

ANALISA RANCANG BANGUN TURBIN CROSS-FLOW SALURAN TERBUKA DENGAN DEBIT AIR 14 LITER/MENIT SKALA LABORATORIUM

Harwan Ahyadi¹⁾, Dimas Adi Prasetyo²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,

Institut Sains dan Teknologi Nasional

Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640

Email : Harwan.ahyadi@gmail.com

ABSTRAK

Turbin air cross-flow adalah mesin fluida yang merubah energi potensial air menjadi energi mekanik pada poros dan dapat dijadikan energi listrik/PLTMH, dalam merancang bangun turbin air crossflow menggunakan metode VDI 2221. turbin air crossflow skala laboratorium relatif ringan dengan panjang 1 m lebar 0,5 m tinggi 0,6 m dapat dibongkar/pasang dengan mudah, perancangan menunjukkan bahwa turbin air cross-flow skala laboratorium dapat bekerja cukup baik menunjukkan performansi optimal, dan debit air pada saluran sehingga memutar turbin pada kondisi beban terpasang maupun tanpa beban. Hasil pengujian menggunakan pompa dengan pembukaan katup penuh diperoleh daya 0,2489 watt dengan debit air 14 liter/menit.

Kata kunci: Turbin Crossflow, Rancang Bangun

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah teknologi untuk memanfaatkan debit air yang ada di sekitar kita untuk diubah menjadi energi listrik. Caranya dengan memanfaatkan debit air untuk menggerakkan turbin yang akan menghasilkan energi mekanik.

Dengan demikian salah satu alternatif yang akan digunakan dalam penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini adalah tipe turbin *Bánki-Michell/Cross-Flow*. Penelitian ini difungsikan untuk skala laboratorium.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Turbin Air.

Turbin air adalah suatu mesin fluida yang mengubah energi potensial air ke energi kinetik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air

dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator.

2.2 Klasifikasi Turbin Air.

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu:

- a) Turbin impuls dan
- b) Turbin reaksi.

Berdasarkan arah alirannya, turbin air dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu turbin aliran radial dan turbin aliran aksial.

- a) Turbin Aliran Radial.
- b) Turbin Aliran Aksial.

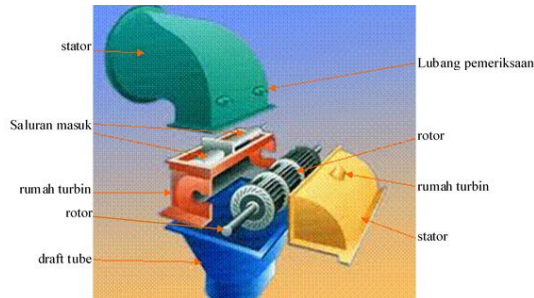
2.3 Turbin Air Tipe *Cross-Flow*.

Turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903 kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki

sehingga turbin ini diberi nama Turbin *Banki* atau Turbin *Michell-Ossberger* (Haimmerl, 1960). Turbin *cross-flow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m³/s dan ketinggian antara 1 m s/d 200 m. Turbin *cross-flow* menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis ketika air masuk menuju turbin dan mengenai sudu. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

Pemakaian jenis Turbin *cross-flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya.

Berikut ini merupakan contoh dari gambar Turbin *cross-flow* terlihat pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Model rakitan turbin *cross-flow* (IBEKA, 2012)

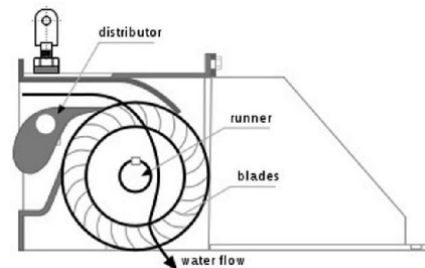
Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedangkan efisiensi turbin *cross-flow* mencapai 82 %. Tingginya efisiensi Turbin *cross-flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu saat air mulai masuk dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata

memberikan

Keuntungan turbin *Cross-Flow* :

- a) Daya yang dihasilkan besar.
- b) Konstruksi yang sederhana.
- c) Mudah dalam perawatan.
- d) Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

