

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK PIKOHIDRO 1000 VA DENGAN MEMANFAATKAN PEMBUANGAN AIR LIMBAH PADA GEDUNG PAKARTI CENTRE

Bustami^{1*}, Abdul Multi²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, ISTN,
Jl.PLN Duren Tiga Pasar Minggu Jakarta 12760

*Email : bstm_bustami@yahoo.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi guna peningkatan pelayanan dan operasional pada setiap gedung bertingkat mutlak diperlukan. Seiring dengan itu biaya operasional gedung bertingkat terutama dalam hal biaya energi, yang antara lain energi listrik, air dan bahan bakar minyak otomatis akan meningkat. Sehingga dibutuhkan suatu pemanfaatan energi terbuang yang ada di suatu gedung untuk dapat menekan biaya operasional.

Pemanfaatan energi tersebut sekaligus dapat ikut serta dalam program pemerintah untuk mengembangkan energi baru terbarukan. Jika suatu gedung berpenghuni 700 orang dan masing-masing orang menggunakan air 50 liter per hari maka potensi air buangan adalah sama dengan 35.000 liter. Limbah air ini dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun pembangkit listrik pikohidro 1.000 VA dengan memanfaatkan buangan air limbah.

Alat yang digunakan untuk rancang bangun ini adalah 3 buah Nozle, turbin, Generator DC, dan batere serta lampu sebagai beban. Turbin diputar oleh air yang disemprotkan dari nozzle. Ketika digunakan satu, dua dan tiga nozzle, maka efisiensi pada generator masing-masing 65,75%, 65,80% dan 70,74% dengan debit pembuangan air limbah 0,002725 m³/detik. Putaran maksimum saat ada beban pengisian batere adalah 160 rpm dan tegangan maksimumnya 26,4 Volt. Dengan tegangan tersebut cukup untuk pengisian batere 24 volt.

Kata Kunci: Pikohidro, Nozle, turbin, generator

ABSTRACT

Energy requirements for service and operational improvements in each high rise building is absolutely necessary, along with the operational costs of high rise buildings, especially in terms of energy costs, such as electrical energy, water and fuel oil will automatically increase. So it is necessary to use existing wasted energy in a building in order to reduce operational costs.

The utilization of such energy can also participate in government programs to develop renewable energy. If a building is inhabited 700 people and each person uses 50 liters of water per day then the potential for waste water equals 35,000 liters. This waste water can be utilized for power generation. In this research, the design of 1,000 VA picohydro power plant is built by utilizing waste water.

The tools used in this research are 3 pieces of Nozle, a turbine, a DC Generator, a battery and lamps as a load. The turbine is rotated by water sprayed from the nozzle. When used one, two and three nozzles, the efficiency of the generator 65,75%, 65,80% and 70.74% respectively with discharge waste 0.002725 m³/sec. The maximum rotation when there is a battery charging load is 160 rpm and its maximum voltage is 26.4 Volts. With this voltage, it is enough for 24 volt battery charging.

Keywords: Picohydro, Nozle, turbine, generator

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi guna peningkatan pelayanan dan operasional pada tiap gedung bertingkat mutlak diperlukan, seiring dengan itu biaya operasional gedung bertingkat terutama dalam hal biaya energi, yang antara lain energi listrik, air dan bahan bakar minyak otomatis akan meningkat, maka dibutuhkan suatu pemanfaatan energi terbuang yang ada di suatu gedung agar dapat menekan biaya

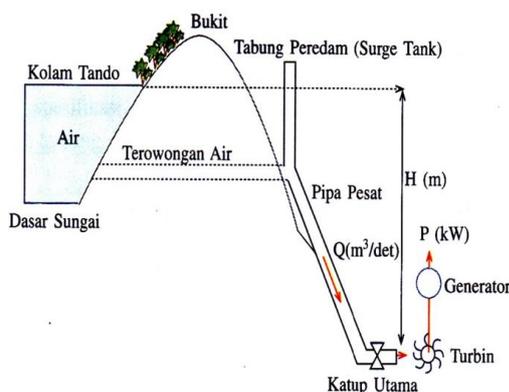
operasional. Sekaligus dapat ikut serta dalam program pemerintah untuk mengembangkan energi baru terbarukan yang dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil.

Sesuai SNI 03-7065-2005 kebutuhan air dalam gedung perkantoran adalah 50 liter/karyawan/hari diluar fasilitas gedung seperti Restoran dan Masjid. Misalkan suatu gedung dengan total karyawan 700 orang, maka ada air limbah sekitar 35000 liter tiap

hari yang dibuang, jika di buang dengan debit 100 liter/menit maka dibutuhkan waktu sekitar 6 jam pembuangan. Pemanfaatan potensi air limbah yang terbuang (*waste energy*) yang sesuai yaitu dengan mengubah energi air tersebut menjadi energi listrik atau pembangkit listrik.

Karena kapasitas air limbah yang tidak terlalu besar maka Pembangkit listrik yang sesuai yaitu pikohidro. Pikohidro adalah istilah yang digunakan untuk pembangkitan listrik tenaga air dengan kapasitas dibawah 5 kVA bahkan lebih kecil yang berkisar antara 200-300 VA. Pikohidro dapat dihasilkan dari turbin yang diputar oleh aliran air alami pada kemiringan setinggi minimal satu meter. Dikarenakan kapasitas daya yang dihasilkan tidak terlalu besar dan beban yang sesuai adalah untuk penerangan lampu, dimana saat ini banyak digunakan lampu LED dengan tegangan DC maka akan lebih efisien jika keluar dari Generator DC kemudian disimpan dalam baterai dan langsung digunakan dengan instalasi DC.

