udara : 1,4

Perhitungan Yang Dilakukan:

Daya Poros yang dibangkitkan (Ps)

$$P_s = M \cdot n$$

$$P_s = F \cdot r \cdot n$$

$$P_s = 0,8 \text{ N} \times 0,0145 \text{ m} \times (24.000 \times 2\pi/60) \text{ radian/detik}$$

$$P_s = 29,15 \text{ Watt}$$

Suhu Absolut Udara Masuk (T₁):

$$T_1 = 22 + 273 = 295 \text{ K}$$

Tekanan Atmosfer (P_{atm}):

$$\begin{aligned} P_{atm} &= \rho_{HG} \times g \times z & (1.7) \\ &= 13.600 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,765 \text{ m} \\ &= 102,06 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Absolut Udara Masuk (P₁):

$$\begin{aligned} P_1 &= (102,06 + 80) \text{ kN/m}^2 \\ &= 182,06 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan Absolut Udara Keluar (P₂): 102,06 kN/m²

Rasio Tekanan pada Turbin (r_p):

$$\begin{aligned} r_p &= P_1 / P_2 \\ &= 182,06 / 102,06 \\ &= 1,784 \end{aligned} \quad (1.8)$$

Suhu Udara Keluar Sesudah Ekspansi Isentropik (T_2'):

$$\begin{aligned} T_2' &= T_1 / r_p^{[(k-1)/k]} \\ &= 295 \text{ K} / 1,784^{[(1,4-1)/1,4]} \\ &= 250,03 \text{ K} \end{aligned} \quad (1.9)$$

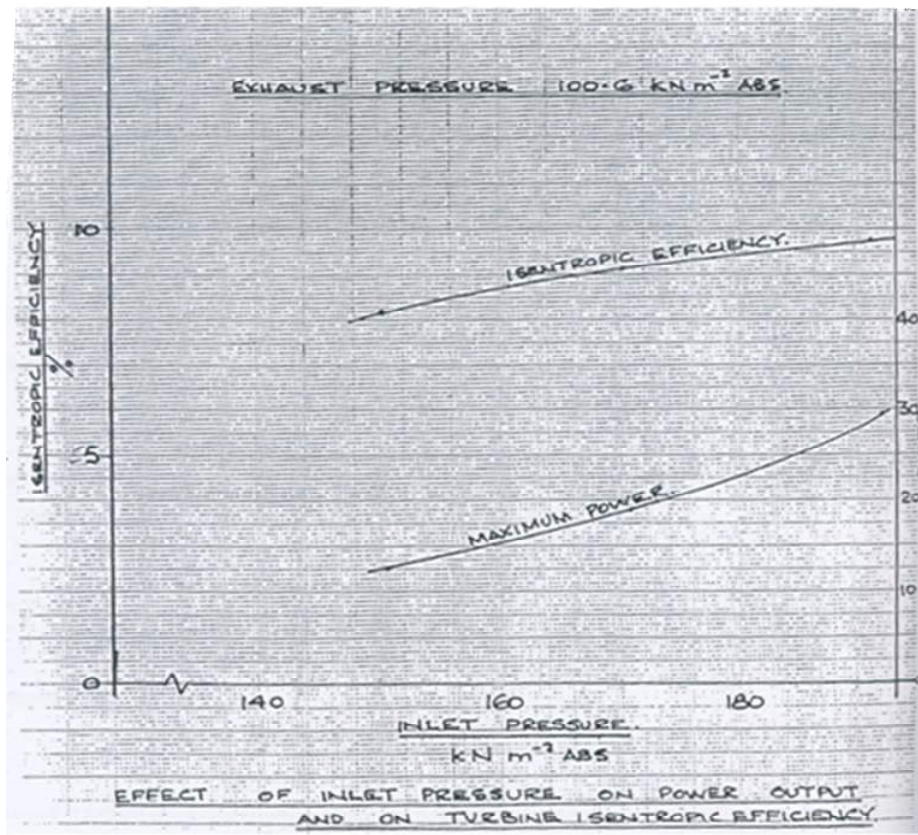
Laju Perubahan Entalpi Isentropik ($\dot{\Delta H}$):

$$\begin{aligned} \dot{\Delta H} &= \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2') \\ &= 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s} \times 1,004 \cdot 10^3 \text{ J/(kg.K)} \times (295 - 250,03) \text{ K} \\ &= 292,82 \text{ W} \end{aligned} \quad (1.10)$$

Efisiensi Isentropik Eksternal ($\eta_{is,ext}$):

$$\begin{aligned} \eta_{is,ext} &= \frac{\text{Daya Aktual}}{\text{Laju Perubahan Entalpi Isentropik}} = \frac{P_s}{\dot{\Delta H}} \\ &= \frac{29,15 \text{ W}}{292,82 \text{ W}} = 9,95\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan dibuat grafik seperti Gambar 1.8.



Gambar 1.8 Contoh grafik hubungan efisiensi isentropik dan daya poros terhadap tekanan udara masuk

1.5. TUGAS

Tugas-tugas perhitungan, pembuatan grafik hubungan dan analisis grafik untuk setiap percobaan dapat dilihat di bagian akhir setiap prosedur pengujian.

1.6. PERTANYAAN

1. Apa yang Saudara ketahui tentang turbin? Sebutkan fungsinya dan dua aplikasi/penggunaannya.
2. Jenis turbin ada dua macam yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Sebutkan perbedaan diantara keduanya.
3. Apa ukuran prestasi/unjuk kerja suatu turbin? Terangkan dengan jelas menggunakan diagram proses fluida yang mengalir melalui turbin.