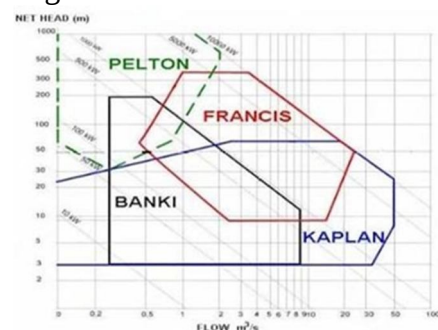
Berikut ini merupakan contoh dari gambar Arah aliran di dalam ruang turbin *cross-flow* seperti terlihat pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Arah aliran di dalam ruang turbin *cross-flow* (Penche, 2014)

Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air. Turbin *Cross-Flow* digolongkan ke dalam jenis turbin impuls atau tekanan sama. Karena selama mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau nosel. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Pada waktu melewati roda turbin, energi kinetik dikonversikan menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi terlepas dan sebagian lagi digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin.

Berikut ini merupakan contoh dari gambar grafik perbandingan turbin seperti terlihat pada gambar 2.5 berikut ini.

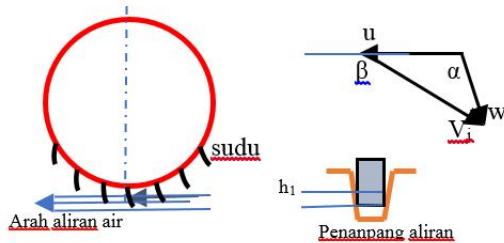


Gambar 2.5 grafik perbandingan turbin

2.4 RUMUS PERHITUNGAN DALAM PERENCANAAN TURBIN.

Untuk merancang turbin air digunakan rumus sebagai berikut.

2.4.1 Menghitung Daya Air.



Gambar 2.9 Segitiga Kecepatan Turbin Crossflow

Besarnya gaya (F) yang diberikan kepada roda turbin melalui sudu roda turbinnya secara teoritis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai seperti gambar 2.6

$$F = \rho \cdot Q (V_j + u)(1 - \cos \beta)$$

Hubungan besarnya gaya (F) yang diberikan pada sudu turbin dengan kecepatan linier roda turbin (u) akan diperoleh suatu daya teoritis turbin yang diturunkan dalam bentuk persamaan:

$$P = F \cdot u = \rho \cdot Q \cdot u (V_j + u)(1 - \cos \beta)$$

dimana :

P = daya teoritis yang diberikan pada roda turbin (W).

F = gaya air yang diberikan pada roda turbin Crossflow (N)

Δ = massa jenis air [kg/cm^3].

Q = debit air [liter/menit].

V_j = kecepatan aliran air [m/det].

u = kecepatan linier roda turbin [m/det].

$\cos \angle$ = sudut ember = $\cos 165^\circ = 0,97$.

Dari persamaan diatas adalah V_j (kecepatan aliran), kalau saluran airnya sempurna maka seluruh debit air diubah menjadi kecepatan aliran air dengan rumus:

$$V_j = \frac{Q}{A}$$

Namun pada kenyataannya, ada kerugian pada saluran sebesar 2 sampai 8% yang digunakan oleh koefisien kecepatan (C_v),

$$V = c_p \frac{Q}{A}$$

dimana:

V_j = kecepatan aliran air (m/det).

C_v = koefisien kecepatan (0,92 - 0,98).

Q = debit air (m^3/det).

A = luas penampang laluan (m^2).

2.4.2 Menghitung Daya Poros.

Daya poros dapat di hitung dengan menggunakan rumus referensi dari buku Elemen Mesin oleh *Ir. Soelarso*.

$$P_d = f_c \cdot P_{air}$$

dimana:

P_d = daya poros (watt)

f_c = faktor koreksi daya

P_{air} = Daya air (watt)

2.4.3 Menghitung Torsi.

Torsi pada poros dapat di hitung dengan menggunakan rumus referensi dari buku Elemen Mesin oleh *Ir. Soelarso*.

$$T = 9,74 \cdot \frac{P_{poros}}{n}$$

dimana:

T = Torsi pada Poros (Nm)

P_{poros} = Daya pada Poros (kW)

n = Putaran Poros (rpm)

2.4.4 Menghitung Diameter Poros.

Daya air dapat dihitung dengan menggunakan rumus referensi dari buku Elemen Mesin oleh *Ir. Soelarso*.

