

BAB II

TURBIN

A. Sungai

1. Pengertian

Sungai adalah aliran terbuka dengan ukuran geometrik yaitu penampang melintang, profil memanjang dan kemiringan lembah yang berubah seiring waktu, tergantung pada debit, material dasar dan tebing. Setiap sungai memiliki karakteristik dan bentuk yang berbeda antara satu dengan yang lainnya, hal ini disebabkan oleh banyak faktor diantaranya topografi, iklim, maupun segala gejala alam dalam proses pembentukannya. Sungai yang menjadi salah satu sumber air, tidak hanya menampung air tapi juga mengalirkannya dari bagian hulu ke bagian hilir.

Sungai mempunyai fungsi mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Sungai itu dapat digunakan juga untuk berjenis-jenis aspek seperti pembangkit tenaga listrik, pelayaran, pariwisata, perikanan dan lain-lain. Dalam bidang pertanian sungai itu berfungsi sebagai sumber air yang sangat penting untuk irigasi.

Jenis - jenis sungai menurut jumlah airnya

- a. Sungai permanen-yaitu sungai yang debit airnya sepanjang tahun relatif tetap.
- b. Sungai periodik-yaitu sungai yang pada waktu musim hujan airnya banyak, sedangkan pada musim kemarau airnya sedikit.

- c. Sungai *intermittent* atau sungai episodik-yaitu sungai yang mengalirkan airnya pada musim penghujan, sedangkan pada musim kemarau airnya kering.
- d. Sungai *ephemeral*-yaitu sungai yang ada airnya hanya pada saat musim hujan. Pada hakekatnya, sungai jenis ini hampir sama dengan jenis episodik, hanya saja pada musim hujan sungai jenis ini airnya belum tentu banyak. ^[5]

Cara perhitungan debit sungai dilakukan dengan membagi lebar sungai menjadi bagian yang sama setiap ukurannya misalkan lebar penampang horizontal 5.5 meter maka pembagian lebar nya bisa di bagi menjadi 10 bagian yaitu 0.55 meter per bagian. Kecepatan aliran dan kedalaman air diukur di masing-masing bagian, yaitu pada vertikal yang mewakili bagian tersebut. Debit di setiap bagian dihitung dengan mengalihkan kecepatan rerata dan luas penampang saluran Debit total adalah jumlah debit diseluruh bagian, untuk bagian yang berdampingan dengan kedua tebing sungai, persamaan di atas dapat digunakan, dimana kecepatan pada tebing adalah nol dan kedalaman pada titik tersebut juga nol, akan tetapi apa bila bagian tebing memiliki kecepatan dan kedalaman maka ukur lah sebagaimana mestinya. Debit yang dihitung merupakan jumlah debit total aliran pada setiap penampang dapat di rumus kan sebagai berikut

$$Q(m^3/detik) = \frac{L1 D1 V1 + L2 D2 V2 + L3 D3 V3 \dots Ln Dn Vn}{Jumlah\ Bagian\ (n)} \dots(2.1)$$

[5] Dwiyanto, Very. 2016. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Study Kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)*[skripsi] Fakultas teknik, Universitas Lampung

Atau

$$Q \text{ rerata (m}^3/\text{detik)} = \frac{Q_1+Q_2+Q_3+\dots+Q_n}{\text{Jumlah Bagian (n)}} \quad \dots(2.2)$$

Tabel 2.1 Contoh perhitungan debit aliran

Q	L	D	V	Q
Q1	0.55	1.14	0.05	0.314
Q2	0.55	1.18	0.10	0.0649
Q3	0.55	1.22	0.10	0.0671
Q4	0.55	1.37	0.10	0.0754
Q5	0.55	1.38	0.15	0.1139
Q6	0.55	1.20	0.15	0.0990
Q7	0.55	0.68	0.10	0.0374
Q8	0.55	0.64	0.10	0.0352
Q9	0.55	0.59	0.10	0.0352
Q10	0.55	0.5	0	0
	Jumlah		0.95	0.5566
	Rata-Rata		0.095	0.0557 ^[12]