BAB II

POMPA AIR TENAGA MATAHARI

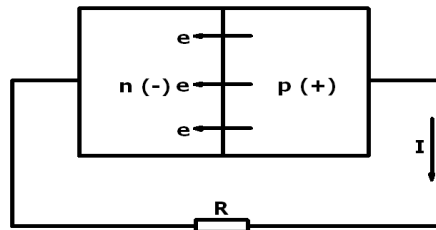
2.1. TUJUAN

Tujuan percobaan ini adalah mempelajari cara kerja pompa air tenaga matahari dan karakteristik unjuk kerjanya. Pada akhir percobaan mahasiswa dapat memahami cara kerja dan unjuk kerja pompa air tenaga matahari seperti daya modul surya, daya pompa, debit dan *head* yang dihasilkan, efisiensi pompa dan efisiensi modul surya.

2.2. TEORI

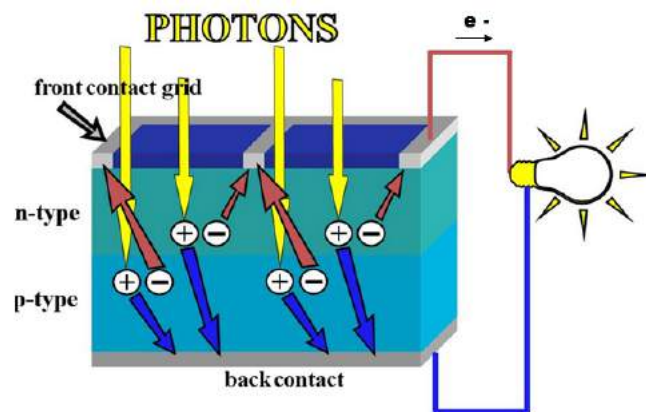
Energi matahari tergolong energi yang terbarukan (*renewable*) karena tersedia terus menerus sampai akhir zaman nanti. Ada dua macam bentuk energi yang dapat dikonversi dari energi matahari, yaitu konversi ke energi panas dan konversi ke energi listrik. Konversi energi matahari ke energi panas misalnya untuk memanaskan air (*solar water heating*), memanaskan udara (*solar air heating*) dan lainnya. Konversi energi matahari ke energi listrik terjadi secara langsung, artinya dari energi matahari langsung diubah menjadi energi listrik. Konversi ke energi listrik memakai teknologi yang dikenal sebagai fotovoltaik. Komponen utama teknologi fotovoltaik adalah modul surya. Alat ini berfungsi menangkap energi matahari dan mengubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk tujuan tertentu.

Teknologi fotovoltaik dikenal sejak tahun 1839. Pada waktu itu diperoleh fenomena bila sinar matahari menyentuh permukaan logam menyebabkan terjadinya arus listrik. Dewasa ini material yang digunakan adalah silikon kristal. Apabila lapisan tipis silikon dari jenis-p (positif) dan jenis-n (negatif) digabungkan, akan diperoleh sel sambungan p-n (*p-n junction*) dengan muatan listrik statik pada sambungan tersebut (Gambar 2.1). Silikon jenis-p kaya muatan positif dan silikon jenis-n memiliki kelebihan elektron.



Gambar 2.1 Hubungan p-n sel surya.

Pengubahan energi dari energi matahari menjadi energi listrik memanfaatkan efek fotovoltaiik. Sinar matahari terdiri dari foton - foton yaitu partikel yang mengandung energi dimana besarnya energi tersebut tergantung panjang gelombang sinar. Apabila sinar matahari menimpa sebuah permukaan (disebut sel surya atau *solar cell*), foton mengaktifkan *solar cell* yang akan menghasilkan elektron bebas dalam wilayah p dan dipaksa melintasi sambungan yang mengandung medan listrik statik. Bila beban dihubungkan melalui sisi kontak – kontak, arus (I) akan mengalir melewati beban sehingga *solar cell* menghasilkan energi listrik seperti Gambar 2.2. Arus yang dihasilkan adalah arus searah.



Gambar 2.2 Prinsip kerja modul surya.

Teknologi fotovoltaiik mempunyai keuntungan sebagai berikut.

1. Sumber energi berasal dari matahari yang merupakan sumber yang selalu tersedia terus menerus selama kehidupan masih ada di muka bumi.
2. Energi matahari dapat diperoleh dengan mudah dan murah hampir sepanjang tahun di sebagian besar lokasi di bumi.

3. Merupakan teknologi yang dikembangkan dengan konsep ramah lingkungan karena proses tranformasi energi tidak memerlukan pembakaran sehingga tidak ada limbah atau polusi lingkungan.
4. Sistem kerjanya tidak berdasarkan tekanan baik udara maupun air sehingga aman digunakan.
5. Komponennya tidak banyak dan tidak ada yang bergerak sehingga instalasinya sederhana, mudah, tahan lama dan tidak memerlukan operator khusus.
6. Biaya pemeliharaan murah.

Di sisi lain, teknologi fotovoltaik mempunyai keterbatasan yaitu penyerapan energi listrik tergantung oleh penerimaan energi matahari. Dengan kata lain, energi listrik yang dihasilkan efektif pada siang hari. Bila hari hujan atau mendung, energi listrik yang ditangkap masih ada tetapi jumlahnya berkurang. Disamping itu sampai saat ini teknologi fotovoltaik mempunyai efisiensi yang rendah yaitu $\pm 11\%$.

Salah satu aplikasi teknologi fotovoltaik adalah pompa air tenaga matahari. Prinsip kerjanya adalah radiasi matahari ditangkap oleh modul surya dan diubah menjadi arus listrik DC. Energi listrik yang dihasilkan dipakai untuk memutar impeler pompa air. Dengan adanya air di sekitar impeler maka air memperoleh energi tambahan berupa energi tekanan sehingga air dapat mengalir dengan debit dan *head* tertentu.