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right] \cdot P_{poros}$$

dimana:

d_s = Diameter poros terkecil (mm)

τ_a = Tegangan geser (N/m^2)

K_t = Faktor koreksi momen

C_b = Faktor tegangan lentur

T = Torsi pada poros (Nm)

P_{air} = Daya air (watt)

2.5 Metode Perancangan

Untuk Mendapatkan hasil rancangan yang efektif dan hasil yang memuaskan tentunya diperlukan suatu metode perancangan. Dalam hal ini metode perancangan yang dipakai adalah metode perancangan dengan Metode VDI 2221 ini memiliki langkah-langkah kerja dan hasil

kerja yang dapat dibagi menjadi 4 (empat) tahapan pengerjaan.

Tahap I : Mengklarifikasi tugas

Tahap II : Perencanaan berupa konsep

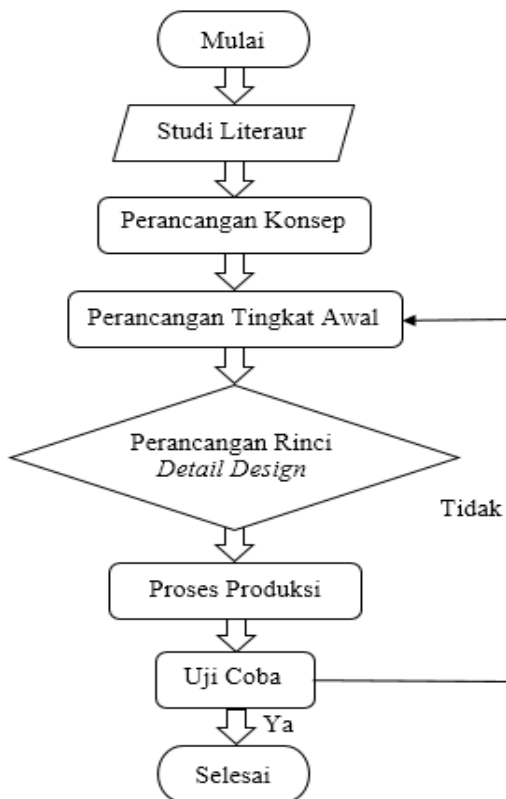
Tahap III : Pembentukan konsep

Tahap IV : Perancaan secara rincide VDI 2221 (*Verein Deutscher Ingenieure* atau *persatuan Insinyur Jerman*) dengan metode ini diharapkan perancangan menjadi mudah dan sistematis.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir rancang bangun turbin air *crossflow* saluran terbuka skala laboratorium dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan

3.1 Perancangan Tingkat Awal.

3.2.1. Daftar Persyaratan

Tahap pertama dikumpulkan ide-ide yang dikehendaki, yang keadaannya masih belum teratur, ide-ide tersebut adalah sebagai berikut :

- Alat pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki skala lab
- Mudah dioperasikan
- Mudah dalam perawatan (Bongkar/Pasang)
- Memiliki kapasitas minimal 10 l/m – 50 l/m
- Bentuk yang kokoh dan proporsional
- Komponen mudah didapatkan
- Bisa dibuat di workshop sendiri
- Bebas polusi terhadap lingkungan
- Aman dalam pengoperasian nya

Tabel 3.1 Daftar Persyaratan Rancang Bangun Turbin air *Crossflow* Saluran Terbuka Skala Laboratorium.

PARAMETER	SPESIFIKASI	DEMANDS (D) / WISHES (W)
GEOMETRI	Tinggi rangka 60 cm	D
	Lebar rangka 50 cm	D
	Panjang rangka 100 cm	D
	Panjang saluran 100 cm	D
	Alat tidak terlalu berat	W
KINEMATIKA	Pompa penyuplai air 14 liter/menit	D
	Rotor turbin	D
	Diameter Pulley 55mm	D
	Tebal Pulley 20mm	D
MATERIAL	Baja ringan	D
	Pompa	D
	Pipa/Saluran Air	D
	Flow meter	D
	Katup	D
	Saluran Turbin	D
	Rotor turbin air	D
	Poros	D
PERAKITAN	Pulley	D
	Komponen mudah dibongkar – pasang	D
	Sistem perakitan komponen mudah dipahami	D
PEMBUATAN	Tidak memerlukan tempat khusus untuk merakit	D
	Konstruksi sederhana dan mudah dikerjakan	D
	Dibuat di Workshop sendiri	D
PENGOPERASIAN	Mutu ketelitian dapat dijaga	W
	Mudah dioperasikan (tidak rumit)	D
	Aman pada waktu pengoperasian	D
PERAWATAN	Dioperasikan oleh 1 orang	D
	Perawatan relatif mudah	D
	Biaya perawatan yang murah	W
	Mudah dibersihkan	D
HARGA	Mudah diperbaiki apabila terjadi kerusakan	W
	Harga relatif terjangkau	W

Keterangan :

D : Permintaan yang merupakan kehendak yang harus dipenuhi.