[12] Norhadi, Ahmad. Akhmad Marzuki. LukiWicaksono. Rendi Addetya Yacob. 2015. Studi Debit Aliran Pada Sungai Antasan Kelurahan Sungai Andai Banjarmasin Utara. *Jurnal POROS TEKNIK* Volume 7 No. 1 Juni 2015 : 1 – 53

B. Turbin

1. Pengertian

Turbin adalah bagian terpenting dari unit mikro hidro. Pada turbin aliran air diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar rotor (kincir). Dengan *belt*, puli (*pulley*) pada rotor dihubungkan dengan puli generator yang akan mengubah putaran yang dihasilkan menjadi energi listrik. Jumlah energi yang diperoleh sangat bergantung pada debit air dan beda ketinggian lokasi. Pemilihan desain atau tipe ideal turbin untuk kondisi tertentu tergantung pada karakteristik lokasi khususnya beda tinggi dan debit air tersedia. Semua tipe turbin mempunyai karakteristik kecepatan dan kekuatan yang akan berputar paling efisien pada kombinasi beda tinggi dan debit tertentu. Kecepatan putaran turbin utamanya ditentukan oleh beda tinggi. Berdasarkan beda tinggi, desain turbin dapat dikelompokkan kedalam beda tinggi tergolong tinggi (*high head*) diatas 30 meter, sedang (*medium head*) dengan beda tinggi antara 10-30 meter, dan rendah (*low head*) dengan beda tinggi dibawah 10 meter. Turbin juga dibedakan berdasarkan cara kerjanya, yaitu turbin impulse dan turbin reaksi. Turbin impulse adalah turbin yang mengubah seluruh energi air menjadi energi kinetik yang akan memutar turbin, sehingga menghasilkan energi puntir. Sedangkan turbin reaksi adalah turbin yang mengubah energi air secara langsung menjadi energi puntir.^[13]

^[13] Nugroho, Hunggul, Y. S. H. 2015. *PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)*. Yogyakarta : Penerbit Andi

Tabel 2.2 Jenis Turbin

Jenis Turbin	High Head (>30 m)	Medium Head	Low Head (<10 m)
Turbin Impulse	Pelton	Crossflow	Crossflow
	Turgo	Multi Jet Pelton	
		Turgo	
Turbin Reaksi		Francis	Propeller
			Kaplan

2. Karakteristik Turbin

Setiap turbin memiliki karakteristik atau ciri khas yaitu,

a. Efisiensi

Sebagaimana telah diterangkan bila air dengan debit Q m³/ detik jatuh dari ketinggian H meter, maka energi yang dapat dibangkitkan adalah:

$$P \text{ (daya)} = \eta Q \rho g \cdot H_{\text{netto}} \text{ Watt} \quad \dots(2.3)$$

Dengan $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, dan $g = 9,8 \text{ m}^3/\text{detik}^2$ maka:

$$P = \eta \cdot 9,8 \cdot Q H_{\text{netto}} \text{ kW} \quad \dots(2.4)$$

Dengan

$H_{\text{netto}} = H_{\text{netto}}$, yaitu perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi disebabkan gesekan, tikungan dan sebagainya.

η = efisiensi, yaitu perbandingan energi yang keluar dari turbin (yang diberikan aliran air), kira-kira sebesar 80-95%.

b. Faktor Kecepatan (*speed factor*) ϕ

Faktor ini ditentukan oleh:

$$\phi = \frac{\text{kecepatan putaran } u \text{ (m/det) dari turbin}}{\sqrt{2 g H_{\text{netto}}}} \quad \dots(2.4)$$

$$u = \omega r \quad \dots(2.5)$$

dengan ω = kecepatan sudut (radian/det) dan r jari-jari turbin (bagian yang berputar).