A. Daya Keluaran Modul Surya

Energi yang diterima modul surya tergantung oleh intensitas energi matahari yang diperoleh dan luasan modul. Energi ini merupakan energi masukan pada modul surya.

$$E = I_r \times A_m \tag{2.1}$$

dengan E energi yang diterima (Watt), I_r adalah intensitas radiasi matahari (W/m^2), dan A_m luas permukaan modul surya (m^2).

Daya yang dihasilkan modul surya diketahui dari perkalian tegangan dan

arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik dan dihitung dengan rumus berikut.

$$P = V \times I \quad (2.2)$$

dengan P adalah daya yang dihasilkan (Watt), V beda potensial (Volt), dan I arus yang mengalir (Ampere).

B. Tegangan Listrik

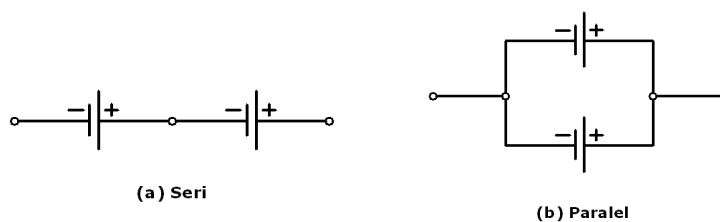
Baterai atau aki merupakan sumber tenaga listrik. Tenaga listrik yang terkandung di dalamnya adalah listrik arus searah atau *Direct Current* (DC). Pada baterai terdapat kutub positif dan negatif. Bagian kutub positif merupakan daerah ion positif, sedangkan bagian kutub negatif adalah daerah ion negatif. Dengan demikian, bagian kutub positif baterai atom-atomnya kekurangan elektron. Adanya perbedaan muatan pada kutub baterai maka beda potensial pada baterai tersebut. Dengan kata lain baterai tersebut memiliki tegangan listrik.

C. Arus Listrik

Baterai yang masih mempunyai beda potensial apabila dihubungkan dengan beban antara kedua kutub positif dan kutub negatifnya maka di dalam beban itu akan terjadi aliran elektron yang disebut arus listrik. Aliran itu bergerak dari kutub negatif ke kutub positif. Aliran elektron ini akan berhenti bilamana elektron-elektron pada bagian kutub negatif semuanya sudah mengisi lubang pada bagian kutub positif. Dengan demikian, baterai itu tidak ada beda muatan atau beda potensialnya nol.

D. Rangkaian Listrik Seri dan Paralel

Ada dua macam hubungan dalam pemasangan modul surya yaitu rangkaian seri dan paralel seperti Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Model rangkaian pada pemasangan modul surya.

1. Cara Seri

Tegangan listrik dalam hubungan seri, V total ($V_t =$ tegangan seluruhnya) dihitung dengan rumus:

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2.3)$$

Arus listrik dalam hubungan seri, I total ($I_t =$ arus seluruhnya) dihitung dengan rumus berikut.

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \quad (2.4)$$

Bila dua buah modul surya masing - masing bertegangan 17,5 volt dan arus 2,9 ampere dihubungkan secara seri maka:

$$V_t = V_1 + V_2 = 17,5 + 17,5 = 35 \text{ V}$$

$$I_t = I_1 = I_2 = 2,9 \text{ A}$$

2. Cara Paralel

Modul surya terhubung secara paralel, V_t dihitung dengan rumus:

$$V_t = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \quad (2.5)$$

Modul surya dalam hubungan paralel, (I_t) dihitung dengan rumus:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (2.6)$$

Bila dua buah modul surya masing - masing bertegangan 17,5 volt dan arus 2,9 ampere dihubungkan secara paralel maka,

$$V_t = V_1 = V_2 = 17,5 \text{ V}$$

$$I_t = I_1 + I_2 = 2,9 + 2,9 = 5,8 \text{ A}$$

Pemasangan modul surya dengan cara seri mendapatkan tegangan yang lebih besar dan arus yang tetap sedang pemasangan modul surya dengan cara paralel mendapatkan tegangan yang tetap dan arus yang lebih besar.

E. Pompa Air untuk Aplikasi Tenaga Matahari

Pompa adalah peralatan mekanis yang dapat mengubah kerja poros (energi mekanik rotasional) menjadi energi aliran untuk fluida tak mampu mampat (*incompressible*). Pada umumnya pompa digunakan untuk mengalirkan fluida tak mampu mampat dari suatu tempat ke tempat lain. Berdasarkan mekanisme gerakannya, pompa dibedakan dalam tipe pompa rotari (gerakan putar) dan pompa

torak (gerakan translasi). Dilihat dari cara pemasangannya, secara sederhana pompa dibedakan dalam pompa di luar fluida dan pompa terendam di dalam fluida. Jenis yang terakhir ini disebut *submersible pump*.

Aplikasi pompa air tenaga matahari menggunakan pompa jenis *submersible*. Pada pompa ini baik motor maupun impeler berada di dalam fluida dan tidak ada pipa isap karena sisi inlet berada di impeler. Ciri-ciri dan kelebihan pompa *submersible* antara lain sebagai berikut.

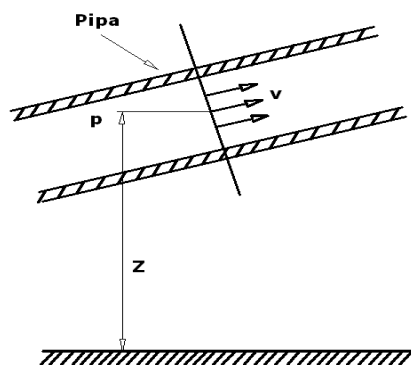
- Tidak diperlukan suatu “bangunan pelindung pompa”
- Tidak berisik
- Kontruksinya sederhana karena tidak ada poros penyambung dan bantalan perantara
- Pompa dapat bekerja pada kecepatan putaran tinggi
- Pemasangan cepat

Namun demikian pompa ini harus didesain khusus yaitu mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap korosi sehingga harganya relatif mahal.