W : Harapan yang merupakan kehendak yang akan diambil bilamana memungkinkan.

3.2 Abstraksi

Abstraksi adalah perumusan masalah dan melakukan analisa terhadap daftar kehendak berikut lima (5) langkah dalam membuat abstraksi :

Abstraksi I :Menghilangkan seluruh keinginan (W) pada daftar kehendak,

Abstraksi II : Seluruh keharusan (D) yang tidak penting dihilangkan,

Abstraksi III : Menghilangkan bilangan kuantitatif menjadi kualitatif,

Abstraksi IV : Seluruh masalah pada abstraksi III diformulasikan menjadi bentuk yang lebih umum.

Abstraksi IV.

a. Alat rancang bangun turbin *crossflow* saluran terbuka skala laboratorium.

b. Turbin dapat dibongkar dan dipasang.

Abstraksi V : Untuk memecahkan masalah menjadi netral,
(menetralisasikan seluruh masalah).

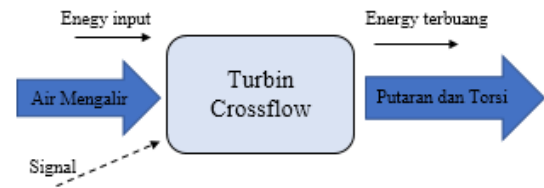
Abstraksi V. Alat rancang bangun turbin *crossflow* saluran terbuka skala laboratorium

3.3.1 Struktur Fungsi.

Struktur fungsi didefinisikan sebagai hubungan secara umum antara input dan output suatu sistem, Rangkaian dari beberapa sub fungsi untuk menjalankan suatu tugas keseluruhan disebut sebagai struktur fungsi. Tujuan menetapkan struktur fungsi adalah memperoleh suatu definisi yang jelas dari sub sistem yang ada dapat diuraikan secara terpisah.

3.3.2 Fungsi Keseluruhan.

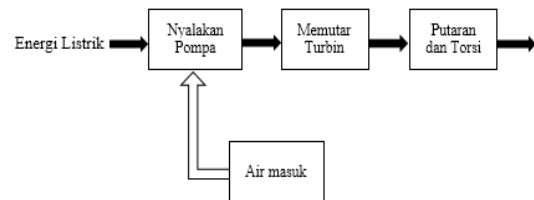
Fungsi ini digambarkan dengan diagram balok yang akan menunjukkan hubungan antara masukan dan keluaran dimana masukan dan keluaran tersebut berupa aliran energi, material dan sinyal. Seperti terlihat pada gambar 3.2 berikut ini :



Gambar 3.2 Diagram Fungsi Keseluruhan

3.3.3 Sub Struktur Fungsi.

Struktur fungsi keseluruhan yang terdapat pada gambar 3.2 masih kurang jelas, sehingga perlu diperjelas lagi dengan menguraikan menjadi subfungsi seperti terlihat pada gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3 Diagram Sub Struktur Fungsi.

3.3.4 Prinsip Solusi.

Metoda yang akan digunakan dalam mencari prinsip solusi adalah metoda kombinasi, yaitu metoda yang mengkombinasikan semua solusi yang ada dalam bentuk matriks. Prinsip solusi dibuat sebanyak mungkin, akan tetapi prinsip solusi itu dianalisa lagi, dimana prinsip solusi yang tidak berguna dapat dieliminasi atau diabaikan dengan tujuan agar dalam tahap perancangan konsep selanjutnya tidak terlalu banyak konsep yang harus dievaluasi.

Berikut ini merupakan matrix solusi komponen dari rancang bangun turbin *crossflow* saluran terbuka skala laboratorium seperti tercantum pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Matrik Solusi rancang bangun turbin *crossflow* saluran terbuka skala laboratorium.