Dalam PLTA, potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula-mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan tenaga listrik. Sistem pembangkitan energi listrik pikohidro sama dengan pembangkit energi listrik umumnya yang memanfaatkan air sebagai penggerak maka untuk memutar turbin pembangkit pikohidro menghasilkan daya keluaran (output) maksimum 5 kW (5 kilowatt).



Gambar 1 Proses konversi energi dalam pusat listrik tenaga air (PLTA)

Debit Air

Debit air merupakan hal yang sangat menentukan dalam perencanaan turbin arus ini, karena daya yang dihasilkan oleh turbin sangat tergantung pada debit air yang tersedia. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dapat ditentukan dengan persamaan ; $Q = A \times V$ (1)

Keterangan :

- Q = debit air (m3/det)
- V = kecepatan aliran air (m/det)
- A = luas penampang aliran (m3)

Daya hidraulik tenaga air

Daya hidraulik yang akan dikeluarkan dari air yang jatuh dinyatakan dengan persamaan berikut :

$Pair = \rho \times g \times Q \times H$ (2)

Keterangan :

- Pair = daya hidraulik [Watt]
- ρ = kerapatan masa air = 1000 kg/m³
- g = percepatan gravitasi = 9,81 m/det²
- Q = debit [m³/det]
- H = tinggi air jatuh [m]

Daya turbin yang dihasilkan :

$P = \eta_t \times T \times Pair$(3)

Keterangan :

- P = daya turbin [Watt],
- T = jumlah nozle
- η_t = Efisiensi Turbin

Daya listrik yang dihasilkan :

$P = \eta_{TG} \times Pair$ (4)

Keterangan :

- P = daya listrik [Watt]
- η_{TG} = Efisiensi gabungan turbin dan generator
- η_t = Efisiensi turbin.
- η_G = Efisiensi Generator

Apabila ditinjau dari kapasitasnya dan tinggi jatuh air, daya turbin yang direncanakan dapat ditentukan dengan persamaan.

$P = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t$(5)

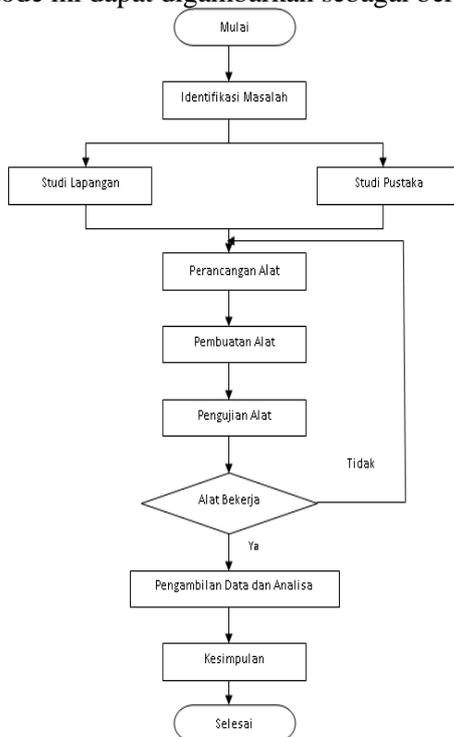
Keterangan :

- P= daya turbin (W)
- ρ = massa jenis (kg/m3)
- g= percepatan gravitasi (m/det²)
- Q= debit aliran air (m³/det)
- H= tinggi air jatuh (m)
- η_t = efisiensi turbin (untuk turbin air harga efisiensi 84% s/d 94%)

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian sangat penting sebagai acuan dalam pengumpulan data dan membuat alat yang sistematis dapat dicapai dengan lebih terarah sehingga tujuan akhir dapat tercapai dengan baik, maka perlu untuk membuat diagram alir penelitian. Secara garis besar metode ini dapat digambarkan sebagai berikut



Gambar 2. Diagram Alir Rancang Bangun

Dari gambar 2 dapat dijelaskan bahwa langkah pertama setelah start yaitu rumusan atau identifikasi masalah kemudian dilanjutkan dengan mencari referensi studi baik itu dari literatur kepustakaan maupun pengamatan dilapangan. Setelah dirasa cukup dilanjutkan perancangan, pembuatan, dan pengujian alat. Jika tidak alat berfungsi maka kembali ke tahap perancangan alat untuk melakukan pengecekan ulang apakah ada alat yang tidak sesuai perancangan, jika alat dapat berfungsi maka dilanjutkan pengambilan data dan analisa kemudian membuat kesimpulan dan seluruh tahapan selesai.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi yang digunakan untuk rancang bangun Pembangkit Listrik Pikohidro 1000 Watt dengan memanfaatkan pembuangan air limbah ini bertempat dgedung Pakarti Centre dengan lokasi 06o17,712' LS & 106o 81,637' BT, Jalan Tanah Abang III No.23,25,27, Petojo Selatan, Gambir, Jakarta Pusat, pada lantai Basement ruang Instalasi Pengolahan Air Limbah dan area parkir motor.