Pompa air bertenaga matahari menggunakan arus DC mengingat keluaran modul surya adalah arus DC. Apabila pompa airnya jenis AC maka harus dipasang inverter yang mengubah arus DC menjadi arus AC.

F. *Head Zat Cair*

Gambar 2.4 di bawah ini mengilustrasikan aliran fluida di dalam pipa.



Gambar 2.4 Aliran fluida melalui pipa

Keterangan gambar:

- p : Tekanan aliran (N/m^2)
- v : Kecepatan (m/s)
- z : Ketinggian (m)

Bila suatu zat cair (misalnya air) mengalir melalui saluran seperti pada Gambar 2.4 maka pada suatu penampang zat cair mempunyai tekanan statis, kecepatan rata-rata dan ketinggian yang diukur dari bidang referensi. Zat cair tersebut dikatakan mempunyai *head* total. *Head* didefinisikan sebagai energi yang mampu mengalirkan suatu fluida.

Ketinggian aliran yang dicapai oleh fluida yang mengalir dengan tekanan tertentu dicari dengan rumus berikut.

$$z = \frac{P}{\rho \cdot g} \quad (2.7)$$

dengan :

- P : tekanan aliran air dari hasil pengukuran ($\text{N/m}^2 = \text{Pa}$)
- ρ : massa jenis zat cair (kg/m^3)
- g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Contoh :

Misalkan diketahui tekanan aliran air adalah 1 atm.

$$P = 1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Maka perkiraan ketinggian yang dapat dicapai adalah

$$z = \frac{P}{\rho \cdot g} = \frac{10^5 \text{ N/m}^2}{10^3 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 10,2 \text{ m}$$

Apabila pada sisi keluar pompa dipasang *pressure gauge* maka harga z yang dihasilkan pada persamaan (2.7) dapat digunakan untuk memprediksi harga H pada persamaan (2.8).

G. *Head Total Pompa*

Head total pompa yaitu energi yang dibutuhkan oleh pompa untuk mengalirkan fluida dengan debit dan ketinggian tertentu. Besarnya *head* ditentukan dari kondisi instalasi. Rumus *head* total pompa dapat ditulis sebagai berikut.

$$H = h_a + \Delta h_p + h_l + \frac{v^2}{2g} \quad (2.8)$$

dimana,

H : *head* total pompa (m)

h_a : *head* statis total (m)

Δh_p : perbedaan *head* tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m),

h_l : rugi-rugi aliran di dalam pipa (*head loss*, m)

$\frac{v^2}{2g}$: *head* kecepatan keluar (m)

v : kecepatan aliran di dalam pipa (m/s)

g : percepatan gravitasi (= 9,8 m/s²)

Rugi-rugi aliran (*head loss*) di dalam pipa dibedakan menjadi rugi mayor dan rugi minor. Rugi mayor terjadi pada pipa lurus yaitu akibat gesekan fluida dengan permukaan pipa. Rugi minor terjadi di belokan, percabangan dan sambungan perpipaan.

a. *Head loss mayor*

Untuk menghitung kerugian gesek di dalam pipa lurus dipakai rumus sebagai berikut.

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.9)$$

dengan:

h_f : *Head* kerugian gesek dalam pipa (m)

v : Kecepatan aliran di dalam pipa (m/s)

λ : Koefisien gesekan

g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

L : Panjang pipa (m)

D : Diameter dalam pipa (m)

Kecepatan aliran v dihitung menggunakan rumus:

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2} \quad (2.10)$$

dengan:

v : Kecepatan aliran di dalam pipa (m/s)

Q : Laju aliran m^3/s

D : Diameter dalam pipa (m)

Harga λ pada perhitungan *head* total pompa bila aliran fluidanya laminar dihitung menggunakan rumus:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad (2.11)$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.12)$$

dengan:

λ : Koefisien gesekan

Re : Bilangan Reynolds (tak berdimensi)

v : Kecepatan aliran di dalam pipa (m/s)

D : Diameter dalam pipa (m)

ν : Viskositas kinematik zat cair (m^2/s)

b. *Head loss minor*

Rugi-rugi minor dalam aliran fluida di dalam pipa adalah

$$h_f = f \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

dengan :

h_f : *Head* kerugian gesek dalam pipa (m)

v : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

g : Percepatan gravitasi (= $9,8 m/s^2$)

f : Koefisien tahanan

Harga f tergantung dari bentuk instalasi perpipaannya dan komponen perpipaan yang dipakai. Untuk tipe komponen perpipaan tertentu telah tersedia harga f yang disajikan dalam bentuk tabel atau grafik.

H. Daya Air

Daya air adalah energi yang secara efektif diterima oleh air dari pompa per satuan waktu. Daya air ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$P_w = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2.14)$$

dengan :

- P_w : Daya air (W)
- ρ : massa jenis zat cair (=1000 kg/m³)
- g : Percepatan gravitasi (=9,8 m/s²)
- Q : Laju aliran (m³/s)
- H : *Head* total pompa (m)

Head total pompa dapat dicari apabila tekanan aliran fluida diketahui.