NO	Unsur Mesin dan Material	Prinsip Solusi Varian		
		1	2	3
1	Bahan Rangka	 Baja Ringan C	 Plat Siku Berlubang	 Plat Besi Siku
2	Saluran awal	 PVC	 Pipa Besi	 Pipa Baja
3	Wadah Air	 Kontener VC	 Water Tank Glass	 Tooreen
4	Pompa Air	 Pompa Sentrifugal	 Pompa booster	 Pompa Aksial
5	Pengukur Volume Air	 Flowmeter	 Flowmeter digital	 Flowmeter glass
6	Katup	 Stop Kran PVC	 Stop Kran Bola	 Stop Kran Kupu-kupu
7	Pengukur Tekanan Air	 Stainless Pressure Gauge	 Digital Pressure Gauge	
8	Saluran Utama	 Baja Ringan "C"	 Baja Ringan "U"	 Nozel
9	Rotor / Sudu	 Rotor Turbin Cross Flow	 Rotor Turbin Benda	 Rotor Turbin Propeller
10	Bahan Poros	 Besi Cor	 Baja St 37	 Baja St 60
11	Bantalan / Bearing	 Pillow block bearing	 Aksial Bearing	 Ball Bearing
12	Transmisi	 Pulley	 Rantai dan Roda gigi	 Kopling Cakor
13	Pengukur Torsi	 Rantai Pita	 Rantai Luar	 Rantai Dalam

3.3.5 Struktur Modul.

Suatu sistim yang terdiri dari bagian-bagian pokok bentuk dasar sehingga terbentuk susunan organ kerja atau merupakan pengatur/penyusun beberapa prinsip solusi, sehingga mempunyai alternatif kombinasi yang kemudian diseleksi lagi untuk dapat diwujudkan

dalam pilihan yang tepat.

Berikut ini merupakan alternatif kombinasi dari matrix solusi yang telah di tentukan, seperti tercantum pada tabel 3.3 :

Setelah matrix solusi ditentukan dan kemudian dilakukan pemilihan dari matrix solusi langkah selanjutnya adalah memberi bentuk sehingga terbentuk model rancangannya, berikut ini merupakan struktur model dari alternatif kombinasi Varian III :1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 8.2 - 9.2 - 10.2 - 11.1-12.1-13.1, seperti tercantum pada tabel 3.3 berikut ini :

Tabel 3.3 Diagram Kombinasi Prinsip Solusi

Prinsip Fungsi / Prinsip Solusi		1	2	3
1	Bahan Rangka			
2	Saluran Awal			
3	Wadah Air			
4	Pompa Air			
5	Pengukur Volume Air			
6	Katup			
7	Pengukur Tekanan Air			
8	Pipa Pesat / Saluran Utama			
9	Rotor / Sudu			
10	Bahan Poros			
11	Bantalan (Bearing)			
12	Transmisi			
13	Pengukur Torsi			

Varian I ——— 1.1-2.1-3.1-4.1-1.5.1-6.1-7.1-8.3-9.2-10.2-11.1-12.1-13.1

Varian II - - - - 1.1-2.1-3.2-4.1-5.1-6.1-8.1-9.2-10.3-11.1-12.1-13.1

Varian III 1.1-2.1-3.1-4.1-5.1-6.1-8.2-9.1-10.2-11.1-12.1-13.1

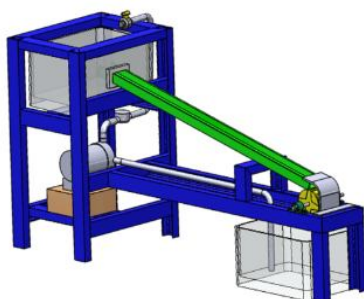
Berikut ini merupakan struktur model dari alternatif kombinasi Varian III : 1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1 - 8.2 - 9.1 - 10.2 - 11.1 - 12.1, 13.1 seperti tercantum pada tabel 3.4 berikut ini :

Tabel 3.4 Matrik Solusi Varian III.

NO	Unsur Mesin dan Material	Prinsip Solusi Varian		
		1	2	3
1	Bahan Rangka			
2	Saluran Awal			
3	Wadah Air			
4	Pompa Air			
5	Pengukur Volume Air			
6	Katup			
7	Pengukur Tekanan Air			
8	Saluran Utama			
9	Rotor / Sudu			
10	Bahan Poros			
11	Bantalan / Bearing			
12	Transmisi			
13	Pengukur Torsi			

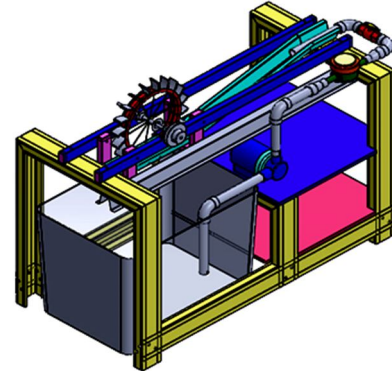
Berikuti ini merupakan model rancangan yang terbentuk dari varian I dengan alternatif kombinasi

Berikuti ini merupakan model rancangan yang terbentuk dari varian II dengan alternatif kombinasi Varian II, sehingga model yang terbentuk seperti terlihat pada gambar 3.5 berikut ini:



Gambar 3.5 Konsep Bentuk Varian II.

