

Rancang Bangun *Prototype System Pico Hydro* pada Penampungan Air Perumahan dengan Metode VDI 2221

Tony Indra Kusuma¹, Candra Bagus Prasetyo², Maulana Abdul Jabar³, Gian Villany Golwa⁴

Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

Meruya Selatan no. 01 Kembangan-Jakarta Barat 11650

Telp.: (021) 5840816,

E-mail: humas@mercubuana.ac.id

Abstract

The use of new and renewable energy for electricity generation in Indonesia is not optimal. Therefore, there is a need for a breakthrough to create various alternative energies through the use of hydropower around us. Pico hydro is a small-scale power plant that uses hydropower as its driving force, for example irrigation channels, rivers or natural waterfalls by utilizing the height of the waterfall (head) and the amount of water discharge and water pressure. The selection of tubin screw is based on the results of field data collection which results in a discharge of 0.0003 m³ / s and a head height of 0.25 m. The screw turbine is one type of water turbine that has the potential for small-scale power generation where the screw-type water turbine is very suitable for low turbine heads. In this design, the method used is the VDI 2221 method or the systematic method with four stages, namely the description of tasks, concept design, form design, detailed design which is then determined as variant II as the best alternative design where vairian II produces the highest total value of 7, 88. From the calculation based on the amount of discharge and head, the turbine power is 0.73575 watts and the generator power capacity is 0.5886 watts.

Keywords: Pico hydro, screw turbine and VDI 2221 method

Abstrak

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk pembangkit listrik di indonesia belum optimal. Oleh karena itu perlu adanya trobosan untuk menciptakan berbagai energi alternatif melalui pemanfaatan hydropower disekitar kita. Pico hydro adalah suatu pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya air (head) dan jumlah debit air maupun tekanan airnya. Pemilihan tubin screw didasari dari hasil pengambilan data dilapangan yang menghasilkan debit sebesar 0,0003 m³/s dan ketinggian head 0,25 m. Turbin screw adalah salah satu tipe turbin air yang berpotensi untuk pembangkit listrik skala kecil dimana turbin air tipe ulir ini sangat cocok untuk head turbin yang rendah. Pada perancangan ini metode yang digunakan adalah metode VDI 2221 atau metode sistematis dengan empat tahapan yaitu penjabaran tugas, perancangan konsep, perancangan wujud, perancangan terinci yang kemudian ditetapkan varian II sebagai alternatif rancangan yang terbaik dimana vairian II menghasilkan nilai total yang paling tinggi yakni 7,88. Dari hasil perhitungan berdasarkan jumlah debit dan head didapatkan daya turbin sebesar 0,73575 watt dan kapasitas daya generator sebesar 0.5886 watt.

Kata Kunci: Pico hydro, turbin screw dan metode VDI 2221

PENDAHULUAN

Di Indonesia kebutuhan energi semakin meningkat seiring meningkatnya perkembangan kebutuhan manusia. Permintaan energi final nasional skenario BaU, PB dan RK akan meningkat dengan rata-rata pertumbuhan per tahun masing-masing 5,0%, 4,7% dan 4,3% sehingga permintaannya pada tahun 2050 masing-masing akan mencapai 548,8 MTOE, 481,1 MTOE 424,2 MTOE (Suharyati, Pambudi, Wibowo, & Pratiwi, 2019).

Kebutuhan energi listrik ini juga dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah rumah tangga dan penggunaan alat-alat elektronik di rumah tangga

seperti AC, *refrigrator* (kulkas), mesin pompa air, termasuk kompor listrik induksi (Suharyati, Pambudi, Wibowo, & Pratiwi, 2019).

Pembangunan pembangkit listrik tenaga air *pico hydro* merupakan salah satu alternatif untuk membantu masyarakat dalam penyediaan energi listrik. Sistem PLTA-PH tidak membutuhkan bendungan maupun penampung air yang besar, tidak membutuhkan sistem jaringan transmisi yang panjang. Oleh karena itu kebutuhan akan tenaga ahli teknik sipil, hidrologi maupun teknik elektro bahkan tidak dibutuhkan, sehingga biaya implementasi relatif murah. (Dewanto, Himawanto, Danardono, & Sukmaji, 2017).

Selain itu untuk memberikan alternatif yang efektif dan disederhanakan untuk biaya memasok listrik ke daerah-daerah yang relatif jauh dari pusat listrik (Arriaga, 2010).

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk pembangkit listrik di Indonesia belum optimal. Hal itu disebabkan masih relatif tingginya harga produksi dan kurangnya dukungan industri dalam negeri. Pada tahun 2018 pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk pembangkit listrik baru sebesar 8,8 GW atau 14% dari total kapasitas pembangkit listrik (fosil dan non fosil) yaitu sebesar 64,5 GW (Suharyati, Pambudi, Wibowo, & Pratiwi, 2019).

Oleh karena itu perlu adanya terobosan untuk menciptakan berbagai energi alternatif melalui pemanfaatan *hydropower* disekitar kita salah satunya yaitu dengan membuat pembangkit listrik *pico hydro*.