I. Daya Listrik (*Brake Horse Power, BHP*)

Daya listrik yaitu daya yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah motor pompa. Daya listrik berasal dari keluaran modul surya (persamaan 2.2) dan ditentukan dengan rumus:

$$BHP = V \times I \quad (2.15)$$

dengan :

- BHP : *Brake Horse Power* (Watt)
- V : Tegangan (Volt)
- I : Arus (Ampere)

J. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa adalah perbandingan antara daya yang efektif digunakan untuk pemompaan dan daya masukan yang diperolehnya. Besarnya efisiensi ini adalah

$$\eta_p = \frac{P_w}{BHP} \times 100\% \quad (2.16)$$

dimana:

- η_p : Efisiensi pompa (%)
- P_w : Daya air (Watt)
- BHP : *Brake Horse Power* (Watt)

K. Efisiensi Modul Surya

Efisiensi modul surya adalah kemampuan modul surya menghasilkan energi listrik dari radiasi matahari yang diterimanya. Efisiensi ini didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik keluaran modul surya dan radiasi matahari yang diterima oleh luasan modul surya. Intensitas radiasi matahari diukur dengan *pyranometer*. Besarnya efisiensi modul surya adalah

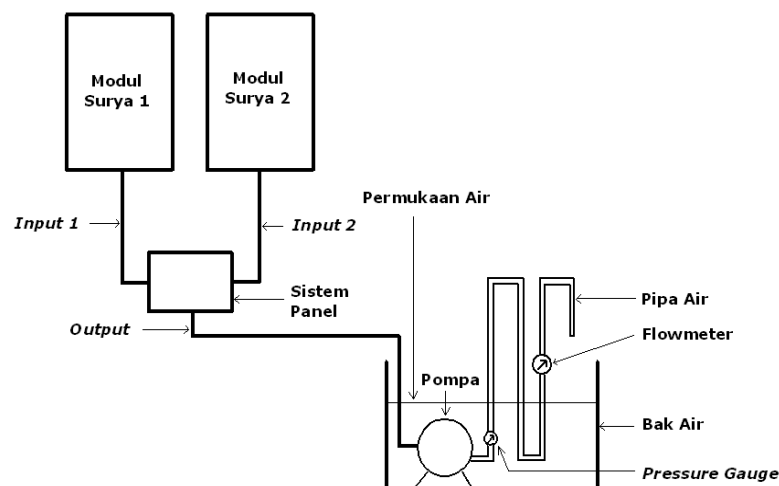
$$\eta_m = \frac{\text{BHP}}{E} \times 100\% \quad (2.17)$$

dimana,

- η_m : Efisiensi modul surya (%)
- BHP : *Brake Horse Power* (Watt)
- E : Energi masuk (Watt, persamaan (2.1))

2.3. BAHAN DAN ALAT PERCOBAAN

Bahan yang digunakan dalam percobaan adalah air. Sedangkan alat yang digunakan pada pengujian ini terdiri dari modul surya, pompa air *submersible*, sistem perpipaan, *pressure gauge*, *flow meter* air, panel listrik, voltmeter, amperemeter dan bak air yang disusun seperti skema Gambar 2.5 berikut.

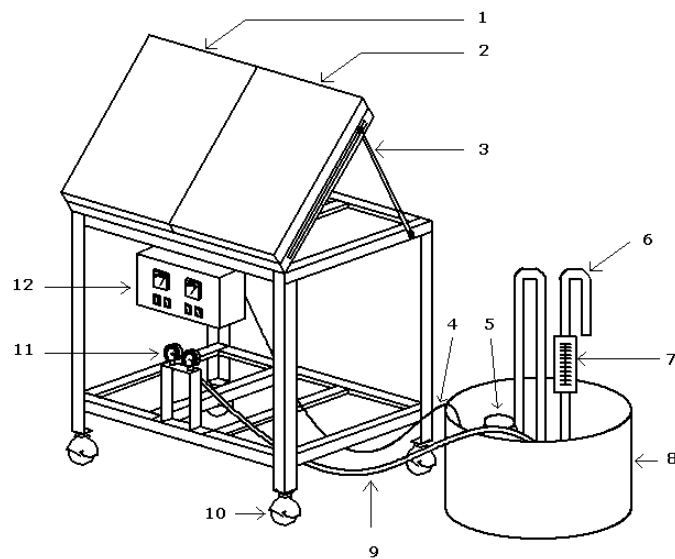


Gambar 2.5 Skema instalasi pompa air tenaga matahari

Keterangan gambar:

- Dua buah modul surya masing-masing dengan daya nominal 50 watt peak dihadapkan ke matahari langsung ke arah utara untuk menerima energi matahari optimal, masing-masing dipasang berdampingan dan sejajar.
- Kotak sistem panel, dipasang pada sisi depan kerangka konstruksi.
- Pompa air dengan daya 50 W, posisinya di dasar bak air sehingga terendam air.
- *Pressure gauge* dipasang di pipa keluaran pompa, letaknya sedekat mungkin dengan lubang keluaran pompa. Dalam pemasangannya *pressure gauge* tidak dipasang pada pipa langsung tetapi ditempatkan padaudukan maka disambung dengan menggunakan slang.
- *Flowmeter*, dipasang pada pipa keluaran pompa.
- Pipa air dipasang hanya pada keluaran pompa air dan bentuknya berkelok.
- Bak air diletakkan di sebelah rangka penopang modul surya dan menggunakan drum yang dipotong menurut ukurannya.

Gambar tiga dimensi alat ini adalah seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Instalasi pompa air tenaga matahari.

Keterangan gambar:

1. Modul Surya 1
2. Modul Surya 2
3. Besi alat pengatur kemiringan modul surya
4. Kabel, dari sistem panel ke pompa
5. Pompa air
6. Pipa air
7. Flowmeter
8. Bak air
9. Slang, dari pipa ke *pressure gauge*
10. Roda
11. *Pressure gauge*
12. Kotak sistem panel (*panel display*)

2.4. PROSEDUR PERCOBAAN

Langkah-langkah menggunakan Pompa Air Tenaga Matahari adalah sebagai berikut.