Untuk gambar varian III dengan alternatif kombinasi Varian III, sehingga model yang terbentuk seperti terlihat pada gambar 3.6 berikut ini :



Gambar 3.6 Konsep Bentuk Varian III

Berikut ini merupakan tabel evaluasi, evaluasi ini merupakan cara untuk memilih varian yang terbaik dari matrix solusi yang telah dibuat, seperti tercantum pada tabel 3.10 berikut ini:

Tabel 3.5 Pilihan Kombinasi-Kombinasi Prinsip Solusi.

VARIAN PRINSIP SOLUSI	Program Studi Teknik Mesin FTI - ISTN DIMAS ADI PRASETYO 17210002					Tabel Pemilihan Varian Struktur Fungsi Rancang Bangun Turbin <i>Cross Flow</i> Saluran Terbuka Skala Laboratorium		
	Kriteria Pemilihan					Keputusan		
	+ Ya					(+) Solusi yang dicari		
	- Tidak					(-) Hapuskan solusi		
	? Kurang Informasi					(?) Kumpulkan Informasi		
	! Periksa Spesifikasi					(!) Lihat Spesifikasi		
	Sesuai dengan Fungsi Kebutuhan							
	Sesuai dengan Daftar Kehendak							
	Secara Prinsip dapat Diwujudkan							
	Dalam Batas Biaya Produksi							
	Proses Perakitan/assembly							
	Sesuai Keinginan Perancang							
	Memenuhi syarat Keamanan							
	A	B	C	D	E	F	G	Kepuasan
	PENJELASAN							
V1	+	+	+	+	-	+	+	(-)
V2	+	+	+	?	-	+	+	(-)
V3	+	+	+	+	+	+	+	Sesuai Kehendak dan dalam Batas Biaya (+)

Dari alternatif kombinasi prinsip-prinsip solusi yang ada dapat dipertimbangkan dengan faktor sebagai berikut :

- A. Sesuai dengan fungsi kebutuhan
- B. Memenuhi keharusan daftar kehenda
- C. Secara prinsip dapat diwujudkan
- D. Dalam batas biaya produksi
- E. Proses perakitan/assembly
- F. Sesuai keinginan perancang
- G. Memenuhi syarat keamanan

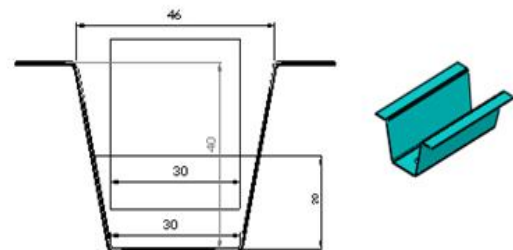
3.4 Data Perancangan Turbin Crossflow

Turbin yang digunakan dalam rancang bangun turbin *crossflow* saluran terbuka skala laboratorium ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Model : Turbin air *crossflow* saluran terbuka skala laboratorium
2. Jumlah sudu : 20 Sudu
3. Tinggi sudu : 37 mm
4. Jarak sudu bagian dalam : 27,80 mm
5. Jarak sudu bagian luar : 38,93 mm
6. Diameter sudu bagian luar : 280 mm
7. Diameter sudu bagian dalam : 203 mm
8. Diameter poros terbesar : 10,20 mm
9. Diameter poros turbin terkecil : 8 mm
- 10 Panjang Poros Turbin : 252 mm
- 11 Kapasitas pompa : 14 Liter/Menit
- 12 Daya Pompa : 125 Watt
- 13 Suhu Air : 30⁰



Gambar 3.7 Sudu Turbin



Gambar 3.8 Saluran Air

3.5 PERHITUNGAN DALAM PERENCANAAN TURBIN.

Untuk merancang turbin air digunakan rumus sebagai berikut:

3.5.1 Perhitungan Daya Rencana.

$$P = \rho \cdot Q \cdot u (V_j + u) (1 - \cos \beta)$$

dimana :

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan diperoleh

$$\Delta = 997 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$Q = 2,33 \cdot 10^{-4} \text{ (m}^3\text{/det).}$$

$$\cos \angle = \text{sudut ember} = \cos 165^\circ = 0,97.$$

$$u = \text{kecepatan linier roda turbin (m/det).}$$

$$u = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{60}$$

$$n = \text{putaran poros turbin} = 119,5 \text{ rpm.}$$

$$= \text{pada saluran atas pembukaaan katup penuh tanpa beban}$$

$$r = \text{jari-jari sudu turbin} = 0,1275 \text{ m.}$$

$$u = \frac{2 \cdot \pi \cdot 119,5 \cdot 0,1275}{60}$$

$$u = 1,595 \text{ m/det}$$

$$V_j = \text{kecepatan aliran air (m/det).}$$

$$V_j = cp \frac{Q}{A}$$

$$Cp = \text{koefisien kecepatan (0,92 - 0,98).}$$

$$A = \text{luas penampang laluan air (m}^2\text{).}$$

$$V_j = 0,92 \frac{2,33 \cdot 10^{-4}}{\frac{(30+36) \cdot 20}{2 \cdot 1000000}}$$

$$= \frac{(30+36) \cdot 20}{2 \cdot 1000000}$$

$$V_j = 0,325 \text{ m/det}$$

maka

$$P = 997 \cdot 2,22 \cdot 10^{-4} \cdot 1,595(0,325 + 1,595) (1 - 0,97)$$

$$P = 0,2489 \text{ (Watt)}$$

3.5.2 Perhitungan Torsi.

$$T = 9,74 \cdot \frac{P_{rencana}}{n}$$

dimana :

$$P = 0,2489 \text{ (Watt)}$$

$$n = 119,5 \text{ (rpm).}$$

$$T = 9,74 \cdot \frac{0,2489}{119,5}$$

$$T = 0,0203 \text{ (Nm)}$$

3.5.3 Perhitung Diameter Poros.

Diameter poros dapat di hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut, bahan poros di rencanakan dari baja karbon S45C-D (JIS G 3123) dimana kekuatan tarik nya $\sigma_B = 71-91 \text{ N/m}^2$, dengan faktor keamanan $Sf_1 = 6$ dan $Sf_2 = 1,3$ sehingga tegangan geser τ_a dapat dihitung.

$$\tau_a = \sigma_B / Sf_1 . Sf_2$$

$$\tau_a = 71 / 6 . 1,3$$

$$\tau_a = 15,38 \text{ N/m}^2$$

Sehingga diameter poros:

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right]^{1/3}$$

Dimana:

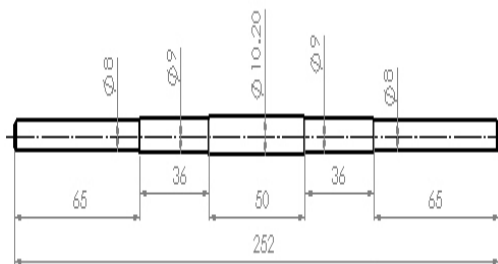
K_t = Faktor koreksi momen yang di rencanakan = 1

C_b = Faktor tegangan lentur yang di rencanakan = 1,2

$$d_s = \left[\frac{5,1}{15,38} . 1 . 1,2 . 0,0203 \right]^{1/3}$$

$$d_s = 2 \text{ mm}$$

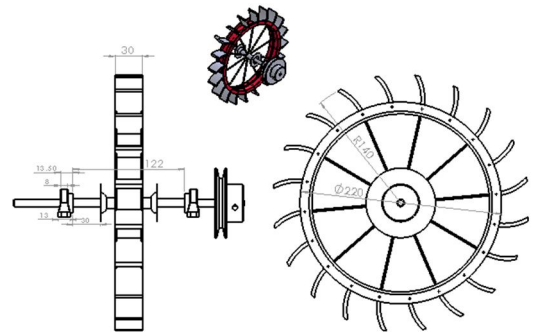
,Untuk menghindari adanya konsentrasi tegangan pada poros bertingkat maka diameter poros di rencanakan d_s 8 mm.