Penentuan lokasi ini dikarenakan ada pengolahan air limbah sekaligus pembuangan limbah ke saluran kota setelah memenuhi persyaratan dari air baku mutu limbah dari lingkungan hidup, sekaligus hasil dari pembangkit listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk penerangan di area parkir motor basement di waktu malam.

Pemilihan Komponen

Komponen dipilih agar mendapatkan kesesuaian antara karakteristik dan spesifikasi komponen dengan kebutuhan alat sehingga alat yang dibuat dapat bekerja dengan baik. Beberapa komponendan alat yang digunakan dalam rancang bangun ini adalah sebagai berikut:

Sumber Air Penggerak

Pada rancang bangun kali ini yang digunakan sebagai sumber air untuk menggerakkan turbin berasal dari Pengolahan air limbah dengan kapasitas 35 m² yang dipompa keluar dengan pompa submersible, gambar dari bak dan pompa submersible diperlihatkan pada gambar 3, sedangkan untuk data sebagai berikut:

- Kapasitas Bak: 35 m²
- Pompa submersible:
 - 1.Merk : Wilo
 - 2.Type : FAC 32 G 25.8/15 DM
 - 3.Daya : 1.5 kW
 - 4.Kapasitas : 0.06 m³/m
 - 5.Phasa : 3
 - 6.Tegangan : 380 Volt
 - 7.Arus : 3.6 Ampere
 - 8.Putaran : 2850 rpm
 - 9.Head : 23 m



(a)



(b)

Gambar 3 Sumber Air Untuk Pikohidro
(a)Bak Pengolahan Limbah
(b)Pompa Submersible

Pipa Saluran

Pipa yang digunakan menghubungkan dari pompa ke nozzel adalah pipa PVC ukuran 2 inch yang dicabang 3 menggunakan selang air ukuran 1 inch kemudian disambungkan dengan nozzel 3 buah. Gambar mengenai saluran pipa dan rangkaian pipa diperlihatkan pada gambar 4. Saluran dari Bak air menuju turbin berfungsi sebagai penggerak mula dari sebuah pembangkit.



Gambar 4 Pipa PVC
(a) Pipa PVC 2 Inch
(b) Rangkaian instalasi Pipa

Turbin

Adapun spesifikasi turbin yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada tabel 1. Tabel 1. Spesifikasi Turbin

Spesifikasi	Ukuran
Diameter Turbin	30 cm
Diameter Sudu	5 cm
Panjang Sudu	3,75 cm
Derajat Sudu	45°
Banyak Sudu	18 bh
Tebal Sudu	0,2 cm

Adapun bentuk turbin dapat diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5. Turbin

Generator

Generator yang dipilih membangkitkan tegangan pada penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Jenis Generator : Permanent Magnet
Tegangan : 12 - 120 Volt DC
Tegangan Tanpa Beban : +/- 480 Volt
Putaran : 120-2000 rpm
Rating Power : 1000 Watt
Arus : 5 Ampere
Merk : Schneider Electric
Model : 1002M11A1A

Pada gambar 6 di bawah ini menunjukkan bentuk dari generator yang digunakan dengan spesifikasi di atas, dimana pemasangannya pada sistem pembangkit turbin pikohidro dipasang secara horizontal.



Gambar 6. Generator Permanent Magnet

Rangka Turbin dan Generator

Rangka yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan besi hollow ukuran 4 x 4 cm, sedangkan untuk ukuran rangkanya adalah 85 x 45 x 75 cm, Bentuk kerangka dapat diperlihatkan pada gambar 7.



Gambar 7. Rangka dudukan Generator dan Turbin

Charger Controler Aki

Dipilihnya charger aki ini karena alat ini digunakan untuk mengatur arus searah DC yang diisi ke baterai. Charger mengatur overcharging (kelebihan pengisian karena baterai sudah penuh) dan kelebihan tegangan (voltase) dari generator DC. Kelebihan voltase dari pengisian akan mengurangi umur baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka

secara otomatis pengisian arus dari generator berhenti. Cara deteksi adalah melalui indikator lampu. Charge akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

Charge biasanya terdiri dari satu input (dua terminal) yang terhubung dengan output panel generator, satu output (dua terminal) yang terhubung dengan baterai/aki dan satu output (dua terminal) yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke generator karena biasanya ada diode protection yang hanya melewatkan arus listrik DC dari generator ke baterai, bukan sebaliknya. Gambar dari charger aki dapat diperlihatkan pada gambar 8, sedangkan data charger aki yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Input Voltage: 5-40V
- Output Voltage: 1.2-35V (adjustable)
- Output Current: 12A
- Constant current range: 0.2-12A (adjustable)
- Output Power: Max 300W
- Indikator merah: Status charging
- Indikator hijau: Status full charged



Gambar 8 Charger Controller Aki

Pulley

Komponen ini dipilih karena berfungsi untuk menghubungkan putaran turbin maupun putaran di generator, pulley juga bisa digunakan untuk menaikkan atau menurunkan putaran tergantung dari cara pemasangannya. Ukuran pulley yang digunakan pada penelitian ini adalah diameter 12 inch dan 2 inch, sedangkan untuk gambar pulley dapat diperlihatkan pada gambar 9.



(a)

(b)

Gambar 9 Pulley

(a) Pulley ukuran 12 inch

(b) Pulley ukuran 2 inch

Baterai

Baterai ini di pilih karena berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia, yang akan digunakan untuk mensuplai (menyediakan) listrik ke lampu dan komponen komponen kelistrikan lainnya. Gambar baterai dapat diperlihatkan pada gambar 10.



