

BAB II DASAR TEORI

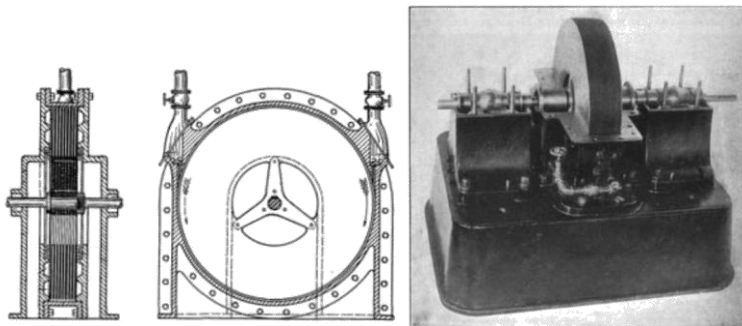
2.1 Pengenalan Turbin Tesla

Turbin Tesla merupakan salah satu turbin yang memanfaatkan energi fluida dan viskositas fluida untuk menggerakkan turbin. Konsep turbin tesla ditemukan pertama kali oleh Nikola Tesla. Nikola Tesla lahir pada tanggal 9 Juli 1856, di Smitjan, Kroasia.

Turbin Tesla dipatenkan pada tahun 1913 oleh Nikola Tesla. Tesla berpendapat bahwa untuk perangkat yang memiliki efisiensi tinggi, perubahan kecepatan dan arah harus bertahap. Tesla berusaha untuk merancang perangkat di mana cairan diizinkan untuk mengikuti jalur alami dengan gangguan minimal, baik untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan kerumitan dalam perangkat.

Tesla juga menunjukkan beberapa faktor penting yang mempengaruhi kinerja, termasuk bahwa meningkatkan ukuran dan kecepatan akan meningkatkan efisiensi, karena tidak mengurangi jarak disk (meskipun pada harga torsi). Dia menjelaskan beberapa keunggulan dibandingkan perangkat tradisional, termasuk kesederhanaan, ringan, perawatan yang mudah, dan biaya rendah. Dia menyebutkan bahwa gradien tekanan sentrifugal meningkat seiring dengan kuadrat dari kecepatan, mencegah perangkat tidak lepas pada kecepatan tinggi yang dapat merusak perangkat.

Turbin tesla pertama kali dibuat pada tahun 1906 oleh Julius C. Czito, menggunakan 8 buah piringan yang berdiameter 15,2 cm dengan berat kurang dari 4,5 kg dapat membangkitkan daya sebesar 30 Hp dengan putaran maksimum mencapai 35.000 rpm. Pada tahun 1910 Czito dan Tesla membuat model yang lebih besar dengan piringan berdiameter 30,5 cm. Putarannya hanya mencapai 10.000 rpm dan menghasilkan daya sebesar 100 Hp. Lalupada tahun 1911 mereka membuat model dengan diameter piringan sebesar 24,8 cm, putarannya berkurang menjadi 9.000 rpm tetapi daya yang dihasilkan malah semakin besar yakni sebesar 110 Hp. Dengan kesuksesan tersebut, Tesla berhasil membuat unit ganda yang lebih besar dan dicoba untuk diterapkan menggunakan uap sebagai penggeraknya, dengan diameter piringan sebesar 45,7 cm. Selama masa percobaan Turbin Tesla tersebut mampu mencapai putaran 9.000 rpm dan menghasilkan daya sebesar 200 Hp.



Gambar 2.1. Turbin tesla yang pertama dibuat.

2.2 Turbin Tesla

2.2.1 Bagian-Bagian Turbin Tesla

Adapun bagian-bagian dari turbin tesla adalah sebagai berikut :

1. Piringan (*disk*) turbin

Piringan (*disk*) turbin pada turbin tesla merupakan piringan bulat yang disusun bertumpuk pada satu sumbu poros. Pada satu *disk* terdapat lubang sebagai *exhaust* untuk tempat keluarnya fluida.

2. Celah (*space*)

Celah (*space*) merupakan jarak antar *disk* dari turbin. Pada turbin tesla biasanya besar celah dibuat sekecil mungkin sehingga susunan *disk* dibuat serapat mungkin. Celah ini merupakan tempat lajunya aliran fluida sehingga *disk* dan poros turbin berputar.

3. Poros (*shaft*)

Poros turbin tesla merupakan inti dari rangkaian turbin tesla yang tersusun dari beberapa *disk* dan celah, ukurannya disesuaikan pada pusat *disk* dan celah. Kekuatan poros turbin harus lebih besar dari beratnya jumlah *disk* dan celah sehingga pemakaiannya dapat bertahan lama.