Pico Hydro

Pembangkit listrik tenaga piko hidro (PLTPH) adalah suatu pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunnya air (*head*) dan jumlah debit air maupun tekanan airnya. Pada prinsipnya memanfaatkan beda tinggi head dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran atau sungai. Air yang mengalir melalui *intake* diteruskan oleh saluran pembawa hingga *penstock*, yang kemudian akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Turbin air akan memutar generator dan menghasilkan energi listrik (Syahputra, Syukri, & Sara, 2017).

Turbin Air

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air (Arismunandar, 2004).

Pada prinsip kerja turbin air, konstruksi roda turbin terdapat sudu yaitu suatu lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda/runner turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut (Arismunandar, 2004).

Dasar Pemilihan Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk desain yang sangat spesifik. Pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

1. Faktor tinggi jatuh air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin.
2. Faktor daya (*Power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.
3. Kecepatan (Putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Dasar-dasar Perancangan Turbin

Ada beberapa dasar yang digunakan dalam perancangan turbin, antara lain :

1. Debit Air

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Dimana :

Q = Debit air (m^3/s)

V = Volume (m^3)

= $2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$

t = Waktu (s)

2. Tinggi jatuh air efektif (H_{ef})

$$H_{ef} = H - H_{los} \quad (2)$$

$$H_{los} = 1/3 H$$

Dimana :

H_{ef} = Tinggi efektif (m)

H = Tinggi (m)

H_{los} = Tinggi kehilangan (m)

3. Daya Turbin

$$P = Q \cdot \rho \cdot H_{ef} \cdot g \quad (3)$$

Dimana :

P = Daya turbin (*watt*)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

ρ = Massa jenis air ($1000 kg/m^3$)

g = Gravitasi bumi (m/s)

H_{ef} = Tinggi jatuh air (m)

4. Kecepatan Spesifik (N_s)

$$N_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \quad (4)$$

Dimana :

N_s = Kecepatan spesifik

N = Kecepatan putaran turbin (rpm)
 Q = Debit aliran air (m^3/s)
 H = Tinggi air jatuh net (m)

Penampungan Air

Penampungan air atau toren air adalah sebuah alat yang biasanya digunakan untuk menampung air agar air yang ditampung dapat digunakan kembali. Toren air ini memiliki beberapa manfaat selain menjaga ketersediaan air tetap ada peralatan ini juga mampu menghindarkan tagihan listrik membengkak akibat menghidupkan dan mematikan pompa air berulang-ulang.



Gambar 1. Tandon air

Generator

Generator adalah suatu komponen elektronik yang sumber tegangan listriknya diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Pada dasarnya generator bekerja pada prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi.

Untuk menghitung daya generator yang dihasilkan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

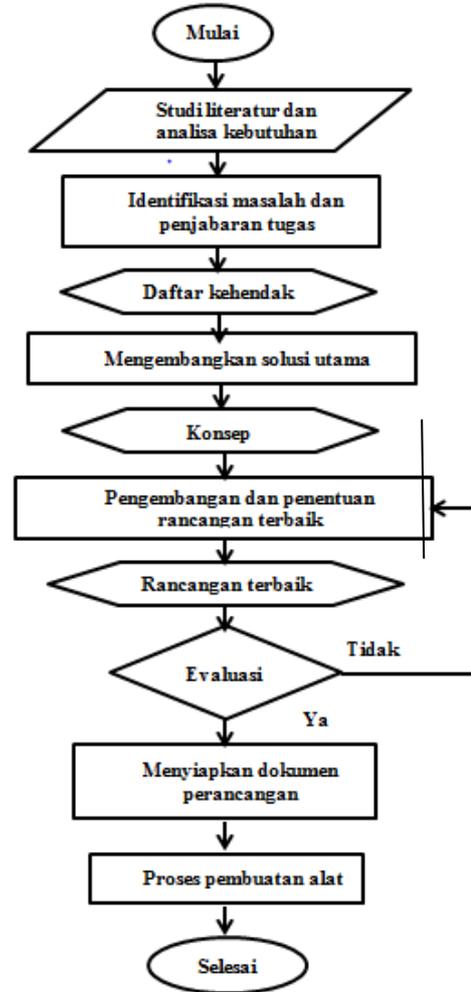
$$P_g = P_t \times \eta_g \quad (5)$$

Dimana :

P_g = Daya generator (watt)
 P_t = Daya turbin (watt)
 η_g = Efisiensi turbin (0,8-0,95)

METODE PERANCANGAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode VDI 2221. Pada gambar 2 menunjukkan tahapan perancangan yang dimulai dari studi literature dan analisa kebutuhan, identifikasi masalah dan penjabaran tugas, mengembangkan solusi utama, pengembangan dan penentuan rancangan terbaik, evaluasi, menyiapkan dokumen perancangan dan proses pembuatan alat.