Gambar 10. Baterai

Beban

Sebagai beban dalam penelitian ini digunakan lampu TL Led 4 W DC 12 V sebanyak 4 buah. Gambar lampu dapat diperlihatkan pada gambar 11.

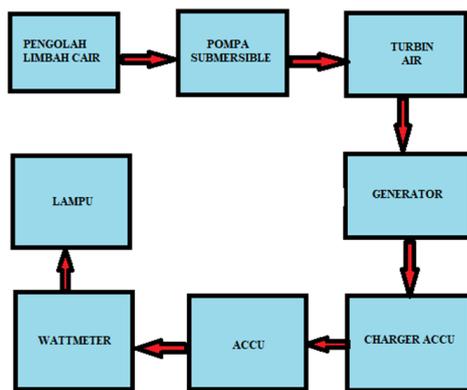


Gambar 11. Lampu TL 4 W 12 VDC

PERANCANGAN, PENGUJIAN DAN ANALISA

Langkah Rancang Bangun

Untuk memudahkan dalam melakukan pembuatan alat maka perlu dibuat blok diagram agar dapat ditentukan mana yang bisa dikerjakan terlebih dahulu atau bisa secara paralel. Blok dapat diperlihatkan seperti pada gambar 12



Gambar 12. Blok Diagram Rancang Bangun

PikohidroPengerjaan Rangka dan Turbin

Rangka yang dibuat harus kuat agar dapat menahan getaran dan gaya putar dari turbin maupun gaya putar generator yang dihubungkan dengan v-belt melalui 2 buah pulley yang terdapat pada as turbin maupun generator. Rangka terbuat dari besi hollow ukuran 4 x 4 cm berbentuk rangka segiempat dengan ukuran panjang 85 cm, lebar 45 dan tinggi 75 cm.

Adapun tahap perakitan rangka dan turbin sebagai berikut:

1. Mengecek peralatan serta mengutamakan keselamatan dan kesehatan kerja
2. Menyiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan, seperti: Mesin bor, gerinda tangan, mesin las, gergaji besi, palu, meteran, siku, water pas, kawat las, besi hollow 4 x 4 cm, amplas, cat dan lainnya.
3. Memotong besi hollow sesuai ukuran untuk tiang maupun palang horizontal, kemudian disambung dengan cara dilas dengan memperhatikan kedudukan turbin pada sisi bawah sedangkan untuk generator pada sisi atas rangka.
4. Menghaluskan hasil penyambungan dengan amplas.
5. Memasang As turbin dengan mengebor dan memasang baut.
6. Memasang generator pada sisi atas dan dipasang mur-baut agar tidak goyang.
7. Melepas generator kembali, untuk melakukan pengecatan.
8. Sambil menunggu proses pengeringan cat dapat dilakukan pembuatan turbin dengan memotong plat diameter 30 cm dan memasang knei pipa 45° sebagai sudu sebanyak 18 buah.

9. Setelah cat kering turbin dipasang dilanjutkan pasang generator.

10. Memasang pulley dan v-belt

11. Kemudian memasang nozzel sebanyak 3 buah pada 3 bagian sisi yang sama.



Gambar 13 Proses perakitan turbin dan generator

Perakitan Panel dan Instalasi Air

Setelah pengerjaan rangka dan turbin selesai kemudian dilanjutkan pengerjaan perakitan panel dan instalasi air supply. Untuk panel dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 14 sedangkan komponen perakitan panel terdiri dari:

-MCB 20 A 400 VDC	3 buah
-Charger Contrler accu 12 A	1 buah
-DC-DC step up converter 12 A	1 buah
-Baterai 12 V 7 Ah	2 buah
-Wattmeter	1 buah
-Lampu 12 VDC 4 W	10 buah
-Kabel dan accesories	1 lot
-Terminal kabel	1 bh
-Catu Daya	1 unit

Sedangkan untuk instalasi air dibuat 3 nozle dengan penempatan 120o agar daya dorong seimbang dengan instalasi pipa utama 2 inch dan pipa cabang masing-masing ukuran 1 inch. Gambar instalasi pipa air suply dapat diperlihatkan pada gambar 15.



Gambar 14. Instalasi Panel



Gambar 15. Instalasi pipa air
Setelah rangka berikut generator dan turbin terpasang serta panel selesai kemudian seluruh perlengkapan dibawa ke lokasi untuk digabungkan menjadi satu sistem. Pemasangan seluruh rangkain dapat diperlihatkan pada gambar 16.

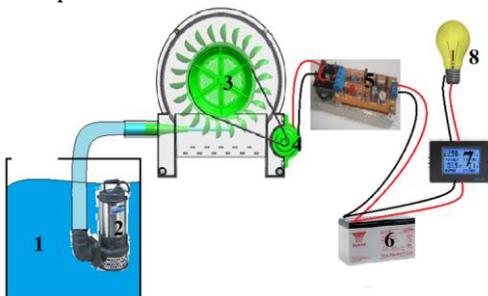


Gambar 16. Pemasangan seluruh rangkain pikohidro

Cara Kerja

Seperti diperlihatkan dalam gambar 17, maka cara kerja dari rancangan pikohidro kali ini adalah sebagai berikut:

1. Jika air dalam bak pengolah limbah telah mencapai pada level tertentu maka secara otomatis akan menghidupkan pompa untuk membuang air limbah melalui saluran pipa ke drainase kota.
2. Dari saluran pipa disambungkan ke nozzel yang digunakan untuk menekan turbin sehingga turbin dapat berputar.
3. Hasil putaran turbin di dimanfaatkan untuk menggerakkan generator yang dihubungkan melalui v-belt.
4. Generator akan menghasilkan daya listrik, dikarenakan air buangan tidak kontinyu maka daya listrik tersebut disimpan dalam accu terlebih dahulu dengan pengontrolan charger accu agar tegangan generator yang kurang stabil menjadi tetap (stabil).
5. Dari accu kemudian dimanfaatkan untuk penerangan area parkir motor menggunakan lampu Led.