4. Nosel

Nosel merupakan tempat keluarnya fluida berupa cair maupun uap atau gas dari pompa atau kompresor. Pada turbin tesla nosel biasanya terdapat pada *casing* yang merupakan inlet atau tempat masuknya fluida ke turbin.

5. Rumah turbin (*casing*)

Rumah turbin tesla selain sebagai tempat nosel terpasang juga berfungsi menangkap dan membelokkan percikan aliran air sehingga baik *disk* maupun pancaran tidak terganggu. Ruangan pada rumah turbin dan *disk* diusahakan dibuat agak sekecil mungkin supaya percikan aliran air tadi dapat mengalir secara teratur.

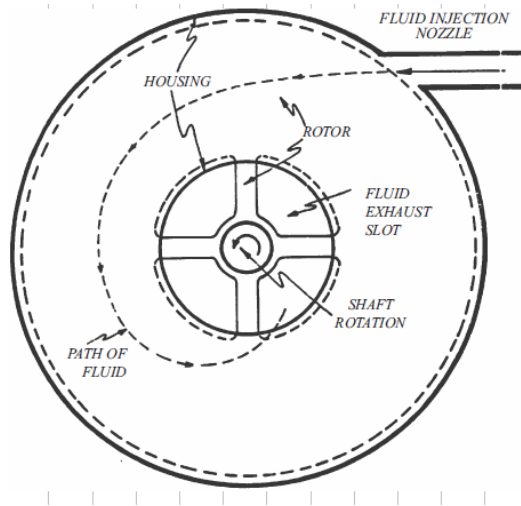
2.2.2 Cara Kerja Turbin Tesla

Turbin tesla dapat disebut juga dengan turbin *bladeless* karena pada turbin tesla menggunakan piringan yang polos tidak seperti turbin pada umumnya yang menggunakan sudu pada turbin agar fluida memberikan tekanan pada sudu hingga memutar rotor. Tetapi turbin tesla memanfaatkan efek dari fluida yang menghambat pada celah antar piringan akibat dari *viskositas*, sehingga memanfaatkan efek *boundary layer* yaitu efek lapisan batas interaksi antara media fluida terhadap *blade* atau piringan.

Piringan tersusun secara paralel dengan pembatas dari piringan tersebut berupa ring poros. Fluida bertekanan masuk pada tiap piringan, kemudian akibat adanya tekanan adhesi dan viskositas pada fluida terhadap permukaan piringan membuat laju fluida terhambat sehingga memberi gaya pada tiap piringan, dan piringan berputar.

Media fluida akan melewati piringan *blade* tesla membentuk lingkaran spiral menuju pusat piringan *blade* tesla dan kemudian akan keluar pada lubang *exhaust*.

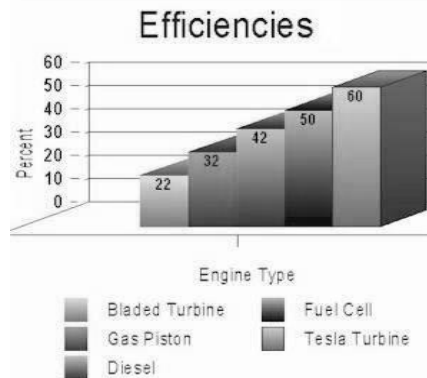
Kecepatan putar dan daya yang dihasilkan pada turbin berdasarkan dari masukan *input*, diameter piringan *blade tesla*, dan jarak antar piringan *blade tesla*. Untuk *input*-an fluida dapat diatur sesuai yang diinginkan, namun untuk diameter piringan dan jarak antar piringan harus sesuai untuk menghasilkan *output* yang optimum. Jarak antar piringan tergantung media fluida yang akan digunakan.



Gambar 2.2. Laju aliran fluida yang bekerja pada turbin.

2.2.3 Keunggulan Turbin Tesla

Salah satu keunggulan dari tesla dibandingkan dengan turbin yang lain yaitu dapat digunakan dengan media fluida cair ataupun dengan media fluida udara karena dengan bentuk *blade* yang tipis seperti piringan *compact disk*, dapat dilalui oleh fluida apapun. Media yang digunakan mempengaruhi celah antar *blade*. Tetapi dalam pengembangannya sebagai bentuk *prototype*-nya turbin tesla menggunakan gas sebagai medianya. Dengan gas sebagai media lebih praktis dan mudah, karena udara cocok untuk percobaan *prototype* yang sederhana dan kecil, dan tidak membutuhkan tempat keluaran dari turbin berbeda jika menggunakan media cair yang membutuhkan tempat keluaran.