1. Letakkan instalasi Pompa Air Tenaga Matahari pada permukaan yang rata, pastikan instalasi ini tegak lurus pada arah horizontal.
2. Tentukan arah modul pada arah datangnya sinar matahari. Sebaiknya posisi modul tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari supaya mendapatkan daya optimal.
3. Sambungkan kabel arus dari modul surya pada "*Line Input*" yang terletak pada kotak panel. Dalam menyambung kabel, untuk warna putih (warna lebih terang) menandakan kutub positif dan warna hitam (warna lebih gelap) menandakan kutub negatif.
4. Sambungkan kabel arus untuk pompa pada "*Line Output*" yang terletak pada kotak panel.
5. Pastikan pompa dalam posisi di dalam air. Jangan menghidupkan pompa terlalu lama pada waktu pompa tidak di dalam air karena pada pompa *submersible* air berfungsi sebagai pendingin dan pelumas mesin pompa.
6. Hidupkan saklar "Solar 1" untuk menyambungkan ke modul surya pertama dan "Solar 2" untuk menyambungkan ke modul surya kedua.

7. Hidupkan saklar “Beban 1” untuk menyambungkan ke beban pertama dan saklar “Beban 2” untuk menyambungkan ke beban kedua. Untuk penentuan fungsi saklar dapat disesuaikan dengan *input* atau beban yang dipasang.
8. Amati dan catat parameter berikut setelah saklar “Solar 1” dan “Solar 2” diaktifkan:
 - a. Tegangan modul (volt)
 - b. Arus modul (ampere)
 - c. Laju aliran air di *flowmeter* (LPM, *litre per minute*)
 - d. Tekanan air sisi keluar (bar)
9. Lakukan pengamatan selama 30 menit dan setiap 5 menit dicatat parameter pada prosedur 8 di atas.
10. Setelah selesai pencatatan, cobalah jalankan pompa hanya dengan mengaktifkan saklar “Solar 1”. Amati apa yang terjadi.

2.5. TUGAS

1. Buatlah tabel perhitungan sebagai berikut.

No.	Waktu pengamatan	BHP (watt)	Debit air, Q (m ³ /det)	Head, H (m)	Daya air, P _w (watt)	Efisiensi pompa, η _p (%)	Efisiensi modul, η _m (%)
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							

2. Buatlah grafik antara parameter BHP, Q, H, P_w, η_p dan η_m terhadap waktu pengamatan. Waktu pengamatan dibuat pada sumbu x. Bila memungkinkan, perubahan parameter terhadap waktu tersebut dibuat dalam satu grafik. Berikan penjelasan tiap parameter pada grafik yang Saudara buat.

2.6. PERTANYAAN

1. Mengapa modul surya dipasang miring?
2. Mengapa daya air lebih rendah daripada daya masukan (BHP)?
3. Mengapa grafik yang terjadi berfluktuasi?
4. Apa yang terjadi saat sistem dijalankan hanya dengan menggunakan "Solar 1"?
Jelaskan jawaban Saudara mengapa demikian.
5. Sebutkan sistem/aplikasi lain yang menggunakan modul surya sepengetahuan Saudara.

BAB III

MOTOR BAKAR TORAK

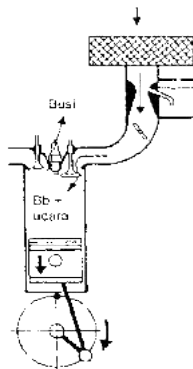
3.1. TUJUAN

Tujuan praktikum ini adalah mengenalkan dan mempelajari mekanisme kerja serta komponen-komponen motor bakar torak. Pada akhir percobaan mahasiswa dapat memahami cara kerja dan komponen-komponen motor bakar torak baik tipe dua langkah maupun empat langkah.

3.2. TEORI

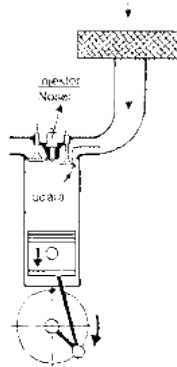
Motor bakar torak (MBT) adalah tipe pesawat tenaga yang menghasilkan energi mekanik resiprokating kemudian diubah menjadi energi mekanik putaran. Tahapan konversi energinya dimulai dari pembakaran bahan bakar (energi kimia). Pembakaran ini menghasilkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi (energi termal) di dalam ruang bakar. Akibat tekanan yang tinggi maka torak yang berada di dalam silinder terdesak mundur sehingga terjadi ekspansi/langkah daya. Proses ini terjadi terus menerus sehingga torak bergerak maju-mundur. Torak terhubung dengan batang torak dan poros engkol yang mengubah gerakan translasi menjadi gerakan putaran poros (energi mekanik rotasional), selanjutnya putaran poros dapat dimanfaatkan untuk tujuan tertentu.

Berdasarkan cara pengapiannya, MBT dibedakan menjadi dua jenis yaitu pengapian dengan bunga api (*Spark Ignition Engine, SI Engine*) dan pengapian dengan kompresi (*Compression Ignition Engine, CI Engine*).