Gambar 17. Cara kerja Pikohidro

Keterangan:

1. Bak air Limbah
2. Pompa submersible

3. Turbin air
4. Generator
5. Charger Controller accu
6. Accu
7. Wattmeter
8. Lampu

Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan maksud mengambil data kebenaran dari bagian-bagian rangkaian agar sesuai dengan karakteristik yang diinginkan. Pengujian ini dimulai dari tegangan dan arus pada pompa submersible, sampai keseluruhan rangkaian.



Gambar 18. Pengujian tegangan dan arus pompa

Pengujian Tegangan dan Arus Pompa

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan dan arus pada pompa pada saat sebelum dan sesudah di pasang turbin. Alat yang digunakan pada pengujian kali ini adalah Tang Ampere dan Voltmeter AC.

Tabel 2. Tabel Pengukuran Tegangan dan Arus Pompa

No	Parameter	Sebelum			Sesudah		
		R	S	T	R	S	T
1	Tegangan (Volt)	386	385	385	386	385,3	385,4
2	Arus (Ampere)	3	3	2,9	2,9	3	2,9

Pengujian Turbin

Dari hasil pengamatan dilapangan diperoleh data untuk H = 15 meter, Diameter pipa = 2 inch dan V = 1,346 m/det, maka diperoleh data seperti pada table 3 dengan perhitungan daya hidrolik tenaga air pada persamaan (2) sebagai berikut:

$P_{air} = \rho \times g \times Q \times H$ (watt), dimana:

P_{air} = daya hidrolik [Watt]

ρ = 1000 kg/m³

g = 9,81 m/det

Q = debit [m³/det]

H = 15 m

Q = A x V (m³/det)

$$A = \pi r^2$$

$$= 3,14 \cdot (0,0254)^2$$

$$= 0,002025 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,002025 \cdot 1,346$$

$$= 0,002725 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi untuk 1 nozle:

$$\text{Pair} = \rho \times g \times Q \times H \text{ (watt)}$$

$$= 1000 \times 9,81 \times 0,002725 \times 15$$

$$= 400,984 \text{ watt}$$

Untuk daya turbin pada persamaan (3)

$$PT = \eta t \times T \times \text{Pair}$$

dengan asumsi efisiensi turbin $\eta = 0,8$, maka:

Untuk 1 nozle

$$PT = 0,8 \times 1 \times 400,984 = 320,78 \text{ watt}$$

Untuk 2 nozzle

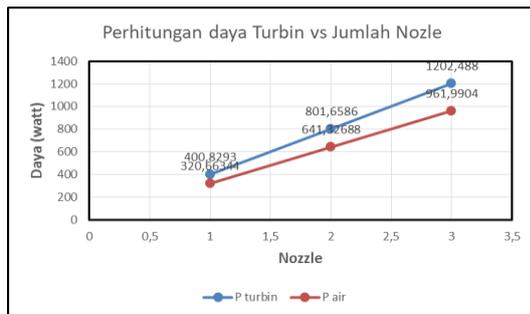
$$PT = 0,8 \times 2 \times 400,984 = 641,574 \text{ watt}$$

Untuk 3 nozzle

$$PT = 0,8 \times 3 \times 400,984 = 962,36 \text{ watt}$$

Tabel 3. Perhitungan Daya Turbin dengan Jumlah Nozle

No	Pipa (")	V (m/s)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	H (m)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	T (nozle)	Pair (watt)	η	Pt (watt)
1	2	1,346	0,00203	0,00273	15	1000	9,8	1	400,8293	0,8	320,663
2	2	1,346	0,00203	0,00273	15	1000	9,8	2	801,6586	0,8	641,327
3	2	1,346	0,00203	0,00273	15	1000	9,8	3	1202,488	0,8	961,99



Gambar 19. Grafik perbandingan daya turbin vs jumlah nozzle

Tabel 4. Perhitungan daya Turbin Dengan Jumlah Debit Air

No	Pipa (")	V (m/s)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	H (m)	ρ (kg/m ³)	g (m/s ²)	Pair (watt)	η	Pt (watt)
1	1	1,346	0,00051	0,00068	15	1000	9,8	100,2073	0,8	80,1659
2	1,25	1,346	0,00079	0,00107	15	1000	9,8	156,5740	0,8	125,2592
3	1,5	1,346	0,00114	0,00153	15	1000	9,8	225,4665	0,8	180,3732
4	2	1,346	0,00203	0,00273	15	1000	9,8	400,8293	0,8	320,6635
5	2,5	1,346	0,00317	0,00426	15	1000	9,8	626,2958	0,8	501,0366
6	3	1,346	0,00456	0,00614	15	1000	9,8	901,8660	0,8	721,4928
7	4	1,346	0,00810	0,01091	15	1000	9,8	1603,3173	0,8	1282,6538