Faktor kecepatan ini juga dapat ditentukan dengan:

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{\text{diameter x putaran per menit}}{84,6\sqrt{H_{\text{netto}}}} \\ &= \frac{D \cdot N}{84,6\sqrt{H_n}} \end{aligned} \quad \dots(2.6)$$

Dengan N = banyaknya putaran per menit

D = diameter

ϕ = konstanta untuk suatu turbin tertentu

c. Kecepatan satuan (*unit speed*)

Kecepatan satuan adalah kecepatan turbin (bagian yang berputar) yang geometris serupa (homologous) pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter dan $D = 1$ meter.

Di atas telah diterangkan bahwa

$$\phi = \frac{D \cdot N}{84,6\sqrt{H_n}}$$

Dengan demikian

$$H_n = \frac{D^2 N^2}{(84,6 \phi)^2} = \frac{D^2 N^2}{\alpha^2} \quad (\alpha = \text{konstanta}) \quad \dots(2.7)$$

Kecepatan satuan ($H_n = 1$ meter, $D = 1$ meter)

$$N_{11} = \frac{N D}{\sqrt{H_n}} \quad \dots(2.8)$$

d. Debit satuan (*unit discharge*)

Debit satuan adalah debit (m^3/detik) turbin yang geometris serupa (*homologous*) pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter dan $D = 1$ meter. Telah diterangkan bahwa,

$$\phi \text{ (faktor kecepatan)} = \frac{u}{\sqrt{2 g H_n}} \text{ atau } u = \phi \sqrt{2 g H_n} \quad \dots(2.9)$$

$$Q = u \cdot b \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \text{ (} b = \text{angka konstan)} = e D^2 \sqrt{2 g H_n} \quad \dots(2.10)$$

$$Q_{11} (H_n = 1 \text{ meter, } D = 1 \text{ meter}) = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H_n}} \quad \dots(2.11)$$

e. Daya satuan (*unit power*)

Daya satuan adalah daya yang dibangkitkan oleh turbin yang geometrisserupa (*homologous*) pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter dan $D = 1$ meter seperti yang telah diterangkan bahwa,

$$P = \eta Q \rho g H_n = j \cdot Q H_n \quad \dots(2.12)$$

$$Q = e D^2 \sqrt{2 g H_n} \quad \dots(2.13)$$

$$P = j \cdot e D^2 \sqrt{2 g H_n} \cdot H_n = m D^2 H_n^{\frac{5}{2}} \quad \dots(2.14)$$

$$P_{11} = (H_n = 1 \text{ meter, } D = 1 \text{ meter}) = \frac{P}{D^2 H_n^{\frac{5}{2}}} \quad \dots(2.15)$$

f. Putaran Spesifik (*specific speed*)

Putaran spesifik N , adalah besaran turbin yang geometris serupa (*homologous*) sehingga pada $H_{\text{netto}} = 1$ meter menghasilkan daya 1kW. Di atas telah diterangkan bahwa,

$$P = m D^2 H_n^{\frac{5}{2}} \quad \dots(2.16)$$

Atau

$$D = \frac{\sqrt{P}}{m H_n^{\frac{5}{2}}} = t \cdot \frac{P^{\frac{1}{2}}}{H_n^{\frac{5}{2}}}$$

$$D = \frac{q H_n^{\frac{1}{2}}}{N}$$

$$\frac{q H n^{\frac{1}{2}}}{N} = \frac{t \cdot P^{\frac{1}{2}}}{H n^4} \quad \dots(2.17)$$

$$N = s \frac{H n^{\frac{1}{2}} \cdot H n^{\frac{3}{2}}}{P^{\frac{1}{2}}} \quad \dots(2.18)$$

$$N_s (H_n = 1 \text{ meter}, P = 1 \text{ kw}) = \frac{N P^{\frac{1}{2}}}{H n^4} \quad \dots(2.19)$$

Putaran spesifik merupakan ciri khas (karakter) dari setiap mesin hidrolis.