Gambar 3.1 *Spark Ignition Engine*

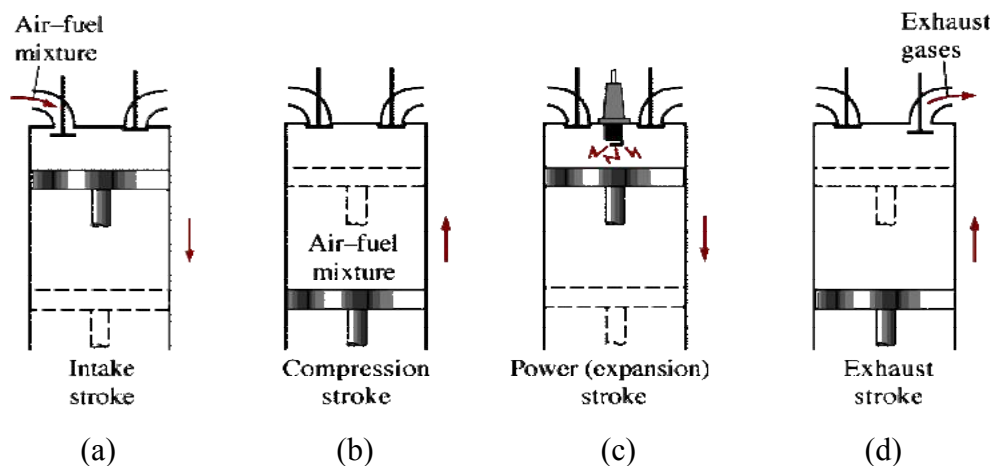
Pada *SI Engine* (Gambar 3.1), udara dan bahan bakar dicampur di dalam karburator dan mengalir masuk ke silinder akibat hisapan gerakan torak. Udara dan bahan bakar dimampatkan oleh torak hingga titik mati atas (*top dead center*, TDC). Sesaat kemudian, terjadi penyalaan busi yang menyebabkan terjadinya pembakaran campuran udara dan bahan bakar.



Gambar 3.2 *Compression Ignition Engine*

Berbeda dengan *SI Engine*, pada *CI Engine* (Gambar 3.2) udara masuk ke ruang bakar akibat hisapan gerakan torak. Gerakan torak menuju titik mati atas mengakibatkan udara terkompresi. Sesaat kemudian, bahan bakar dimasukkan ke ruang bakar melalui nosel injektor.

Berdasarkan siklus yang dilakukan untuk menghasilkan daya, MBT diklasifikasikan menjadi mesin siklus empat langkah (*four stroke*) dan siklus dua langkah (*two stroke*).



Gambar 3.3 Mesin empat langkah

Mesin bensin empat langkah membutuhkan empat langkah penuh untuk menyelesaikan satu siklus. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut (lihat Gambar 3.3 di atas).

1. Langkah penghisapan (a)

Torak bergerak ke bawah menghisap campuran udara dan bahan bakar melalui katup hisap dan mengisi ruang silinder.

2. Langkah kompresi (b)

Torak bergerak naik memampatkan campuran udara dan bahan bakar sehingga kedua katup tertutup. Busi menyala sesaat sebelum torak mengakhiri proses pemampatan.

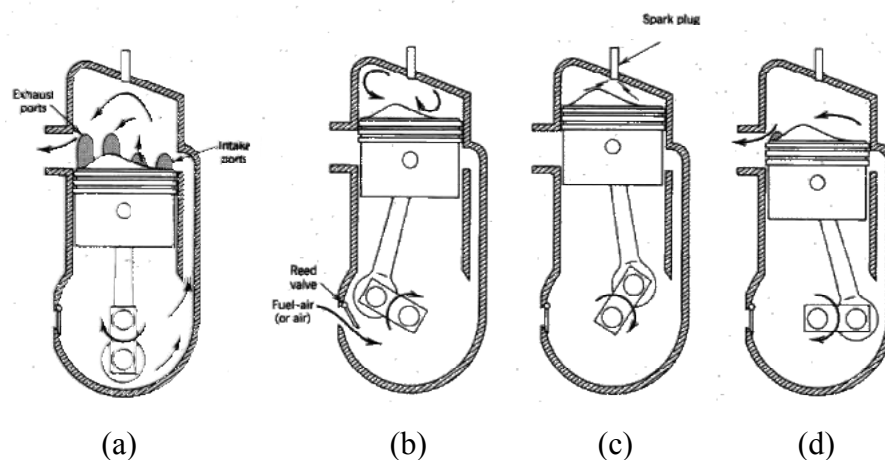
3. Langkah ekspansi (c)

Campuran udara dan bahan bakar yang terbakar menghasilkan tekanan dan temperatur yang tinggi sehingga torak berekspansi. Ini adalah satu-satunya langkah yang menghasilkan kerja dari keempat langkah siklus.

4. Langkah pembuangan (d)

Langkah ekspansi menyebabkan katup buang terbuka. Dengan terbukanya katup buang maka naiknya torak mendorong gas hasil pembakaran ke luar silinder.

Mesin siklus dua langkah mengkombinasikan empat langkah yang dibutuhkan oleh mesin siklus empat langkah hanya dalam dua langkah saja seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Mesin dua langkah

Proses tiap sekali siklus mesin bensin dua langkah adalah sebagai berikut.

1. Langkah penghisapan (a)

Saluran pengeluaran dan pemasukan terbuka. Campuran udara dan bahan bakar dengan sedikit tekanan di dalam ruang engkol mengalir ke silinder.

2. Langkah kompresi (b)

Naiknya torak menutupi saluran pengeluaran dan pemasukan, menekan campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder (kompresi) serta menghisap campuran udara dan bahan bakar ke dalam ruang engkol.