Gambar 20. Grafik perbandingan debit air vs daya turbin

Merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rendi Yusuf dan Sri Purnomo Sari (Univ.Gunadarma), perlu dilakukan pengukuran Volume fluida dan putaran turbin, dimana diameter masing-masing nozle adalah 10 mm dan waktu pengambilan data adalah 3 detik dan hasilnya seperti pada Tabel 6. Kemudian dilanjutkan melakukan pengukuran putaran turbin untuk mengetahui hasil putaran turbin sebelum dan sesudah dihubungkan dengan generator sekaligus untuk mengetahui daya hidrolik dari tiap-tiap nozel dan alat yang digunakan adalah Tachometer, seperti ditunjukkan pada gambar 21.

Tabel 6. Volume Fluida dan Putaran Turbin

No	Jumlah Nozle (Dia. 10mm)	Volume (liter)	Putaran Turbin (Rpm)
1	1	2,3	162
2	2	4,2	178
3	3	6,2	189



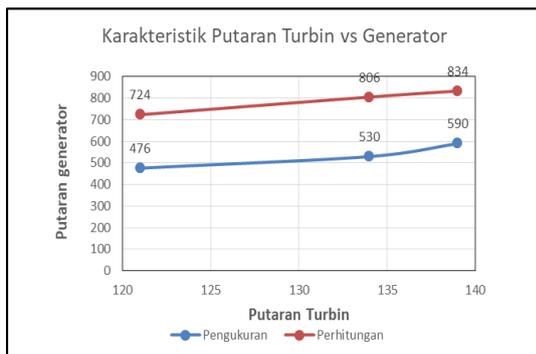
Gambar 21. Pengukuran putaran turbin

Tabel 5. Pengukuran putaran turbin sebelum dihubungkan generator

No	Nozlel			Putaran (Rpm)		Keterangan
	A	B	C	Turbin	Rata2	
1	Buka	Tutup	Tutup	160	163	Tekanan air dari pompa tetap
	Tutup	Buka	Tutup	165		
	Tutup	Tutup	Buka	163		
2	Buka	Buka	Tutup	179	179	
	Tutup	Buka	Buka	180		
	Buka	Tutup	Buka	177		
3	Buka	Buka	Buka	189	189	

Tabel 6. Pengukuran putaran turbin dihubungkan generator tanpa beban

No	Nozel			Turbin	Putaran (Rpm)			Perhitungan 1 banding 6	Efisiensi(%)
	A	B	C		Rata	Generator	Rata2		
1	Buka	Tutup	Tutup	114	121	468	476	724	65,75%
	Tutup	Buka	Tutup	123		476			
	Tutup	Tutup	Buka	125		484			
2	Buka	Buka	Tutup	135	134	529	530	806	65,80%
	Tutup	Buka	Buka	136		537			
	Buka	Tutup	Buka	132		525			
3	Buka	Buka	Buka	139	139	590	590	834	70,74%



Gambar 22. Grafik hubungan antara putaran turbin vs generator

Dari Tabel 8 untuk diameter pully turbin adalah 12 inch (30,48 cm) dan panjang kelilingnya adalah 95,71 cm sedangkan diameter pully 2 inch (5,08 cm) dan panjang keliling pully adalah 15,95. Jadi perbandingannya adalah panjang keliling turbin dibagi panjang keliling generator = $95,71 : 15,71 = 6$. Jadi setiap 1 putaran turbin akan memutar sebanyak 6 putaran generator. Sedangkan efisiensi dari putaran ini adalah putaran hasil pengukuran dibagi putaran hasil perhitungan dikali 100%.

Pengujian Tegangan Generator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya putaran generator dan hasil keluaran tegangan yang dihasilkan. Alat yang digunakan adalah tachometer dan Voltmeter DC. Pengujian putaran dan tegangan generator dapat diperlihatkan pada gambar 23.



Gambar 23. Pengukuran putaran dan tegangan generator
a.Pengukuran putaran
b.Pengukuran tegangan

Tabel 7 Pengukuran putaran dan tegangan generator tanpa beban

No	Nozel			Generator				Ket
	A	B	C	Rpm	Rata2	Tegangan	Rata2	
1	Buka	Tutup	Tutup	468	476	92	96	Tekanan air dari pompa tetap
	Tutup	Buka	Tutup	476		96		
	Tutup	Tutup	Buka	484		100		
2	Buka	Buka	Tutup	529	530	106	106	
	Tutup	Buka	Buka	537		108		
	Buka	Tutup	Buka	525		104		
3	Buka	Buka	Buka	590	590	114	114	



Gambar 24. Grafik putaran vs tegangan generator tanpa beban

Tabel 8. Pengukuran putaran dan tegangan generator dengan beban

No	Nozel			Generator				Ket
	A	B	C	Rpm	Rata2	Tegangan	Rata2	
1	Buka	Tutup	Tutup	149	153	25	25,13	Tekanan air dari pompa tetap
	Tutup	Buka	Tutup	156		25		
	Tutup	Tutup	Buka	154		25,4		
2	Buka	Buka	Tutup	157	157	26	26	
	Tutup	Buka	Buka	157		26		
	Buka	Tutup	Buka	157		26		
3	Buka	Buka	Buka	160	160	26,4	26,4	