Gambar 2. Diagram air perancangan

Penjelasan diagram alir

1. Mulai, Pada tahap ini kegiatan dimulai setelah penentuan tema penelitian dalam kelompok kerja dan pembagian judul di setiap mahasiswa yang saling berkaitan.
2. Studi literatur dan analisa kebutuhan, Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan referensi yang relevan dari buku, jurnal dan artikel laporan penelitian. Pada tahap ini didapatkan dasar teori yang nantinya dapat dijadikan pedoman untuk mengenal dan menyelesaikan permasalahan yang muncul serta untuk menyusun rencana kegiatan yang akan dilakukan. Sehingga semakin paham dengan penelitian ini dan dapat menentukan arah yang akan diambil. Pada studi ini dilakukan survei lapangan terhadap hal-hal yang berhubungan dengan sistem penampungan air diperumahan serta sistem pembangkit listrik pico hydro untuk diambil data-data sebagai referensi dan pembandingan terhadap hasil perancangan yang akan dibangun.

3. Identifikasi masalah dan penjabaran tugas, Mengidentifikasi masalah dilakukan untuk mendefinisikan masalah yang nantinya muncul pada saat perancangan dan pembuatan alat. Kemudian dijabarkan untuk mendapatkan informasi atau data tentang syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh rancangan alat beserta batasan-batasannya. Hasil dari tahapan ini berupa spesifikasi.
4. Mengembangkan solusi utama, pada tahapan ini langkah-langkah abstraksi dan formasi dilakukan setelah spesifikasi ditentukan. Untuk menunjukkan bagian-bagian yang penting atau masalah utama dalam perancangan. Kemudian menentukan struktur fungsi yang akan digunakan untuk pencarian prinsip pemecahan masalah dan kombinasi yang cocok sebagai konsep (varian).
5. Pengembangan dan penentuan rancangan terbaik, Pada tahap ini sketsa kombinasi prinsip solusi yang telah dibuat merupakan bentuk rancangan awal, kemudian pengoptimalan dilakukan untuk memenuhi persyaratan yang sesuai dengan spesifikasi dan menurut kriteria, baik dari aspek teknis maupun ekonomi. Layout awal yang dipilih akan dikembangkan menjadi layout definitive yang merupakan wujud perancangan yang sesuai dengan kebutuhan dan harapan. Pada rancangan prototype system pico hydro ini ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan perhitungan, diantaranya Debit air, daya turbin dan yang akan dihitung secara mendasar saja. Sehingga ditahap ini mendapatkan rancangan terbaik
6. Evaluasi, pada tahap ini diperlukan evaluasi kembali menurut penilaian berdasarkan pedoman.
7. Menyiapkan dokumen perancangan, pada tahap ini merupakan hasil presentasi dari perancangan terperinci yang berupa gambar teknik.
8. Proses pembuatan alat, Ditahap ini diuraikan tahapan atau langkah-langkah dalam pembuatan prototype system pico hydro.
7. Berat alat tidak lebih dari 30 kg
8. Bahan rangka kuat, kokoh, tidak mudah berkarat
9. Alat mudah dibongkar pasang
10. Alat mudah dipindahkan
11. Menggunakan energi potensial air
12. Material untuk membuat alat mudah didapat
13. Tanda-tanda pengoperasian mudah dimengerti
14. Sinyal yang diberikan berupa energi listrik
15. Bagian-bagian berbahaya harus terlindungi
16. Rangka tidak rumit
17. Tidak menyita tempat/area
18. Pengoperasiannya tidak membahayakan
19. Tidak bising
20. Suku cadang mudah di dapat
21. Dapat dibuat dibengkel menengah
22. Aman untuk digunakan
23. Mudah dalam perawatan dan pembersihannya
24. Tidak menuntut proses produksi yang rumit
25. Mudah dirakit dan dibongkar
26. Dapat dibuat secara massal
27. Dapat diangkut dengan kendaraan ringan
28. Biaya pembuatan tidak mahal
29. Memenuhi kriteria keindahan
30. Bagian sudut tidak tajam

Dari urutan kehendak yang tidak teratur di atas, kemudian disusun secara sistematis kedalam daftar yang disebut daftar kehendak. Setiap spesifikasi dibagi menjadi 2 kategori : D (*Demands*) dan W (*Wishes*) seperti terlihat dalam tabel berikut :

Tabel 1. Daftar pengecekan untuk pedoman spesifikasi

FAKTOR	D/W	PERSYARATAN
GEOMETRI	W	Dimensi tidak terlalu besar
	D	Model alat <i>prototype</i>
	W	Berat alat tidak lebih dari 30 kg
MATERIAL	W	Bahan rangka kuat, kokoh, tidak mudah berkarat
	D	Material untuk membuat alat mudah didapat
ENERGI	D	Menggunakan energi potensial air
FUNGSI	D	Menghasilkan energi listrik < 5 Kw
SINYAL	D	Tanda-tanda pengoperasian mudah dimengerti
	D	Sinyal yang diberikan berupa energi listrik
KESELAMATAN	W	Bagian-bagian berbahaya harus terlindungi
	D	Aman untuk digunakan
ERGONOMI	W	Rangka tidak rumit
	D	Pengoperasiannya tidak membahayakan
	D	Tidak menyita tempat area
	W	Tidak bising
PERAKITAN	W	Mudah dirakit dan dibongkar
PRODUKSI	D	Suku cadang mudah didapat
	W	Dapat dibuat secara massal
	D	Dapat dibuat dibengkel menengah
	W	Tidak menuntut proses produksi yang rumit
TRANSPORTASI	W	Alat mudah dipindahkan
	D	Dapat diangkut dengan kendaraan ringan
ESTETIKA	D	Memenuhi kriteria keindahan
	W	Bagian sudut tidak tajam
BIAYA	D	Biaya pembuatan tidak mahal
PERAWATAN	D	Mudah dalam perawatan dan pembersihannya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daftar kehendak