Karakteristik dari beberapa turbin terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 Ciri-ciri Mesin Hidrolis

Turbin	Bentuk	N_s (Putaran / menit)	N_{11} (Putaran / menit)	Q_{11} (m^3 /detik)	H (efektif) maks, (m)
Pelton	Satu Pancaran	9 - 11	39,8 - 39,4	0,007 - 0,011	1800 - 1650
		11 - 17	39,4 - 38,9	0,011 - 0,024	1650 - 700
		17 - 25	38,9 - 37,6	0,024 - 0,055	700 - 350
Francis	Pelahan Normal	50 - 100	60,8 - 63,6	0,1 - 0,35	410 - 280
		100 - 150	63,6 - 67,5	0,35 - 0,59	280 - 150
		150 - 190	67,5 - 72,6	0,59 - 0,83	150 - 100
Kaplan	8 daun	190 - 250	85 - 145	0,930 - 1,220	50
	6 daun	250 - 300	100 - 155	1,290 - 1,800	35
	5 daun	240 - 450	110 - 170	1,600 - 2,200	20
	4 daun	330 - 560	120 - 180	2,000 - 2,350	15
	3 daun	390 - 690 490 - 750 570 - 920	135 - 200	2,350 - 2,450	6

Dari besarnya putaran spesifik dapat diketahui macam turbin

$N_s = 9$ hingga 25 untuk turbin Pelton dengan satu pancaran.

$N_s = 25$ hingga 60 untuk turbin Pelton dengan lebih dari satu pancaran.

$N_s = 40$ hingga 400 untuk turbin Francis.

$N_s = 260$ hingga 860 untuk turbin Kaplan.

$N_s = 340$ hingga 680 untuk turbin Propeller.

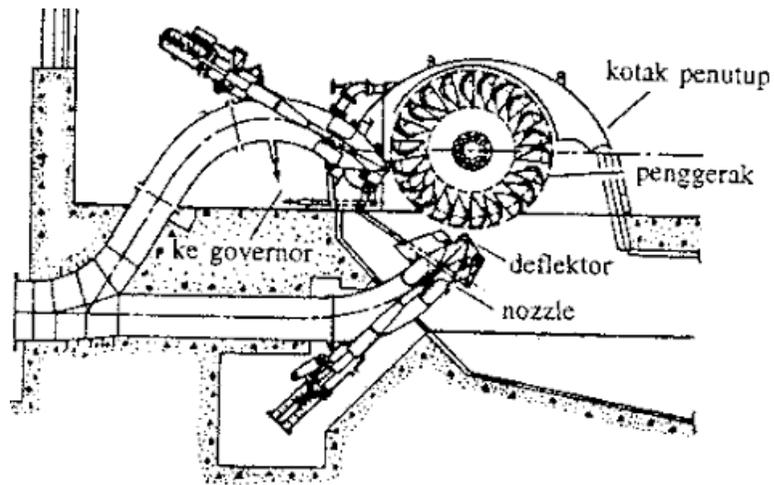
3. Turbin Pelton

Dari Tabel 2.3 diatas terlihat bahwa turbin Pelton sangat baik pada PLTA dengan tinggi yang besar pada debit yang kecil. Banyaknya pancaran dapat dibuat satu hingga empat; kapasitas pipa pancaran ditentukan oleh diameternya yang pada umumnya diambil 20 cm.

Diameter runner ditentukan oleh syarat mesin, antara lain penempatan timba dan gaya sentrifugal yang diperbolehkan yang ditentukan kekuatan bahan.

Bagian-bagian utama dari turbin Pelton adalah: Gambar 2.1

- a. Pipa nozzle dan lain-lain yang diperlukan untuk mengarahkan aliran jet air.
- b. Runner yang menggunakan energi kinetis aliran jet (semburan) air.
- c. Kotak penutup untuk mengamankan runner dan nozzle.
- d. Alat pengatur kecepatan (governor) agar kecepatan tetap sama pada beberapa beban.