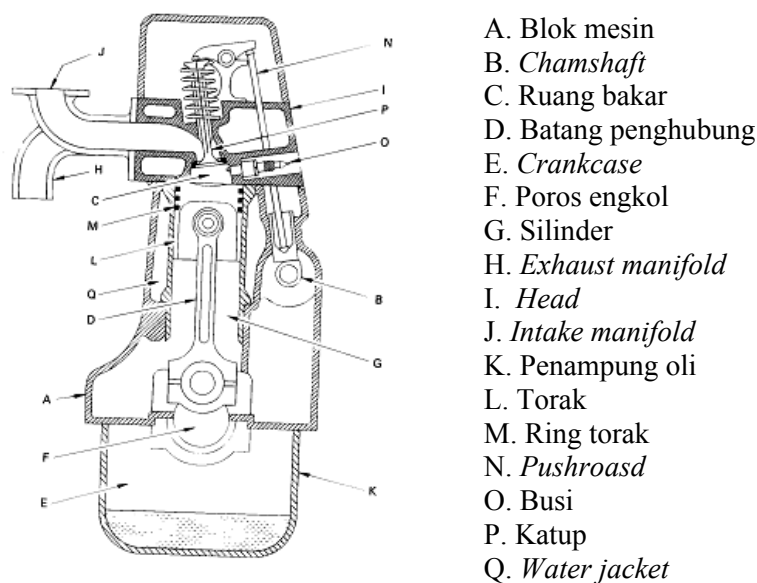
3. Langkah ekspansi (c)

Saluran pengeluaran dan pemasukan tertutup. Campuran udara dan bahan bakar yang terbakar menghasilkan tekanan dan temperatur yang tinggi sehingga menekan torak ke bawah. Turunnya torak akan memberi tekanan pada campuran udara dan bahan bakar yang berada di dalam ruang engkol.

4. Langkah pembuangan (d)

Bergerakannya torak ke bawah akan membuka saluran pengeluaran sehingga gas keluar. Kenaikan terjadi di dalam rumah engkol, cukup untuk mengalirkan campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder.

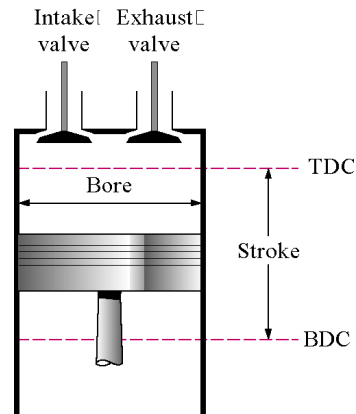
Potongan melintang untuk SI Engine dan komponennya sebagai contoh disajikan pada Gambar 3.5. Tidak semua MBT memiliki komponen sebagaimana



Gambar 3.5 Contoh SI Engine dan nomenklatur komponennya

pada Gambar 3.5. Jumlah dan macam komponen tergantung dari jenis MBT.

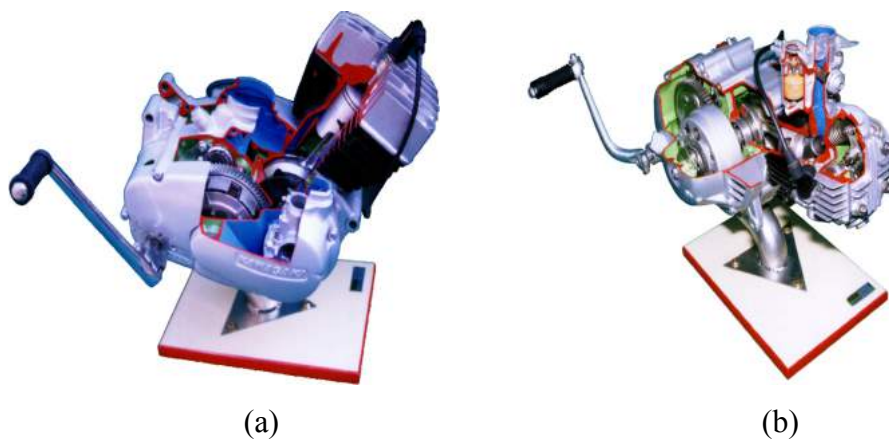
Salah satu parameter MBT adalah kapasitas silinder yang umumnya dinyatakan dalam cc. Kapasitas itu tidak lain adalah volume perpindahan torak yang ditentukan berdasarkan diameter silinder (*bore*) dan panjang langkah (*stroke*) sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Bore* dan *stroke* pada MBT

3.3. ALAT

Alat yang digunakan pada praktikum ini adalah SI *Engine* dua langkah dan empat langkah yang terpotong seperti Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 SI *Engine* terpotong; (a) dua langkah dan (b) empat langkah

3.4. PROSEDUR PERCOBAAN

Langkah-langkah praktikum ini adalah sebagai berikut.

1. Amati dengan seksama kedua buah MBT.
2. Diskusikan apa saja komponen yang ada pada kedua MBT tersebut.
3. Ambil gambar kedua MBT dari beberapa sisi.
4. Menggunakan alat bantu ukur panjang, tentukan *bore* dan *stroke* tiap MBT. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak tiga kali. Hasil akhir ukuran adalah rata-rata dari ketiga data tersebut.

3.5. TUGAS

1. Edit foto yang dihasilkan dengan memberi penunjukan nama komponennya. Penunjukan harus sejelas mungkin dan sekomplit mungkin untuk tiap MBT.
2. Tentukan kapasitas silinder tiap MBT dalam satuan cc dengan membuat tabel seperti berikut.

MBT	<i>Bore</i> (mm)	<i>Stroke</i> (mm)	Kapasitas (cc)
1. Dua langkah			
2. Empat langkah			

3.6. PERTANYAAN

1. Sebutkan apa saja perbedaan antara *SI Engine* dan *CI Engine*.
2. MBT dua langkah memiliki keunggulan dan kekurangan bila dibanding dengan MBT empat langkah. Jelaskan apa saja keunggulan dan kekurangan tersebut.
3. Berikan penjelasan secara ilmiah tentang perbedaan penggunaan *air cooled* dan *water cooled* pada MBT.
4. Komponen apa saja yang mengubah gerakan bolak-balik torak menjadi gerakan putaran pada MBT.