Untuk mewujudkan sebuah alat sesuai rencana, maka mulai dari pembuatan suatu daftar ide-ide (kehendak-kehendak) sebagai berikut :

1. Menghasilkan energi listrik < 5 Kw
2. Model alat *prototype*
3. Tinggi alat < 2,5m (2500 mm)
4. Panjang < 1 m (1000 mm)
5. Lebar < 1.5 m (1500 mm)
6. Dimensi tidak terlalu besar

Keterangan :

D : *Demans* (keharusan) yaitu permintaan yang merupakan kehendak yang harus dipenuhi.

W : *Wishes* (keinginan) yaitu harapan yang merupakan kehendak yang akan diambil bilamana memungkinkan.

Abstarksi

Pada tahapan ini langkah-langkah abstraksi dan formasi dilakukan setelah spesifikasi ditentukan. Kemudian menentukan struktur fungsi yang akan digunakan untuk pencarian prinsip pemecahan masalah dan kombinasi yang cocok sebagai konsep (varian).

Abstraksi dan formasi merupakan tahapan pengembangan solusi utama yang dilakukan setelah spesifikasi ditentukan Berikut adalah daftar abstraksi dari daftar spesifikasi yang sudah dibuat. Pada abstraksi I seluruh keinginan yang ada pada daftar kehendak dihilangkan sementara. Pada abstraksi II keharusan yang tidak memiliki hubungan langsung dengan fungsi dan kendala pokok dihilangkan. Berikut hasil abstaksi I dan II

Tabel 2. Abstraksi I dan II

FAKTOR	D/W	PERSYARATAN
GEOMETRI	D	Model alat <i>prototype</i>
MATERIAL	D	Material untuk membuat alat mudah didapat
ENERGI	D	Menggunakan energi potensial air
FUNGSI	D	Menghasilkan energi listrik < 5 Kw
SINYAL	D	Tanda-tanda pengoperasian mudah dimengerti
	D	Sinyal yang diberikan berupa energi listrik
KESELAMATAN	D	Aman bagi konstruksi keseluruhan
	D	Pengoperasiannya tidak membahayakan
ERGONOMI	D	Tidak menyita tempat/area
	D	Suku ca dang mudah didapat
PERAKITAN	D	Dapat dibuat dibengkel menengah
TRANSPORTASI	D	Dapat diangkut dengan kendaraan ringan
ESTETIKA	D	Memenuhi kriteria keindahan
BIAYA	D	Biaya pembuatan tidak mahal
PERAWATAN	D	Mudah dalam perawatan dan pembersihannya

Berikut adalah hasil abstraksi III dengan memformasikan abstraksi I dan II dalam bentuk umum. Kesimpulan dari mesin yang diinginkan adalah :

1. Menghasilkan energi listrik.
2. Model alat *prototype*
3. Tidak memerlukan area luas
4. Pengoprasian mudah
5. Mudah perawatan
6. Aman bagi pengguna
7. Biaya tidak mahal

Struktur fungsi

Struktur fungsi didefinisikan sebagai hubungan secara umum antara input dan output suatu sistem teknik yang akan menjalankan suatu tugas tertentu.



Gambar 3. Struktur fungsi

Keterangan :

Ei : Energi input

Mi : Material input

Si : Sinyal input

Eo : Energi output

Mo : Material output

So : Sinyal output

Fungsi keseluruhan

Fungsi ini digambarkan dengan diagram blok yang menunjukkan hubungan antara masukan dan keluaran, dimana masukan dan keluaran tersebut berupa aliran energi, material dan sinyal.



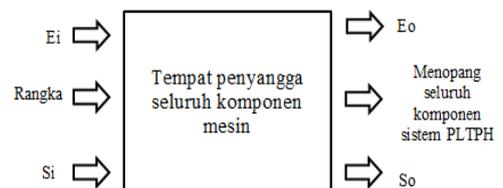
Gambar 4. Fungsi keseluruhan

Fungsi komponen utama

Unsur utama yang menyusun sistem kerja PLTPH adalah baik komponen mekanik ataupun elektrik. Komponen-komponen tersebut meliputi :

1. Rangka
2. Penampungan air (toren)
3. *Valve* (katub)
4. Pipa pesat
5. Turbin
6. Tranmisi kopling
7. Generator
8. Lampu led

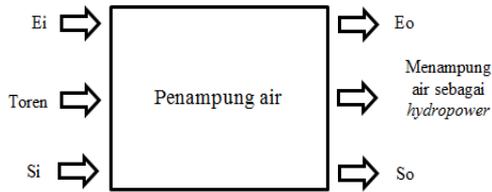
1. Fungsi bagian ditinjau dari rangka



Gambar 5. Skema fungsi rangka

Perlu dicari prinsip solusi bahwa hasil rangka harus kuat, kokoh dan pengelasan juga harus kuat.