Gambar 25. Grafik putaran vs Tegangan Generator dengan beban

Pengujian Arus dan Tegangan Pada Beban

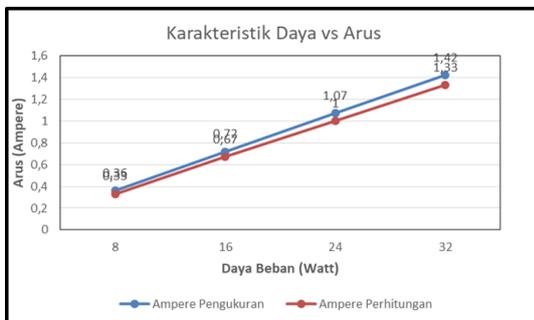
Pada pengujian kali ini untuk mengetahui besarnya arus maupun tegangan pada sisi beban (lampu). Alat yang digunakan pada pengujian kali ini adalah Amperemeter DC dan Voltmeter DC.



Gambar 26. Pengukuran Arus dan Tegangan Beban

Tabel 9 Hasil pengukuran arus dan tegangan beban

No	Beban (watt)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Perhitungan $I = P/V$
1	8	24	0,36	0,33
2	16	24	0,72	0,67
3	24	24	1,07	1,00
4	32	24	1,42	1,33



Gambar 27. Grafik hubungan arus vs daya

Perhitungan Ekonomi

Dalam perancangan perlu memikirkan akan besarnya biaya sekaligus berapa lama modal awal kembali, maka perlu didata peralatan dan nilainya agar dapat diketahui

besarnya jumlah modal awal, berikut perhitungan yang digunakan dalam perancangan alat ini:

A. Modal (Material)

No	Material	Spesifikasi	Jumlah	Satuan	Harga	Total
1	Generator	12-120V, 1000W	1	bh	Rp 1.430.000	Rp 1.430.000
2	Lampu	LED 12V 4 W	10	bh	Rp 25.000	Rp 250.000
3	Charger Accu	12 A, 30V	1	bh	Rp 150.000	Rp 150.000
4	MCB	20 A, 400V	3	bh	Rp 25.000	Rp 75.000
5	Pipa PVC	2 Inch	1	btng	Rp 55.000	Rp 55.000
6	Hollow Besi	4 x 4 cm	3	btng	Rp 50.000	Rp 150.000
7	Panel	40 x 50 x 15 cm	1	bh	Rp 75.000	Rp 75.000
8	V-Belt	A72	1	bh	Rp 45.000	Rp 45.000
9	Kabel NYA	4 mm x 2	15	m	Rp 7.500	Rp 112.500
10	Kabel NYAF	4 x 2,5 mm	5	m	Rp 6.000	Rp 30.000
11	Accu	12 V, 7 Ah	2	bh	Rp 180.000	Rp 360.000
12	Pulley	12 inch	1	bh	Rp 55.000	Rp 55.000
13	Pulley	2 inch	1	bh	Rp 35.000	Rp 35.000
14	Turbin	30 cm	1	bh	Rp 180.000	Rp 180.000
15	As turbin	50 cm	1	bh	Rp 350.000	Rp 350.000
16	Wattmeter	DC, 120V	1	bh	Rp 75.000	Rp 75.000
17	Mur Baut		1	dos	Rp 50.000	Rp 50.000
18	Semen, Bata, Pasir		1	lot	Rp 140.000	Rp 140.000
Grand Total						Rp 3.617.500

B. Aplikasi (Saving)

Lampu yang digantikan (dengan asumsi hidup 5 jam per hari):

$$0,04 \text{ kW} \times 10 \text{ lampu} \times 5 \text{ jam/hari} = 2 \text{ kWh/hari}$$

$$2 \times 30 \text{ hari} = 60 \text{ kWh/bulan}$$

$$60 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.530,- (\text{harga per kWh}) = \text{Rp } 91.800,-/\text{bulan}$$

C. Titik Impas (Break Event Point)

Jumlah Biaya Modal

$$\text{-----} = \text{Jumlah bulan}$$

Biaya saving/bulan

$$\text{Rp } 3.617.500,-$$

$$\text{-----} = 39,4 \text{ bulan} \Rightarrow 40 \text{ bulan}$$

$$\text{Rp } 91.800,-$$

Jadi titik impasnya adalah 40 bulan atau 3 Tahun 4 bulan

Analisa Alat

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui apakah alat pikohidro ini dapat berfungsi dengan baik atau tidak dan dapat dianalisa pada tiap bagian antara lain:

- Pada bagian pompa submersible kondisi tegangan maupun arus sebelum dan sesudah dipasang pikohidro menunjukkan nilai yang sama berarti pemasangan pikohidro tidak berpengaruh terhadap proses pembuangan air limbah.
- Dari pengamatan dilapangan dimana tinggi air dan debit air sama, maka yang mengaruhi besarnya daya air maupun daya

- turbin adalah nozzle, semakin banyak nozzle semakin besar dayanya.
- c. Berdasarkan tabel perhitungan semakin besar debit air maka akan semakin besar pula daya turbin yang dihasilkan.
 - d. Dari pengukuran dan perhitungan putaran turbin terhadap putaran generator didapat efisiensi berkisar 65%-70% tergantung dari jumlah nozzle.
 - e. Dari pengujian putaran generator dan tegangan yang dihasilkan, maksimum putaran yang didapat adalah 160 rpm dan tegangan yang dihasil 26 Volt
 - f. Tegangan yang dihasilkan generator cukup untuk mengisi baterai dan penggunaan efektif dari baterai untuk penerangan lampu adalah 5 jam dalam setiap harinya.
 - g. Dengan penggunaan lampu 5 jam dalam setiap harinya maka masa impas atau break event point adalah 3 tahun 4 bulan, hal ini karena dipengaruhi oleh jumlah limbah cair yang dibuang, semakin banyak limbah yang dibuang maka akan semakin cepat pula masa kembali investasinya.

SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengukuran, pengujian, perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pada perancangan pikohidro dengan memanfaatkan pembuangan air limbah kali ini, hal yang mempengaruhi terhadap besarnya daya keluaran adalah debit air, kapasitas air limbah yang dibuang akan mempengaruhi dari jam operasi dari pikohidro dan banyaknya jumlah nozzle yang digunakan.
- b. Hasil putaran turbin terhadap putaran generator memiliki efisiensi 65,75% untuk satu nozzle, 65,80% untuk dua nozzle dan 70,74% untuk tiga nozzle.
- c. Dengan debit pembuangan air limbah yang ada putaran maksimum saat ada beban pengisian aki adalah 160 rpm dan tegangan maksimumnya 26,4 Volt. Dengan tegangan tersebut cukup untuk mengisi aki 24 volt.
- d. Penggunaan efektif dari baterai untuk penerangan lampu adalah 5 jam dalam setiap harinya, maka masa impas atau

- break event point* adalah 3 tahun 4 bulan, hal ini karena dipengaruhi oleh jumlah air limbah yang dibuang, semakin banyak limbah yang dibuang maka akan semakin cepat pula masa impasnya.
- e. Pemasangan turbin pikohidro tidak mempengaruhi peralatan yang sudah ada hal tersebut dapat dilihat dari pengukuran arus dan tegangan pompa yang sama.

Saran

Dari hasil analisa dan kesimpulan dapat penulis sarankan sebagai berikut:

- a. Pikohidro dengan memanfaatkan pembuangan air limbah ini dapat dipasang disetiap gedung, terutama gedung tinggi serta memiliki tingkat hunian yang besar seperti apartemen maka hasil daya listrik akan lebih besar.
- b. Dalam rancang bangun pikohidro diperlukan data awal dilapangan seperti besarnya debit air, lamanya waktu buang air limbah dan besarnya pipa agar hasil dari rancang bangun yang dihasilkan sesuai rencana.
- c. Uji ketahanan alat dan jangka waktu operasi perlu dilakukan secara periodik setiap bulan, 3 bulan, 6 bulan dan 1 tahun untuk mengetahui batas kinerja alat.
- d. Dengan biaya yang tidak terlalu besar dan *break event point* yang tidak lama, pikohidro dapat digunakan sebagai tambahan energi alternatif untuk gedung maupun area lain yang terdapat aliran air.
- e. Pikohidro juga dapat digabungkan dengan energi alternatif yang lain (hybrid), misal solar panel, agar diperoleh energi yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anjar Susatyo, Lukman Hakim, Perancangan Turbin Pelton, Puslit Tenaga Listrik dan Mekatronik-LIPI, Bandung, 2003.
- Dadenkar, M. M, Sharman K. N.. Pembangkit Listrik Tenaga Air. Jakarta: UI Press, 1991.
- Djiteng Marsudi, Pembangkitan Energi Listrik, Erlangga, Jakarta, 2005.
- Dwi Tangoro, Utilitas Bangunan. UI Press 2006.

- Fmitz Dietzel, Dakso Sriyono, Turbin, Pompa dan Kompresor, Erlangga, Jakarta, 1993
- F. Suryatmo, Teknik Listrik arus Searah, Bumi Aksara, Jakarta, 2002
- Ita Widyastuti, Simulasi Sistem Pembangkit Tenaga Listrik pada PLTA Sutami, UMM, 2007.
- Ihfah Nurdin Eka Nugraha, Waluyo, Syahrial Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung, Upi Bandung Vol 1 No 4, 2013
- Nigel, Smith.. Motors as Generators for Micro-Hydro Power. London: ITDG Publishing, 1994.
- Nugroho, Hunggul YSH, PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), Andi, Yogyakarta 2015.
- Rinaldi, Trimaidjon, Suryaningrat, Model Fisik Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTP),Univ. Riau. Riau ISBN 978-602-96729-0-9
- Rendi Yusuf, Dr. Sri Purnomo Sari, ST., MT., Pengaruh Jarak Dan Ukuran Nozzle Pada Putaran Sudu Terhadap Daya Listrik Turbin Pelton, Universitas Gunadarma, 2015
- Streeter Victor, Arko Prijono, Mekanika Fluida Jilid 2, Erlangga, Jakarta, 1995
- Taufik Russal Sukma Dkk, Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Piko Hydro untuk Desa Tertinggal, ITB Bandung, 2008.
- Von Robert Arnold, Elektronika Untuk Pendidikan Teknik Jilid 2, Pradnya Paramita, Jakarta, 1987.
- Warnick, C.C. 1984. Hydropower Engineering. New York: Prentice Hall, Inc.
- Wibowo Paryatmo, Turbin Air, Graha Ilmu, Yogyakarta 2007
- www.crayonpedia.Org/Mw/Bab_21_Klasifikasi_Turbin Air Sunyo