Gambar 2.3. Perbandingan efisiensi.

Pada gambar 2.3 menjelaskan bahwa jenis mesin *bladed turbine* efisiensinya hanya mencapai 22 %. Untuk gas piston efisiensinya mencapai 32 %, mesin diesel 42 %, *fuel cell* 50 % dan turbin tesla 60 %. Ini membuktikan bahwa jenis tesla mempunyai efisiensi lebih besar daripada jenis mesin atau turbin lainnya.

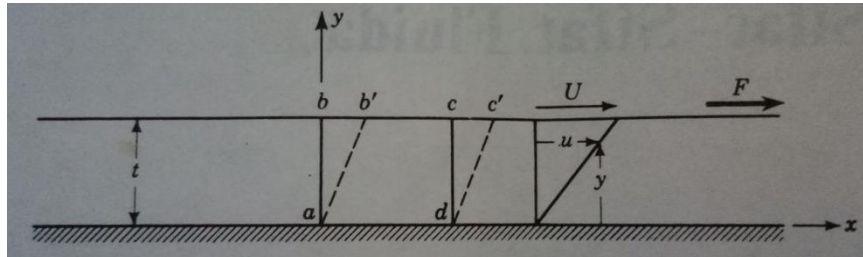
Perkembangan tesla pada zamannya mempunyai tingkatan efisiensi yang tinggi dari pada turbin yang lain yaitu sekitar 60% hingga 95 %, namun dalam turbin tesla efisiensi yang dihasilkan tidak selalu mencapai 60%. Hal ini disebabkan *input* yang berupa gas bertekanan tidak sebanding dengan daya yang dihasilkan kecil. Sebaliknya dengan *input* yang lebih besar dan generator yang besar maka efisiensi yang dihasilkan pun menjadi besar.

2.3 Aliran Fluida

2.3.1 Fluida

Fluida adalah zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan.

Dalam Gambar 2.4 suatu zat ditempatkan di antara dua buah pelat sejajar dengan jarak antara yang kecil dan yang sedemikian luasnya sehingga keadaan pada tepi-tepi pelat dapat diabaikan. Pelat bawah terpasang tetap, dan suatu gaya F diterapkan pada pelat atas, yang mengerahkan tegangan geser F/A pada zat apapun yang terdapat di antara pelat-pelat itu A ialah luas pelat atas. Bila gaya F menyebabkan pelat atas bergerak dengan suatu kecepatan yang stedi, betapapun kecilnya F , maka kita dapat menyimpulkan bahwa zat di antara kedua pelat tersebut adalah suatu fluida.



Gambar 2.4 Perubahan bentuk yang diakibatkan oleh penerapan gaya geser yang konstan

Percobaan-percobaan menunjukkan bahwa, dengan besar-besaran lainnya dipertahankan konstan, F berbanding lurus dengan A serta dengan U dan berbanding terbalik dengan tebal t . Dalam bentuk persamaan:

$$F = \mu \frac{AU}{t}$$

$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{\omega \cdot r}{t}$$

Dimana :

- F = Gaya geser (N)
- μ = Viskositas (N.s/m²)
- A = Luas permukaan (m²)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)
- r = Jari – jari (m)
- t = Diametral clearance (m)

(Sumber: Victor L. Streeter, 1999, Hal. 4)

2.3.2 Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida yang mendasari diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut, air dan udara mempunyai viskositas yang sangat kecil.

Dimensi viskositas ditentukan dari hukum viskositas Newton. Penyelesaiannya untuk viskositas μ

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy}$$

Dimana :

- μ = Viskositas (N.s/m²)
- τ = Tegangan geser (N/m²)
- du/dy = Perubahan kecepatan dibagi dengan jarak (rad/s)

(Sumber: Victor L. Streeter, 1999, Hal. 4)

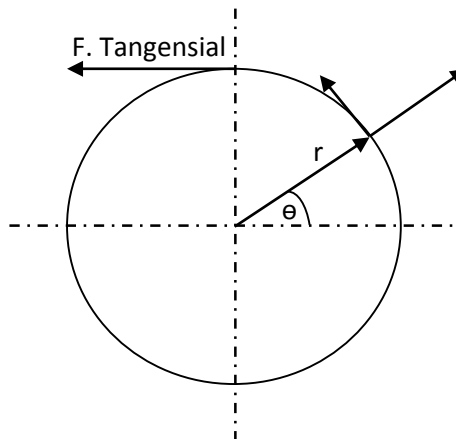
Tabel 2.1 Harga viskositas

Temperatur (°C)	Viskositas minyak jarak, (poise)	Viskositas air (centipoise)	Viskositas udara (micropoise)
0	53	1,792	171
20	9,86	1,005	181
40	2,31	0,656	190
60	0,80	0,469	200
80	0,30	0,357	209
100	0,17	0,284	218