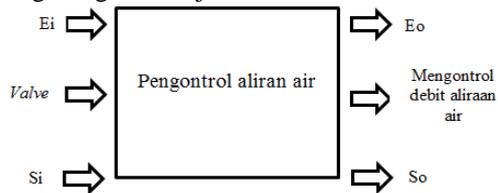
2. Fungsi bagian ditinjau dari unsur penampung air (toren)



Gambar 6. Skema fungsi toren

Perlu dicari prinsip solusi bahwa toren air harga murah, kuat dan berskala

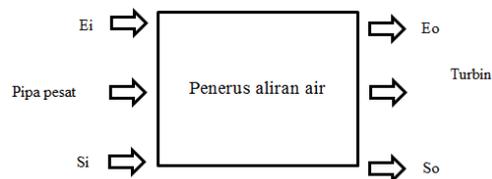
3. Fungsi bagian ditinjau dari unsur valve



Gambar 7. Skema fungsi valve

Perlu dicari prinsip solusi bahwa valve harus dapat mengatur aliran debit dengan baik.

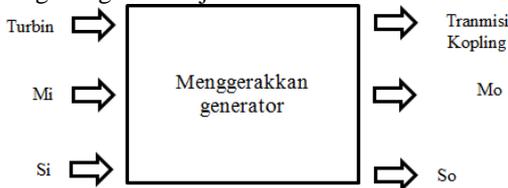
4. Fungsi bagian ditinjau dari pipa pesat (penstock)



Gambar 8. Skema fungsi pipa pesat (penstock)

Perlu dicari prinsip solusi bahwa pipa pesat mampu mengalirkan aliran fluida semaksimal mungkin dan tidak berkarat.

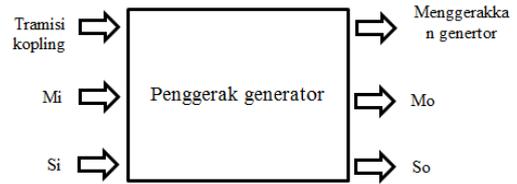
5. Fungsi bagian ditinjau dari turbin



Gambar 9. Skema fungsi turbin

Perlu dicari prinsip solusi bahwa turbin mampu memutar kopling yang nantinya sebagai penerus daya ke generator.

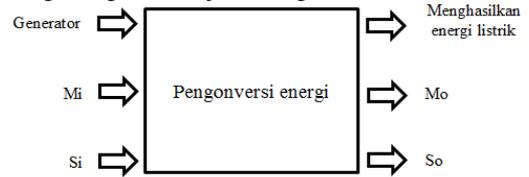
6. Fungsi bagian ditinjau dari tranmisi kopling



Gambar 10. Skema fungsi tranmisi kopling

Perlu dicari prinsip solusi bahwa transmisi kopling mampu meneruskan daya yang di hasilkan turbin.

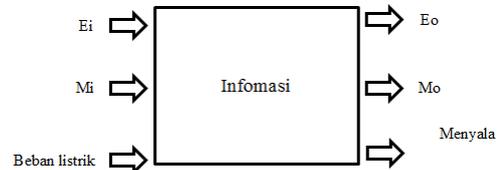
7. Fungsi bagian ditinjau dari generator



Gambar 11. Skema fungsi generator

Perlu dicari prinsip solusi bahwa generator yang mampu menghasilkan energi listrik meskipun dengan putaran rendah.

8. Fungsi bagian ditinjau dari lampu led



Gambar 12. Skema fungsi beban listrik

Perlu dicari prinsip solusi bahwa lampu led dapat menyala.

Setiap sub fungsi dalam strutur fungsi harus dicari prinsip solusinya. Dalam pembahasan ini akan diuraikan tentang prinsip solusi berdasarkan unsur utama yang telah disebutkan di atas. Berikut ini adalah Tabel 6, prinsip solusi yang akan memberikan beberapa alternatif komponen-komponen yang dapat digunakan.

Tabel 3. Prinsip solusi subfungsi

No	Sub fungsi	Persyaratan	I	II	III
A	Rangka	- Kuat - Ringan - Kokoh - Tahan korosi			
B	Toren air	- Murah - Skala <i>prototype</i> - Mudah didapat			
C	Valve	- Murah - Awet			
D	Penstock	• Tahan karat • Fleksible			
E	Turbin	• Dapat bekerja di <i>head</i> rendah dan debit kecil			
F	Transmisi	• Tidak mudah slip • Murah			
G	Generator	• Putaran rendah • Mudah didapat			
F	Beban listrik	• Mudah didapat			

Pada proses pemilihan kombinasi terbaik variasi-variasi kombinasi tersebut dikaji dan diseleksi berdasarkan kriteria-kriteria, sebagai berikut:

1. Sesuai dengan fungsi keseluruhan
2. Sesuai dengan daftar kehendak
3. Secara prinsip dapat diwujudkan
4. Dalam batasan biaya produksi
5. Pengetahuan konsep memadai
6. Sesuai keinginan perancang
7. Memenuhi syarat keamanan

Tabel 4. Pemilihan variasi struktur fungsi

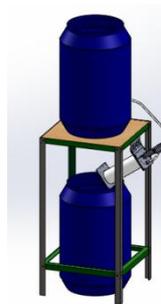
UNIVERSITAS MERCU BUANA FAKULTAS TEKNIK		Tabel pemilihan variasi struktur fungsi	
VARIAN PRINSIP SOLUSI	Kriteria pemilihan	Keputusan	
	(+) Ya (-) Tidak (?) Kurang Informasi (!) Priksa Spesifikasi	(+) Solusi Yang Dicari (-) Hapuskan Solusi (?) Kumpulkan Informasi (!) Lihat Spesifikasi	
	Sesuai dengan fungsi keseluruhan		
	Sesuai dengan daftar kehendak		
	Secara prinsip dapat diwujudkan		
	Dalam batasan biaya produksi		
	Pengetahuan konsep memadai		
	Sesuai keinginan perancang		
	Memenuhi syarat keamanan		
A1	+ - + - - - +	Harga mahal	-
A2	+ - + - - - +		-
A3	+ + + + + + +		+
B1	+ - + - + - -	Harga mahal	-
B2	+ - + + - - -		-
B3	+ + + + + + +		+
C1	+ + + + - + -		+
C2	+ - - - + - +		-
C3	+ + + + + + +		+
D1	+ - + - + - +		-
D2	+ + + + + + +		+
D3	+ + + + + - -		-
E1	+ + + + - + +		+
E2	+ + + + + + +		+
E2	+ - - - - + -		-
F1	- + + - - + +		-
F2	+ + + + + + +		+
F3	+ - - + + + -		-

G1	+	+	+	+	+	+	+		+
G2	+	-	+	-	+	+	+		+
G3	+	+	+	-	+	+	+		+
H1	+	+	+	+	+	+	+		+
H2	+	+	-	+	-	-	-		-
H3	+	-	+	-	-	+	+		+

Setelah prinsip solusi subfungsi dibuat, maka perlu dilakukan kombinasi sehingga terbentuk suatu sistem yang saling menunjang. Kombinasi prinsip solusi akan dibagi dalam dua varian dan berikut tabel jalur varian prinsip solusi II yang menunjukkan saah satu kombinasi prinsip solusi.

Tabel 5. Jalur varian prinsip solusi II.

No	Sub fungsi	Persyaratan	I	II	III
A	Rangka	- Kuat - Ringan - Kokoh - Tahan korosi			
B	Toren air	- Murah - Skala <i>prototype</i> - Mudah didapat			
C	Valve	- Murah - Awet			
D	Penstock	• Tahan karat • Fleksible			
E	Turbin	• Dapat bekerja di <i>head</i> rendah dan debit kecil			
F	Transmisi	• Tidak mudah slip • Murah			
G	Generator	• Putaran rendah • Mudah didapat			
H	Beban listrik	• Mudah didapat			



Gambar 13. Varian II

Hasil varian kombinasi terbaik

Karena jumlah kombinasi ada dua macam, maka harus dilakukan seleksi. Sehingga gambar-gambar perancangan akhir yang dibuat nanti benar-benar mendekati tuntutan desain.

Variasi-variasi kombinasi tersebut diseleksi berdasarkan kriteria-kriteria yang digunakan dalam menentukan kombinasi ini adalah sebagai berikut

1. Komponen mudah didapat
2. Kontruksi kuat
3. Mudah dirakit dan dibongkar

4. Bentuk sederhana
5. Banyak komponen
6. Komponen mudah didapat
7. Murah
8. Aman
9. Perawatan mudah
10. Toleransi bentuk dan dimensi

Hasil evaluasi varian

Berikut adalah hasil penilaian dari evaluasi varian II terhadap kriteria dan parameter yang telah ditentukan.

Tabel 6. Penilaian varian II

No	Kriteria	Wi (Bobot)	Parameter	Vi (Nilai)	Wi x Vi
1	Komponen mudah dibuat	0.15	Mudah dalam pengerjaan	9	1.35
2	Konstruksi kuat	0.09	Tidak mudah rusak	7	0.63
3	Mudah dirakit dan dibongkar	0.08	Pemasangan cepat	8	0.64
4	Bentuk sederhana	0.15	Komponen tidak rumit	9	1.35
5	Banyak komponen	0.08	Jumlah komponen	7	0.56
6	Komponen mudah didapat	0.05	Banyak dipasaran	9	0.45
7	Murah	0.1	Anggaran	8	0.8
8	Aman	0.15	Faktor keamanan	7	1.05
9	Perawatan mudah	0.05	Mudah dibersihkan	7	0.35
10	Toleransi bentuk dan dimensi	0.1	Ketepatan ukuran dan bentuk	7	0.7
Jumlah Total		1		78	7.88

Tabel 7. Rekap pemilihan varian

No	Item	Nilai Wi x Vi
1	Varian I	7.48
2	Varian II	7.88

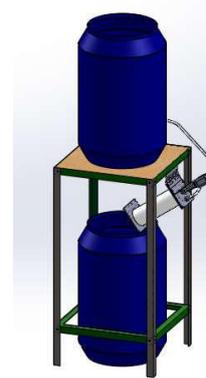
Dari tabel 7 dapat disimpulkan bahwa varian II dipilih untuk dikembangkan karena sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan.