Gambar 2.1 Turbin Pelton ^[3]

Pada umumnya lebih banyak mesin dengan as horisontal dipakai pada mesin dengan as vertikal. Pada as horisontal bila diperlukan 4 jet, maka dipakai 2 runner, sedang setiap runner mendapatkan aliran dari 2 jet. Pada as vertikal dipakai satu runner dijalankan 4 jet.

Besarnya efisiensi pada beberapa presentase debit dan penerapan daya diperlihatkan oleh grafik pada Gambar 2.2.

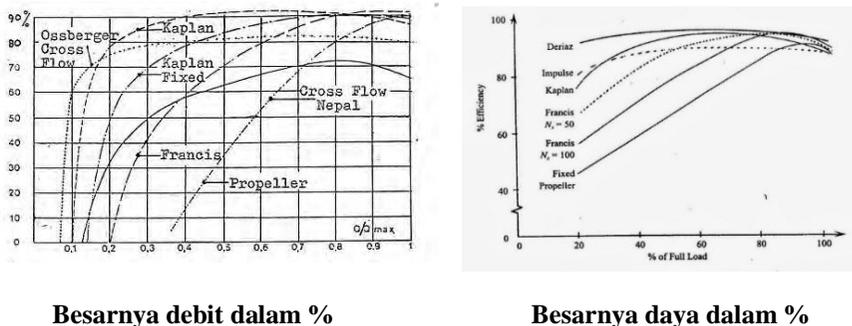
Grafik ini memperlihatkan :

- a. Debit pada beban nol kecil; besarnya debit untuk memutar turbin, jadi tidak untuk memutar turbin dan generator agar dapat membangkitkan tenaga listrik, dengan kecepatan normal 3% dari debit yang direncanakan.
- b. Garis efisiensi praktis horisontal, berarti efisiensi tidak berubah pada beberapa beban.

Untuk mendapatkan H efektif sebesar mungkin, turbin harus ditempatkan serendah mungkin. Perlu diperhatikan bahwa roda

^[3] Anonim. 2014. *Turbin Pelton*. <https://mcpprambanan.wordpress.com/2017/05/20/makalah-bab-turbin/>. Diakses Pada Tanggal 17 April 2018

turbin Pelton harus diletakkan diatas muka air tertinggi dalam saluran pembuangan. Disamping bentuk garis efisiensi yang praktis horisontal, turbin Pelton, dibandingkan turbin yang lain mempunyai keuntungan; pengaturan kecepatan yang lebih baik dan konstruksi yang sederhana. Pada H yang besar ini, pecegahan besarnya pukulan air harus mendapat perhatian yang serius, antara lain ukuran saringan halus pada tempat pemasukan pipa pesat, yaitu untuk turbin Pelton sebesar 15 cm. Bila debit air begitu besar sehingga memerlukan lebih dari 4 pancaran, maka turbin pelton lebih baik diganti turbin Francis.



Besarnya debit dalam %

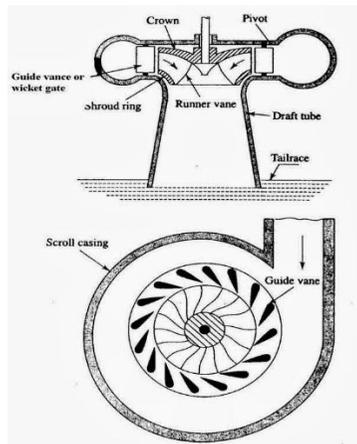
Besarnya daya dalam %

Gambar 2.2 ^[1]

[1] Anonim.2009. *Besarnya debit dalam % dan Besarnya daya dalam %* <http://docplayer.info/59279107-Kata-kunci-saluran-irigasi-potensi-debit-elevasi-microhidro.html>. Diakses Pada Tanggal 16 April 2018

4. Turbin Francis

Bagian-bagian utama dari turbin francis adalah:



Gambar 2.3 Turbin Francis ^[2]

- Rumah spiral (scroll-case) yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran air ke turbin (runner).
- Bagian turbin yang berputar (runner).
- Pipa pelepas air (draft-tube) yang meneruskan air dari turbin ke saluran pembuangan.