Gambar 3.9 Poros turbin

A. Sudu – Sudu.

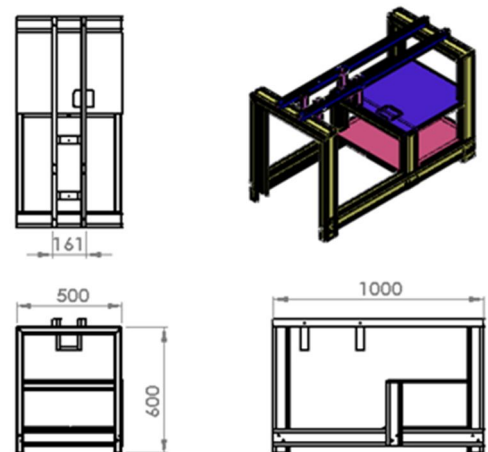
Sudu – sudu turbin di ambil dari pipa paralon berukuran diameter 4” dan dipotong jadi 8 bagian pada 1 bagian pipa dengan lebar 3x5cm seperti terlihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Rotor/Sudu turbin dari paralon 4”

A. Rangka.

Berikut ini merupakan gambar detail perancangan rangka beserta waktu produktif dan tidak produktif dalam produksi rangka, seperti terlihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Detail Gambar Rangka

B. Pipa dan Sambngannya.

Berikut ini merupakan gambar detail pemasangan pipa beserta waktu produktif dan tidak produktif dalam produksinya, seperti terlihat pada gambar 3.12,

4. PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan.

Dari hasil pengumpulan data varian terdapat 3 varian kemudian varian yang terpilih adalah varian III dengan alternatif kombinasi 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 8.2 – 9.1 - 10.2 - 11.1 – 12.1 – 13.1, maka diperoleh hasil produksi. Varian ini sederhana dan mudah diproduksi

4.2 Daya Perancangan

Dari data hasil perancangan didapat bahwa kapasitas pompa untuk debit air adalah sebesar 14 liter/menit debit air pada turbin. Kemudian daya yang dihasilkan dari perancangan tersebut sebesar 0,2489 Watt, seperti tercantum pada dibawah ini. Daya perancangan (P_{air}) = 0,2489 watt
Daya yang dihasilkan sangat kecil diperlukan lagi perhitungan agar daya lebih besarlaggi walaupun hanya untuk laboratorium

4.3 Dari perancangan VDI 221 diperoleh alternatif kombinasi prinsip-prinsip solusi yang ada dapat dipertimbangkan dengan faktor sebagai berikut,

- a) Sesuai dengan fungsi kebutuhan
- b) Memenuhi keharusan daftar kehenda
- c) Secara prinsip dapat diwujudkan
- d) Dalam batas biaya produksi
- e) Proses perakitan/assembling
- f) Sesuai keinginan perancann
- g) Memenuhi syarat keamanan

5. SIMPULAN

Dari hasil pembahasan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsep varian III yang terpilih dengan kombinasi prinsip solusi sebagai berikut:
Varian III : 1.1 – 2.1 – 3.1 – 4.1 – 5.1 – 6.1 – 8.2 – 9.1 – 10.2 – 11.1 – 12.1 – 13.1
2. Spesifikasi turbin *crossflow* saluran terbuka dengan jumlah sudu 20 buah, diameter sudu bagian luar 280 mm dan bagian dalam 203 mm, diameter poros turbin 8 mm, panjang Poros 252 mm.
3. Rangka Turbin Crossflow Panjang Rangka 1000 mm, lebar Rangka 500 mm, tinggi rangka : 600 mm
4. Dengan kapasitas air 14 liter/menit dapat menghasilkan daya 0,2489 watt

DAFTAR PUSTAKA

1. Masrukhi, W. Trisasiwi dan A. Mustofa. 2014. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) untuk Mendukung Program Desa Mandiri Energi (DME) di Kabupaten Banyumas. Laporan Penelitian Hibah Bersaing.
2. Sholihah, F.H. dan J. Prastilastarso. 2012. Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Tugas Akhir PENS-ITS Surabaya.
3. Metode VDI 2221 (*Verein Deutcher Ingenieure*) (*Gerhard Pahl dan Wolfgang Beitz dalam bukunya Engineering Design: A Systematic Approach*).
4. Sularso dan Suga, Kiyokatsu, (2014). Turbin dan Kompresor, Elemen Mesin Jakarta : Pradnya Paramita.
5. Sularso, 2017, “*Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*”, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.