Perancangan wujud

Dalam perancangan wujud *prototype system picohydro* meliputi beberapa langkah dalam prosesnya yaitu bentuk elemen suatu produk, perhitungan teknik dan prosedur.

1. Bentuk elemen suatu produk

Pada langkah ini membuat bentuk elemen suatu produk dengan membuat gambar rangkaian komponen assembling dan komponen alat yang mendukung untuk bekerjanya sistem.



Gambar 14. Perancangan wujud

2. Perhitungan teknik

Pada tahapan perhitungan teknik dimulai dari perhitungan debit air, daya turbin dan daya generator yang dapat dihasilkan. Perhitungan ini akan menentukan jenis generator.

a. Debit air

Berdasarkan pengambilan data *prototype* penampungan air perumahan, pada *head* (h) 0.25 m toren air mampu mengisi corong ukur volume air berkapasitas 1 liter dalam waktu 3 detik, maka debit airnya adalah:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{0,001}{3} = 0.0003 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Daya Turbin

$$P_t = \rho \times Q \times g \times h$$

$$P_t = 1000 \times 0,0003 \times 9,81 \times 0,25$$

$$P_t = 0,73575 \text{ Watt}$$

c. Daya Generator

$$P_g = P_t \times \eta_g$$

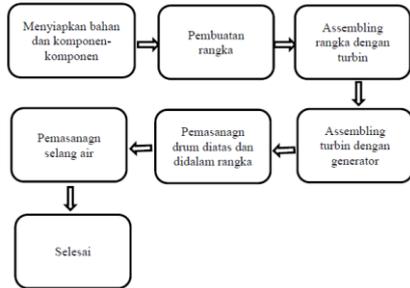
$$P_g = 0,73575 \times 0,8$$

$$P_g = 0.5886 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan-perhitungan diatas didapatkan daya generator sebesar 0,6 watt. Proses pemilihan generator yang digunakan dalam *prototype system pico hydro* dapat dipilih generator yang mendekati angka tersebut yaitu generator dengan daya 10 watt.

3. Prosedur produksi

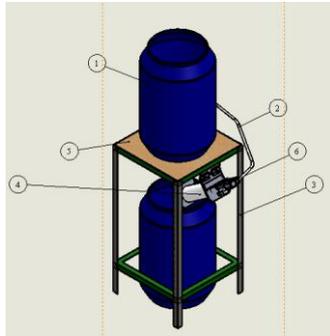
Dalam pelaksanaan perancangan wujud ada prosedur yang dilihat pada skema dibawah ini:



Gambar 15. Skema prosedur produksi

Perancangan detail

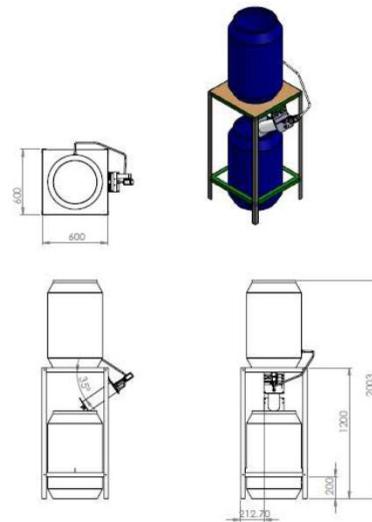
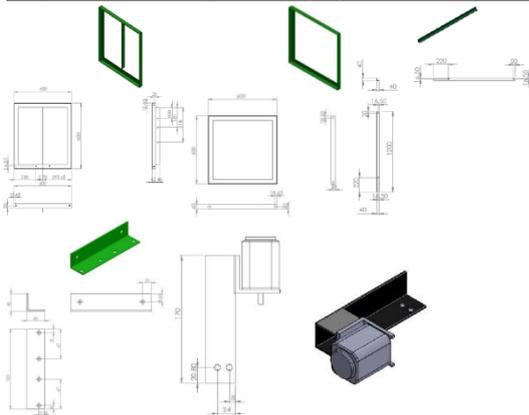
Pada perancangan detail menampilkan beberapa informasi sebagai bentuk presentasi hasil perancangan.



Gambar 16. Perancangan detail komponen

Tabel 8. Daftar komponen alat

No	Komponen	Spesifikasi	Jumlah
1.	Drum plastic	Kapasitas 120 liter	2
2.	Selang air	Ukuran 0.5 inci, panjang 40 cm	1
3.	Rangka	Besi siku (40x40x0,27) cm	1
4.	Turbin air	Turbin screw	1
5.	Papan kayu	Ukuran (60x60x3) cm	1
6.	Generator	Generator magnet permanent 10 watt	1



Gambar 17. Perancangan detail *prototype system pico hydro*

Proses pengerjaan alat

Pada proses pengerjaan alat ini ada beberapa langkah dalam proses rancang bangun yaitu:

1. Proses pemotongan bahan
Proses pemotongan bahan menggunakan grinda mesin dan gergaji. Sebelum pemotongan disetiap bagian diberi tanda sesuai ukuran.
2. Proses pengeboran
Pengeboran ini menggunakan mata bor berukuran 8 mm. pada saat pengeboran penting untuk menandai bagian yang akan dilubangi terlebih dahulu agar hasil ubang presisi.
3. Proses pengelasan
Ada beberapa bagian yang memerlukan pengelasan rangka utama dan *frame* generator.
4. Proses *finishing*
Pada proses *finishing* ini pertama kalidilakukan pengrindaan pada bagian bagian yang dilas. Kemudian dilanjut pengamplasan pada bagian seluruh rangka. Setelah selesai dibersihkan thap terakhir pengecatan alat.
5. Proses assembling
Pada proses ini semua komponen yang sudah dibuat dan disediakan dirangkai sesuai dengan fungsi tiap-tiap komponen agar sistem dapat bekerja dengan baik,



Gambar 18. Prototype system picohydro

Hasil pengujian

Dalam pengujian ini, dilakukan oleh rekan team dengan memvariasikan sudut kemiringan turbin menggunakan multimeter dan tachometer. Didapatkan hasil berikut disajikan dalam tabe 9.

Tabel 9. Data pengujian prototipe sistem pembangkit listrik tenaga piko hidro

Sudut Kemiringan	Putaran (rpm)	Debit (m ³ /s)	Keluaran (output)		
			V (DC)	I (A)	P (Watt)
35°	200	33.10 ⁻⁴	10.5	0.0123	0.13
45°	73	33.10 ⁻⁴	8.5	0.0105	0.09
55°	218	33.10 ⁻⁴	11.3	0.0125	0.14

Dari table 14 didapatkan daya tertinggi pada sudut kemiringan 55° yaitu sebesar 0,14 watt.

KESIMPULAN

Setelah melakukan pengumpulan daftar kehendak, mengelompokkannya, dan menganalisa beberapa varian, maka berdasarkan penilaian dipilih varian nomor II sebagai pilihan terbaik karena menghasilkan nilai total yang paling tinggi diantara alternatif rancangan atau varian lainnya, yakni 7,88. Dari hasil perhitungan-perhitungan sederhana, jenis generator ber kapasitas 10 watt yang akan dipakai.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anagnostopoulos, J. S., & Papantonis, D. E. (2007). Flow Modeling and Runner Design Optimization in Turgo Water Turbines. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 1.

[2] Arismunandar, W. (2004). Penggerak Mula Turbin. Bandung: ITB.

[3] Bawono, A. N., & Noor, D. Z. (n.d.). Perancangan Turbin Francis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)”Studi Kasus di

Sungai Suku Bajo, Desa Lamanabi, Kecamatan Tanjung Bunga, Kabupaten Flores Timur, NTT”. *ITS Surabaya*.

[4] Dewanto, H. P., Himawanto, D. A., Danardono, D., & Sukmaji. (2017, Oktober). Pembuatan dab dalam pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air pico hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 12, 54-62.

[5] Fe'I, M. N., K, A., & Irzal. (2016). Rancang Bangun Simulasi Turbin Air Crossflow. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negri Padang*.

[6] Firmansyah, R., Ir. Teguh Utomo, M. & Ir. Hery Purnomo, M. (n.d.). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur unit 3 Lumajang.

[7] Himran, S. (2017). Turbin Air. Yogyakarta: ANDI.

[8] Kholiq, I (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbaru Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*.

[9] Olgun, H. (1998). Investigation Of The Performance Of A Cross Flow Turbine. *International journal Of Energy research*, 953-964.

[10] Sugeng, U. M., & Harfi, R. (n.d.). Perancangan dan Analisa Biaya Alat Penguji Kekuatan Genteng Keramik Berglazur. *Program Studi Teknik Industri Institut Sains dan Teknologi Nasional*.

[11] Suharyati, Pambudi, S. H., Wibowo, J. L., & Pratiwi, N. I. (2019). Out Look Energi Indonesia.

[12] Syahputra, T., Syukri, M., & Sara, I. D. (2017). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro Dengan menggunakan Turbin ulir. *Jurnal Online Teknik Elektro*, 16-22.

[13] Thobari, A., Mustaqim, & Wibowo, H. (2013).Analisa Pengaruh Sudut Keluar Sudu Terhadap Putaran Turbin Pelton. *Faculty of Engineering*.

[14] Xiao, Y., Wang, Z., Zhang, J., Zeng, C., & Yan, Z. (2014). Numerical and experimental analysis of the hydraulic performance of a prototype Pelton turbine. *Power and Energy*, 228, 46-55.

[15] Yani, A., Susanto, B. & Rosmiati. (2018). Analisa Jumlah Sudu Mangkuk Terhadap Kinerja Turbin Pelton Pada Alat Praktikum Turbin Air. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 7.