Fungsi rumah spiral adalah membagi rata air yang diterima dari pipa pesat ke sekeliling turbin. Agar dapat mencapai maksud ini, maka jalan aliran air harus sebaik mungkin, yang dapat dicapai dengan mengadakan model tes. Di dalam rumah spiral ini terdapat sayap tegak (stay-vane) yang selain berfungsi memperkuat konstruksinya harus memenuhi persyaratan hidrolis; aliran air ke turbin harus sebaik mungkin. Pada PLTA dengan tekanan rendah yang banyak airnya ratusan, bahkan ribuan m^3/detik , rumah spiral dan pipa pelepas air dibuat dari beton. Rumah spiral dibuat dari besi cor untuk tekanan sebesar 50-60m,

^[2] Anonim.2013. *Turbin Francis* <http://jerryjerrsevy.blogspot.co.id/2013/12/jenis-turbin-hidrolik.html?m=1>. Diakses Pada Tanggal 16 April 2018

dan pada tekanan yang lebih tinggi bahannya adalah baja, maka rumah spiral terdiri dari beberapa segmen yang kemudian dihubungkan satu dengan yang lain dengan cara las atau dibaut.

Yang dinamakan turbin terdiri dari:

- a. Katup pemandu (guide vane)
- b. Bagian yang berputar (runner)
- c. Kotak roda (whale case)
- d. Poros (shaft)
- e. Bantalan poros (bearings)

Turbin berukuran kecil terbuat dari besi cor atau tembaga, yang besar dari baja atau juga dari baja tahan karat (stainless steel). Tentang poros dan pemukul terdapat perbedaan pada mesin horisontal (letak poros horisontal) dan mesin vertikal.

5. Turbin Kaplan/Propeller

Bagian-bagian turbin ini sama seperti pada turbin Francis, yaitu:

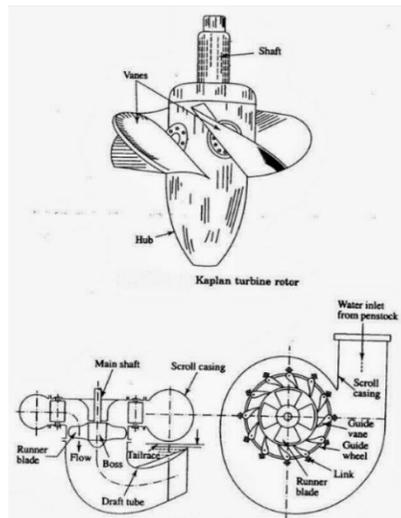
- a. Rumah spiral
- b. Turbin
- c. Pipa pelepas air

Turbin propeller dalam arti umum terdiri dari 4 macam:

- a. Daun-daun turbin tetap – katup pemandu tetap
- b. Daun-daun turbin tetap – katup pemandu dapat diatur
- c. Daun-daun turbin dan katup pemandu dapat diatur
- d. Daun-daun turbin dapat diatur – katup pemandu tetap

Umumnya turbin dengan daun-daun turbin tetap disebut turbin Propeller dan dengan daun-daun turbin dapat diatur dinamakan turbin Kaplan. Perlu diingat bahwa bagian-bagian turbin Propeller juga ditemukan oleh Kaplan.

Turbin Kaplan dengan tekanan rendah mempunyai 4-6 daun, sedang dengan tekanan tinggi memiliki tekanan 8 daun. Daun terbuat dari baja tetapi ada juga yang terbuat dari baja tahan karat yang lebih mampu menahan pengaruh kavitasi.



Gambar 2.4 Turbin Kaplan^[4]

Daun-daun turbin sekarang terbuat dari pelat baja yang dilas, antara pelat tubin terdapat ruang kosong. Poros yang berlubang terbuat dari baja berkarbon tinggi (high-carbon steel) dengan kekuatan tarik minimal $500\text{N}/\text{mm}^2$. Turbin kaplan umumnya mempunyai hanya satu poros untuk turbin dan generator. ^[14]

^[4] Anonim.2016. *Turbin Kaplan* <http://jerryjerrsevy.blogspot.co.id/2013/12/jenis-turbin-hidrolik.html?m=1>. Diakses Pada Tanggal 14 April 2018

^[14] Patty, O, F. 1994. *Tenaga Air*. Surabaya: Penerbit Erlangga

C. Rumah Keong (*Spiral Case*)

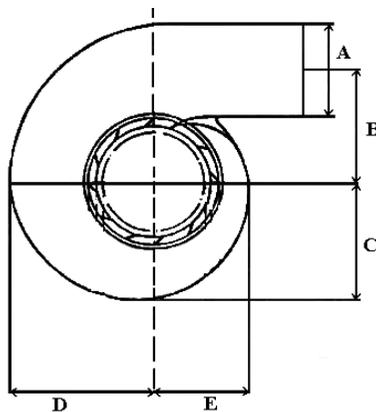
1. Fungsi Rumah Keong

Rumah keong mempunyai fungsi untuk mengalirkan dan membagi (mendistribusikan air yang berasal dari pipa pesat ke seluruh keliling runner dengan arah tangensial terhadap runner).

2. Cara Kerja

Rumah keong yang berbentuk melingkar sekeliling tapi luar runner, dengan penampang luar air berangsur makin kecil, membuat air bergerak melingkar diseluruh keliling runner dan selanjutnya diarahkan menuju runner.

3. Penentuan Ukuran Rumah Keong



Gambar 2.5 Pandangan atas spiral case

Ukuran pada bagian A

$$\frac{A}{D_1} = 0,40 \times N_s^{0,20} \quad \dots(2.20)$$

Ukuran pada bagian B

$$\frac{B}{D_1} = 1,26 \times 3,79 \times 10^{-4} \times N_s \quad \dots(2.21)$$

Ukuran pada bagian C

$$\frac{C}{D_1} = 1,46 \times 3,24 \times 10^{-4} \times N_s \quad \dots(2.22)$$

Ukuran pada bagian D

$$\frac{D}{D1} = 1,59 \times 5,74 \times 10^{-4} \times Ns \quad [8] \quad \dots(2.23)$$

4. Kecepatan Tangensial

Pada gerak melingkar, kecepatan biasanya disebut kecepatan tangensial. Disebut tangensial karena arah kecepatan selalu menyinggung lintasan lingkaran. Jika suatu benda berputar searah putaran jarum jam dan menempuh satu putaran (360°) selama 1 sekon maka besar kecepatan sudut semua bagian adalah 1 putaran/sekon = $360^\circ/\text{sekon} = 6,28$ radian/sekon dan arah kecepatan sudut searah putaran kecepatan jarum jam.

Misalkan jika jari-jari kipas 20 cm maka tepi kipas bergerak melingkar dengan kecepatan sebesar :

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times r}{1 \text{ second}} \quad \dots(2.24)$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 0,2}{1 \text{ second}} = 1,256 \text{ rad/s}$$

Titik yang berjarak 1cm (0,01m) dari poros bergerak melingkar dengan kecepatan sebesar :

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 0,01}{1 \text{ second}} = 0,0628 \text{ rad/s}$$

Semakin kecil r, semakin kecil kecepatan.

Hubungan antara kecepatan dan kecepatan sudut dinyatakan :

$$V = \frac{s}{t} = \frac{r\theta}{t} \rightarrow \frac{\theta}{t} = \omega$$

$$V = r \omega$$

Keterangan :

V = kecepatan (m/s)

R = jari-jari atau jarak dari poros (m)

ω = kecepatan sudut (rad/s) ^[13]

[13] Nugroho, Hunggul, Y. S. H. 2015. *PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)*. Yogyakarta : Penerbit Andi