(Sumber: Sears. Zemansky, 1962, Hal.343)

2.4 Gaya Tangensial Pada Disk

Gaya yang arahnya tegak lurus dengan jari-jari lingkaran. Ketika suatu benda bergerak melingkar, maka benda akan mengalami sebuah gaya tangensial



Gambar 2.5 Arah gaya tangensial

Kecepatan sudut ω didefinisikan sebagai perbandingan perubahan sudut terhadap selang waktu

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Dimana :

ω = Kecepatan sudut disk turbin (*rad/detik*)

n = putaran turbin (Rpm)

60 = waktu (detik)

Jika kecepatan sudut benda berubah sebesar $\Delta\omega$ dalam selang waktu Δt , dikatakan benda itu mempunyai percepatan sudut. Percepatan sudut didefinisikan sebagai

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

Dimana :

α = Percepatan sudut disk turbin (rad/detik²)

ω = Kecepatan sudut disk turbin (rad/detik)

t = waktu (detik)

Tabel 2.2 Analogi antara besaran translasi dan besaran rotasi

Konsep	Translasi	Rotasi	Catatan
Perubahan sudut	s	θ	$s = r\theta$
Kecepatan	$v = ds/dt$	$\omega = d\theta/dt$	$v = r\omega$
Percepatan	$a = dv/dt$	$\alpha = d\omega/dt$	$a_t = r\alpha$
Gaya resultan, momen	F	Γ	$\Gamma = Fr$
Keseimbangan	$F = 0$	$\Gamma = 0$	
Percepatan konstan	$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$	$I = \sum m_i r_i^2$
	$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$	
	$v^2 = v_0^2 + 2as$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$	
Masa, momen kelembaman	m	I	
Hukum kedua Newton	$F = ma$	$\Gamma = I\alpha$	
Usaha	$W = \int F ds$	$W = \int \Gamma d\theta$	
Daya	$P = Fv$	$P = \Gamma\omega$	
Energi potensial	$E_p = mgy$		
Energi kinetik	$E_k = \frac{1}{2} m v^2$	$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$	
Impuls	$\int F dt$	$\int \Gamma dt$	
Momentum	mv	$L = I\omega$	

Dari tabel analogi antara besaran translasi dan besaran rotasi didapatkan kecepatan tangensial, percepatan tangensial, gaya tangensial, dan momen torsi.

2.4.1 Kecepatan tangensial

$$v = r \cdot \omega$$

Dimana :

v = Kecepatan tangensial (m/detik)

r = jari-jari (m)

ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

2.4.2 Percepatan tangensial

$$a_t = r\alpha$$

Dimana :

a_t = Percepatan tangensial (m/detik²)

r = jari-jari (m)

α = Percepatan sudut (rad/detik²)

2.4.3 Gaya Tangensial

$$F_t = m \cdot a$$

Dimana :

F_t = Gaya tangensial (N)

m = Massa (kg)

a = Percepatan tangensial (m/s^2)

(Sumber: Sears. Zemansky, 1962, Hal. 213-221)

2.5 Momen Torsi

$$M_T = F \cdot r$$

Pada turbin tesla terdapat gaya geser dan gaya tangensial yang arahnya searah sehingga:

$$M_T = (F + F_t) \cdot r$$

Dimana :

M_T = Momen torsi (Nm)

F = Gaya geser (N)

F_t = Gaya tangensial (N)

r = Jari-jari (m)

2.6 Menghitung Daya Turbin Tesla

Momen torsi sering harus dihitung dari daya yang ditransmisikan dengan putaran poros tertentu

$$Mt = 63000 \frac{N}{n} (lb \text{ in})$$

$$Mt = 71620 \frac{N}{n} (kg \text{ cm})$$

Dimana:

N = Daya (HP)

n = Putaran (rpm)

Kalau satuan yang dipakai adalah SI rumus yang dipakai adalah:

$$Mt = \frac{N}{\omega} (\text{Nm})$$

Sehingga,

$$N = Mt \cdot \omega$$

Dimana:

N = Daya (watt)

Mt = Momen torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

(Sumber: Ir. Zainun Achmad, Msc, 1999, Hal.21)

2.7 Menghitung Daya Yang Dihasilkan Oleh Arus Listrik

$$P = V \times I$$

Dimana:

P = Daya listrik (watt)

V = Tegangan Listrik (volt)

I = Arus Listrik (ampere)

2.8 Generator

Generator memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tetapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tetapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tetapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain.