

Rancang Bangun Turbin Pelton Kapasitas 270 W Sebagai Alat Peraga Sistem Pembangkit Listrik *Pico Hydro*

Asrori Asrori⁽¹⁾, Thomas Adikusuma⁽²⁾, Eko Yudiyanto⁽³⁾

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9, Kota Malang, Jawa Timur- Indonesia

Email: ¹asrori@polinema.ac.id, ²thomas.ak@gmail.com,
²eko.yudiyanto@polinema.ac.id

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima pada 26 Februari 2022
Disetujii pada 23 Mei 2022
Dipublikasikan pada 31 Mei 2022
Hal. 522-536

Kata Kunci:

Rancangan; alat; peraga; turbin;
pelton; *pico*; *hydro*

DOI:

<http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v7i2.973>

efisiensi sesaat dari alat peraga adalah 60,54 %. Biaya produksi alat peraga turbin pelton ini adalah Rp. 5.370.000,00.

Abstrak: Alat peraga sangat dibutuhkan sebagai instrumen penting pembelajaran. Terutama untuk menunjang mata kuliah praktik mesin konversi energi di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang. Tujuan dari perancangan ini adalah mendesain, menganalisa kekuatan kerangka, membuat, merakit, menghitung biaya produksi dan menguji kinerja alat. Metode rancang bangun dimulai dengan desain gambar teknik menggunakan CATIA V6. Analisis kekuatan profil juga diperlukan, untuk memastikan keamanan alat peraga yang dibuat. Sedangkan perhitungan waktu pemesinan *operating plan* dan *production routing*, merupakan faktor untuk menentukan biaya produksi. Hasil perancangan diperoleh prototipe alat peraga berukuran 1 x 1 x 1,5 m. *Runner* turbin pelton berbahan *Cast Iron* berdiameter 150 mm dengan jumlah sudu 17 buah. Sebuah pompa air 125W/AC dipasang sebagai pembangkit *head* dan debit masukan ke turbin pelton. Sedangkan, generator DC terhubung dengan poros turbin pelton dapat menghasilkan daya maksimum 270 W. Hasil pengujian diperoleh daya luaran generator sebesar 75,68 W, sehingga

PENDAHULUAN

Turbin merupakan bentuk mesin konversi energi yang merubah energi potensial dan energi kinetik air menjadi suatu energi mekanik. Satuan energi mekanik adalah joule atau watt-detik (Sastraadmadja, 1983). Jenis turbin yang digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air banyak variasinya. Salah satunya adalah turbin Pelton, turbin ini termasuk jenis turbin *impuls* yang mengkonversikan energi potensial air sebagai sumber pembangkitan energi (Asrori & Yudiyanto, 2018). Prinsip kerja turbin Pelton adalah membangkitkan tenaga poros dengan memanfaatkan tenaga air. Energi potensial air dikonversikan menjadi energi kinetik oleh nosel ke dalam sudu berbentuk mangkok (*bucket*). Energi mekanik yang dihasilkan oleh sudu turbin digunakan untuk menggerakkan generator listrik (Heni, *et.al*, 2012). Selanjutnya, torsi dan putaran poros turbin akan menentukan daya generator untuk menghasilkan energi listrik mulai dari sekala ratusan hingga ribuan watt. Sekala ratusan watt yang dihasilkan oleh sistem pembangkit tenaga air ini selanjutnya dikenal dengan *pico hydro*. Turbin pelton apabila diaplikasikan untuk *head* potensial yang tinggi (> 50 m), tergolong tipe turbin yang efisiensinya tinggi.

Selain dari segi instalasinya murah, turbin ini mempunyai keunggulan efektifitas tinggi karena dimensinya relatif kecil dibandingkan dengan jenis lain, untuk kapasitas daya luaran yang sama (Hadimi, 2006). Indonesia mempunyai banyak sungai yang berpotensi sebagai sumber PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Sehingga diperlukan kajian, penelitian dan pengembangan yang lebih serius. Hal tersebut akan cepat terealisasi apabila perguruan tinggi berperan aktif untuk mengembangkan metode pembelajaran kepada mahasiswa. Salah satunya adalah dengan kelengkapan alat peraga yang ada di laboratorium (Liem, 2017).

Dalam satu periode terakhir, telah banyak dilakukan pengembangan berbagai alat peraga turbin air terutama untuk jenis turbin pelton pada skala mikro dan *pyco*. Pembuatan prototipe yang disertai dengan pengujian alat pembangkit listrik tenaga pikohidro dilakukan oleh (Sunardi, 2017), hasilnya menunjukkan generator DC mampu menghidupkan beban setara 2 buah lampu 5 W/12 VDC. Sedangkan (Rahmawan, 2018), juga membuat rancang bangun turbin Pelton PLTMH Skala Laboratorium. Rancangan ini menghasilkan luaran daya generator DC antara 25–30 W. Sudu turbin Pelton berbahan *nylon* jenis PA (*PolyAmide*), sedangkan *runner* berdiameter 204 mm dari material baja dengan jumlah sudu sebanyak 25 buah. Penelitian berkaitan dengan perancangan dalam rangka meningkatkan efisiensi turbin pelton juga dilakukan. Sistem transmisi turbin ke generator juga memberikan pengaruh terhadap efisiensi. Modifikasi sistem transmisi *V-belt* pada alat peraga turbin-generator dilakukan oleh (Faizin, 2020), sebagai upaya untuk memvariasikan sistem pengujian daya pada alat peraga. Sehingga dapat dilakukan pengujian daya air (P_{air}), daya mekanis turbin (P_m) dan efisiensi generator. Alat peraga turbin ini menghasilkan daya hanya sekitar 5 W dengan efisiensi 21 %. Selain fokus pada sistem kinerja turbin pelton, kelengkapan monitoring data pengujian juga menjadi hal yang penting. Oleh karena itu (Ramady, *et.al*, 2021), melakukan pengembangan perangkat sensor monitoring arus, tegangan, rpm serta debit air yang dapat dilihat secara *real time* di layar LCD. Alat peraga yang dirancang dapat memberikan informasi data pengukuran putaran generator sebesar 1306 rpm, dengan tegangan output sebesar 17 Volt pada saat tanpa beban, serta menghasilkan putaran 1183 rpm, dengan tegangan *output* sebesar 16 Volt ketika diberikan beban lampu LED 5 Watt. Sedangkan (Setiawan, 2018), membuat sudu turbin dengan metode 3D Printing untuk alat peraga sistem turbin Pelton. Pengujian alat peraga turbin ini hanya menghasilkan variasi debit pancaran dari kran (nosel) dan putaran turbin. Alat peraga yang dikembangkan oleh para peneliti tersebut diatas, rata-rata menghasilkan efisiensi yang rendah dengan daya generator yang relatif kecil. Selain itu dari segi rancangan, sistem alat peraga turbin pelton yang dikembangkan terlalu rumit sehingga biaya produksinya juga mahal. Sementara itu dibutuhkan desain alat peraga sederhana sehingga dapat diproduksi secara masal dan berharga murah, namun dari segi efisiensinya juga tinggi.

Oleh karena itu berdasarkan dari permasalahan tersebut, maka dalam rancang bangun alat peraga ini dikembangkan desain yang sederhana tanpa mengurangi fungsi kinerja turbin pelton, sehingga dapat dihasilkan alat peraga yang murah dan memungkinkan untuk diproduksi masal. Alat peraga pembangkit listrik tenaga air sekala *pyco*, yang dibuat menggunakan jenis turbin pelton dengan daya luaran maksimum generator 270 W. Prototipe ini merupakan alat atau media yang

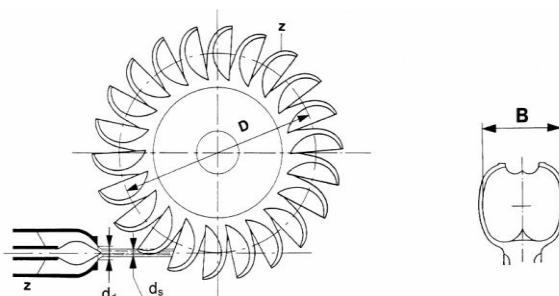
prinsip kerjanya merupakan gambaran dari sistem PLTMH dengan turbin Pelton. Sehingga dalam tujuan penelitian ini adalah membuat desain, menghitung konstruksi, serta melakukan analisis proses dan biaya produksi yang diperlukan untuk membuat alat peraga *pico hydro*.

METODE

Perancangan dan perakitan alat peraga *pico hydro* turbin pelton kapasitas 250 Watt, dilakukan di bengkel produksi Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Analisis dan perhitungan dilakukan untuk dapat dibuat gambar desain sekaligus gambar kerja. Software CATIA V6 digunakan untuk mendesain suatu turbin dan rangka alat peraga. Berikut teori dasar yang digunakan dalam rancang bangun alat peraga turbin pelton *pico hydro*. Sedangkan pengujian kinerja alat peraga ini akan diukur tegangan dan arus dari generator DC, untuk mengetahui daya luaran generator DC tersebut.

A. Perencanaan Sudu Turbin Pelton

Formula yang digunakan dalam menentukan desain suatu turbin pelton ini lebih banyak berbasis rumus empiris sehingga bersifat praktis. Selain itu juga terdapat formula/syarat dasar (*rules of thumb*) yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dimensi turbin (MNRE-India, 2012). Gambar 1 menunjukkan prinsip kerja turbin Pelton.



Gambar 1. Sketsa dimensi *runner* pelton

Turbin Pelton merupakan jenis turbin impuls yang mempunyai satu atau multi nosel, dimana pancaran jet dari nosel tersebut menghantam *bucket runner* sehingga energi kinetik berubah menjadi energi mekanik. Berdasarkan gambar 1, parameter perhitungan dimensi *runner* turbin pelton adalah sebagai berikut;

a) Diameter pancaran jet (d_s).

$$d_s = \sqrt{\frac{4Q}{z\pi}} \times \frac{1}{\sqrt{2gH_n}} \quad (1)$$

Dimana; Q = debit air (m^3/s), H_n = head efektif (m), g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

b) Ukuran *bucket* dan jumlah nosel.

Hubungan lebar *bucket* (B) dengan diameter pancaran jet (d_s), secara empiris mengikuti persamaan (2).

$$3,1 > \frac{B}{d_s} \geq 3,4 \quad (2)$$

dengan ketentuan; $B = 3,1d_s$ untuk 1 nosel, $B = 3,2d_s$ untuk 2 nosel, $B = 3,2d_s$ untuk 4-5 nosel, $B > 3,3d_s$ untuk 6 nosel.

c) Jumlah *bucket* (Z).

Jumlah *bucket* harus memenuhi persamaan, $Z \geq 17$ (empiris).

d) Diameter *pitch runner*.

Persamaan diameter *runner*, secara empiris dapat dituliskan sebagai berikut; $D = 10d_s$ untuk $H_n \leq 500$ m dan $D = 15d_s$ untuk $H_n = 1500$ m. Sedangkan syarat bahwa dimensi maupun putaran yang dihitung memperoleh hasil efisiensi turbin yang terbaik maka berlaku persamaan (3),

$$9,5 < \frac{D}{d_s} < 15 \quad (3)$$

e) *Speed Number* ($\underline{\Omega}$)

$$\underline{\Omega} = \frac{d_s}{D} \sqrt{\frac{\pi z}{4}} \quad (4)$$

dimana z = jumlah nosel, sedangkan maksimum *speed number* turbin pelton saat ini adalah $\underline{\Omega} = 0,22$, atau dengan kata lain *speed number* untuk turbin pelton adalah $\underline{\Omega} \leq 0,22$.

B. Analisis Kekuatan Bahan

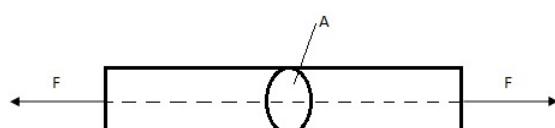
Dalam perencanaan komponen mesin, perlu diketahui bagaimana sifat dan penggunaannya material tersebut. Untuk itu karakteristik atau sifat-sifat mekanis dari material harus dikenal. Sifat mekanis dari material pada umumnya terdiri dari kekuatan dari tegangan tarik, tegangan geser dan tegangan bengkok (Khurmi, 2005).

a) Tegangan tarik

Tegangan tarik digunakan dalam pemilihan bahan dan perencanaan pembuatan mesin. Tegangan tarik dituliskan sebagaimana persamaan (5).

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (5)$$

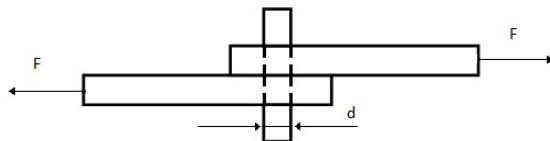
Dimana; σ_t = tegangan tarik (N/mm^2), F = gaya tarik (N), A = luas penampang profil (mm^2). Gambar 2 menunjukkan sketsa tegangan tarik yang terjadi pada material yang timbul karena adanya gaya tarik. Sehingga, kekuatan tarik bahan merupakan kemampuan dari suatu bahan yang mampu menahan gaya beban atau tegangan sehingga tidak membuat bahan tersebut mengalami kerusakan.



Gambar 2. Tegangan tarik

b) Tegangan geser

Tegangan geser timbul akibat adanya gaya geser yang bekerja sejajar dengan penampang bahan. Gambar 3 tampak bahwa tegangan geser mampu digeser oleh suatu material jika diketahui tegangan tariknya.



Gambar 3. Tegangan Geser

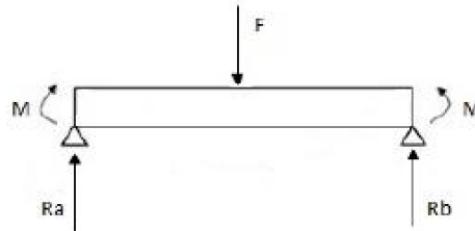
Tegangan geser dapat dituliskan sesuai dengan persamaan (6),

$$\tau_g = (0,5 \div 0,8) \sigma_t \quad (6)$$

Dimana; σ_t = tegangan geser baut (N/mm^2).

c) Tegangan bengkok

Tegangan bengkok merupakan tegangan yang terjadi akibat adanya momen yang menyebabkan benda mengalami bengkok/luntur, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4.



Gambar 4. Tegangan Bengkok

Luasan momen bengkok yang melawan/menahan gaya merupakan momen tahanan bengkok. Sehingga, Persamaan (7) adalah formulasi dari tegangan bengkok.

$$\tau_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (7)$$

Dimana; τ = Tegangan bengkok (N/mm^2), M_b = Momen bengkok (N.mm), W_b = Momen tahanan bengkok (mm^3).

C. Peta Aliran Proses Produksi

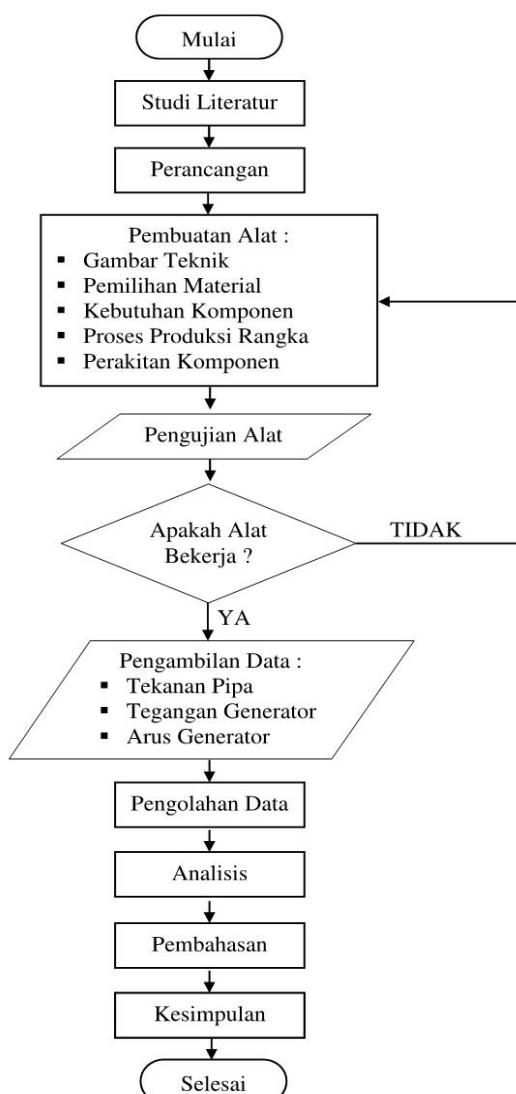
Proses produksi alat peraga ini melibatkan proses pengelasan (*welding*) dan proses pemesinan. Salah satu analisis proses produksi adalah perhitungan waktu pemesinan. Waktu pemesinan adalah banyaknya waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan benda kerja hingga selesai. Waktu pemesinan diperlukan untuk mengetahui seberapa besar biaya yang dikeluarkan dalam proses pembuatan benda kerja. Dalam rangka meningkatkan efektifitas pekerjaan dibutuhkan suatu metode kerja yang berupa peta aliran proses produksi. Peta aliran proses dapat menunjukkan urutan proses; operasi, pemeriksaan, transportasi, menunggu dan

menyimpan yang terjadi selama proses berlangsung (ASME, 1947; Sutalaksana, *et.al*, 1979).

Adapun manfaat-manfaat peta aliran proses: 1) sebagai alat untuk menganalisis serta mendeteksi jumlah aktifitas dan menghilangkan bagian proses yang tidak penting. 2) sebagai data informasi waktu selama penyelesaian pekerjaan. 3) sebagai sumber analisis dan pertimbangan guna perbaikan dan pendayagunaan, 4) dapat mengetahui dimana terjadi ketidakefisienannya dan ketidaksempurnaan kerja dan 5) dapat digunakan sebagai panduan dalam hal *lay out* tempat kerja dan mesin dalam perencanaan sebuah pabrik.

D. Diagram Alir Penelitian

Proses pembuatan dan pengujian alat peraga turbin pelton, ditampilkan dalam diagram alir pada Gambar 5.

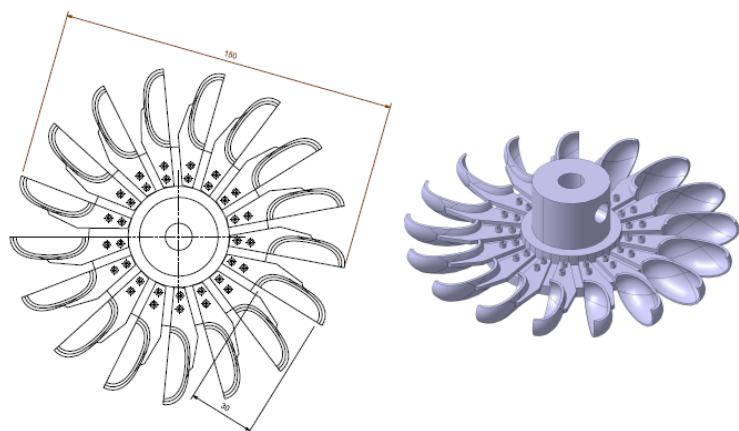


Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan sudu pelton dan rangka konstruksi alat peraga

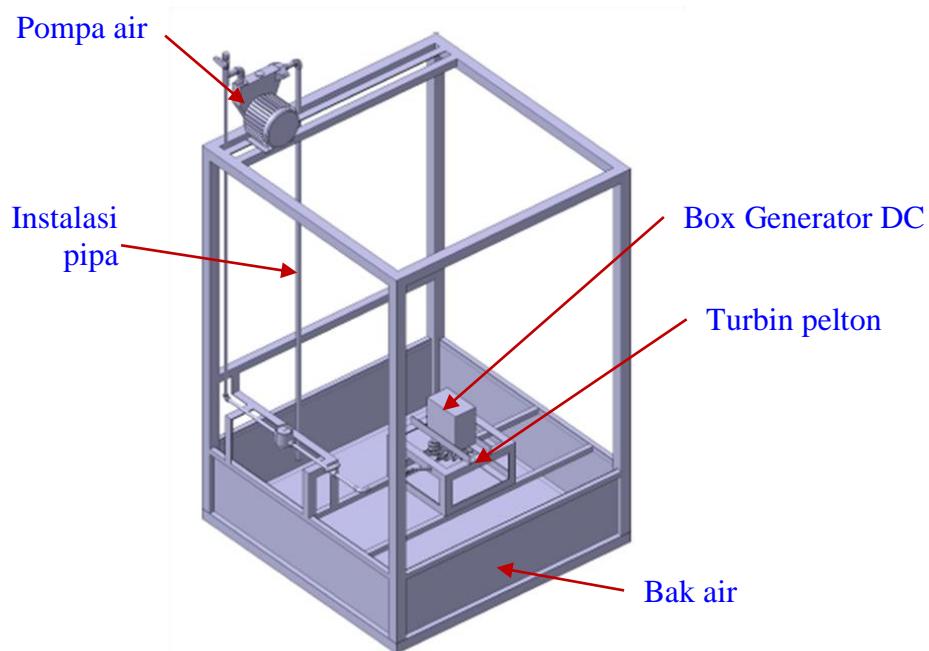
Berdasarkan analisis perhitungan dengan menggunakan *software* CATIA V6 diperoleh gambar desain sudu *runner* yang ditunjukkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Sudu *runner* turbin pelton

Adapun spesifikasi sudu ini adalah sebagai berikut: lebar *bucket*, $B = 30$ mm; diameter sudu, $D_s = 150$ mm; jumlah *bucket*, $Z = 17$. Material dari sudu ini adalah *cast iron*.

Sedangkan hasil desain konstruksi alat peraga turbin pelton ditunjukkan dalam gambar 7.



Gambar 7. Desain konstruksi alat peraga turbin pelton *pico hydro*

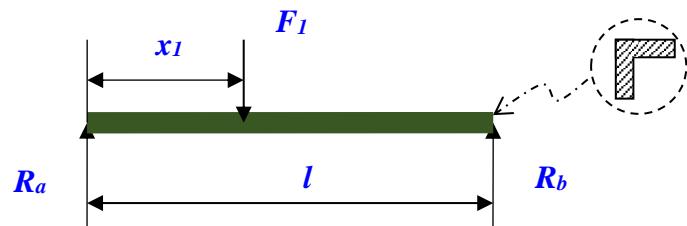
Rangka didesain menggunakan kerangka profil "L" berukuran 30 x 30 x 3 mm. Dimensi kerangka dari alat peraga ini adalah berukuran: lebar = 1000 mm, panjang = 1000 mm dan tinggi = 1500 mm. Bak penampung air didesain dengan kapasitas 250 liter.

B. Analisis konstruksi rangka

Dalam desain rangka alat peraga pico hydro ini material yang digunakan adalah profil L 30 x 30 x 3 (mm) dengan bahan ST-37 dengan kekuatan *yield* $\sigma_y = 21,5 \text{ kg/mm}^2$. Dari gambar 5 tampak bahwa posisi pompa berada diatas rangka profil. Selain itu terlihat generator juga ditumpu oleh profil rangka. Oleh karena perlu dihitung kekuatan dari profil pembebahan untuk memastikan bahwa rancangan yang dibuat mempunyai keamanan. Dimana faktor keamanan (*safety factor*) ini merupakan suatu besaran/faktor yang diperoleh dari perbandingan antara tegangan maksimum dari material komponen mesin dengan tegangan yang terjadi (Zainuri, 2008). Analisis konstruksi ini meliputi perhitungan pembebahan yang terjadi pada profil penumpu pompa dan profil penumpu generator.

C. Perhitungan dan analisis profil penumpu pompa

Berdasarkan spesifikasi pompa yang akan dipasang, berat pompa adalah 5 kg. Sehingga posisi pembebahan diilustrasikan dalam gambar 8.



Gambar 8. Gaya pembebahan pada profil penumpu pompa

Beban pompa ditumpu oleh dua titik (dua profil sejajar) sehingga tiap titik pada sebuah profil mengalami gaya sebesar, $F_1 = 2,5 \text{ kg}$. Sehingga jika syarat kesetimbangan momen adalah, $\sum M = 0$, maka persamaan gaya pada profil adalah,

$$F_1 \cdot x_1 = R_a \cdot l \quad (8)$$

Jika $x_1 = 100 \text{ mm}$ dan $l = 1000 \text{ mm}$ maka diperoleh nilai R_a dan R_b adalah $0,25 \text{ kg}$. Sedangkan momen lentur (M_a) dapat dihitung dari persamaan (9),

$$M_a = F_1 \cdot l = 2,5 \times 100 = 250 \text{ kgmm.} \quad (9)$$

Selanjutnya, untuk menentukan tegangan kombinasi (σ) yang terjadi pada profil L maka ditentukan momen inersia penampang profil (I), tegangan lentur (σ_a), dan tegangan geser (τ) seluas tebal profil (Gbr. 8). Adapun persamaan tersebut diatas dituliskan mulai persamaan (10-13).

$$I = I_u + I_v \quad (10)$$

$$\sigma_a = \frac{M_a \cdot e}{I} \quad (11)$$

$$\tau = \frac{F_1}{A} \quad (12)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau^2} \quad (13)$$

Sedangkan penampang profil L ditunjukkan dalam gambar 6, untuk komponen momen dan titik berat dapat dihitung dengan berdasarkan formulasi tabel momen profil, sehingga besar $I_u = I_v = 14200 \text{ mm}^4$ dan titik berat, $e = 8,44 \text{ mm}$, sehingga dari persamaan 10 diperoleh momen inersia dari profil L yang digunakan adalah $I = 28400 \text{ mm}^4$. Selanjutnya dari persamaan 11-13, dapat diperoleh hasil perhitungan; $\sigma_a = 0,07 \text{ kg/mm}^2$, $\tau = 0,013 \text{ kg/mm}^2$, dan $\sigma = 0,073 \text{ kg/mm}^2$.

Dalam analisis tegangan kekuatan material tersebut diatas, dikatakan “aman” dari segi konstruksi apabila $\sigma_y \geq \sigma$. Hasilnya menunjukkan bahwa $21,5 \geq 0,073 \text{ kg/mm}^2$. Karena tegangan kombinasi (σ) lebih kecil dari tegangan material (σ_y) sehingga kondisi pemberanan pompa pada profil “L” ini adalah sangat aman.

a) Perhitungan dan analisis profil penumpu generator dan turbin

Berdasarkan spesifikasi yang ada diperoleh data berat generator ditambah dengan turbin adalah 3,5 kg. Apabila terdapat dua profil L sejajar yang digunakan sebagai tumpuan, maka gaya yang diterima oleh masing-masing gelagar/batang profil L tersebut adalah 1,35 kg. Ilustrasi pembebanan dan analisis kekuatan material sama dengan analisis di atas, sehingga hasil perhitungan dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan pembebanan generator dan turbin pada profil L.

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
Tegangan yield	σ_y	kg/mm ²	21,5
Luas penampang profil	A	mm ²	180
Momen Lentur	M_a	kg.mm	130
Momen Inersia	I	mm ⁴	28400
Tegangan Lentur	σ_a	kg/mm ²	0,04
Tegangan Geser	τ	kg/mm ²	0,007
Tegangan kombinasi	σ	kg/mm ²	0,041

Hasil perhitungan analisis tegangan kekuatan material pada tabel 1 diketahui bahwa $\sigma_y \geq \sigma$ yaitu $21,5 \geq 0,041 \text{ kg/mm}^2$. Karena tegangan kombinasi (σ) lebih kecil dari tegangan material (σ_y) maka kondisi pemberanan generator dan turbin pada rangka profil “L” ini adalah sangat aman.

D. Waktu pemesinan

Untuk mengetahui biaya pemesinan diperlukan beberapa aspek, yaitu waktu pengerjaan menggunakan proses pemesinan (gerinda, bor, *welding*), dan waktu pengerjaan tanpa menggunakan mesin (*bending plat*). Semua proses perhitungan

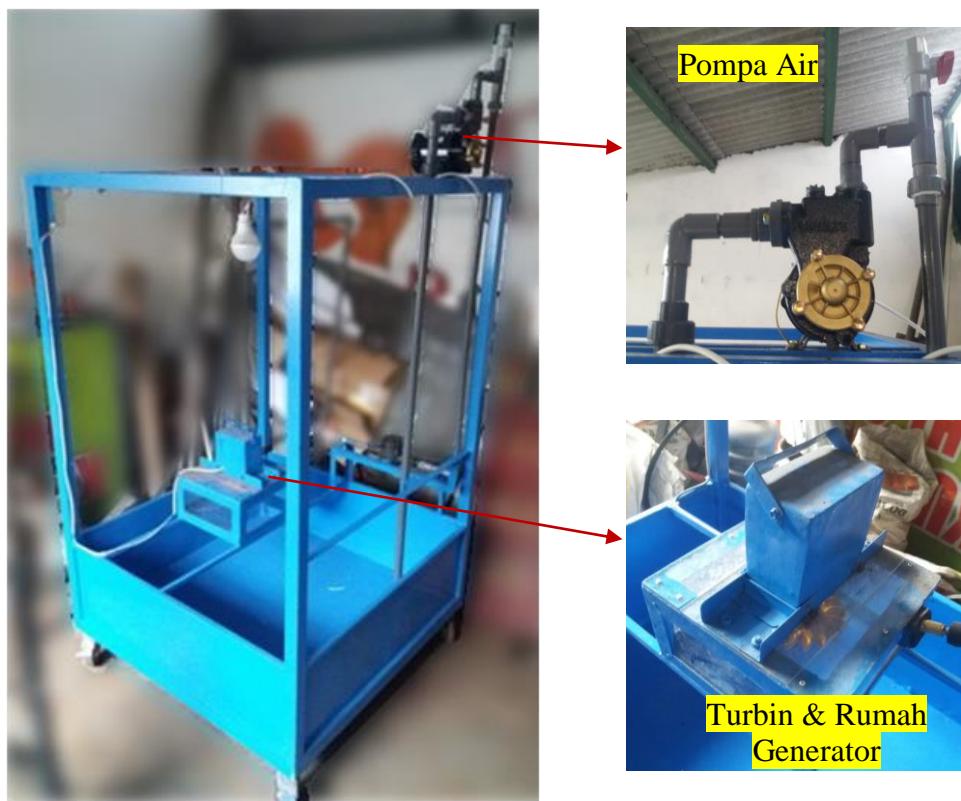
waktu pengerjaan berdasar formulasi standar perhitungan waktu pemesinan, misalkan dalam proses pengeboran diperlukan data-data; diameter bor, kedalam pengeboran, *cuting speed, feeding* dll. Oleh karena itu, jenis pekerjaan dan waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan kerangka dari alat peraga turbin pelton ini, dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Waktu pemesinan alat peraga *pico hydro*

No.	Nama Pengerjaan	Waktu (menit)
1.	Waktu pemesinan pemotongan bahan	126
2.	Waktu pemesinan penekukkan plat	12
3.	Waktu pengeboran	26
4.	Waktu pemesinan pengelasan bahan	288
	Jumlah	452

E. Perakitan dan spesifikasi alat peraga

Desain dan proses pengerjaan pemesinan kerangka, diperoleh dimensi keseluruhan dari alat peraga turbin pelton yaitu untuk ukuran panjang x lebar x tinggi adalah 1000 x 1000 x 1500 mm. Rangka ini berfungsi menyatukan komponen utama (Tabel 3) pada posisi masing-masing sehingga membentuk alat peraga *pico hydro*, seperti yang tampak dalam gambar 9.



Gambar 9. Prototipe alat peraga turbin Pelton

Tabel 3. Spesifikasi komponen utama alat peraga

No.	Nama Komponen	Foto Alat	Spesifikasi Teknis
1.	Pompa Air		Model : PS-116 BIT H_{isap} : maks. 9 m Q : 10 – 24 l/min H_{buang} : 22 m P : 220 V/125 W
2.	Turbin pelton		Lebar <i>bucket</i> : 30 mm ϕ Sudu : 150 mm Jumlah <i>bucket</i> : 17 Bahan : Cast Iron
3.	Generator		Voltage : 12–18VDC Current : 15A P_{max} : 270 Watt Dimensi : 105x 85 mm ϕ poros : 12 mm
4.	Nosel		Diameter : 1/2 inchi Panjang : 100 mm Bahan : kuningan

F. Estimasi biaya produksi alat peraga

Estimasi biaya ini meliputi semua biaya yang diperlukan selama proses pembuatan alat, yaitu: biaya bahan baku, biaya sewa mesin, dan biaya operator. Tabel 3 merupakan kompilasi dari semua perhitungan komponen biaya yang telah dihitung secara detail.

Tabel 3 Biaya Pembuatan alat peraga turbin pelton

No.	Jenis biaya	Harga
1.	Biaya bahan baku	Rp 4.012.000,00
2.	Biaya sewa mesin	Rp 209.000,00
3.	Biaya operator	Rp 75.000,00
4.	Biaya Perakitan	Rp 1.074.000,00
	Total	Rp 5.370.000,00

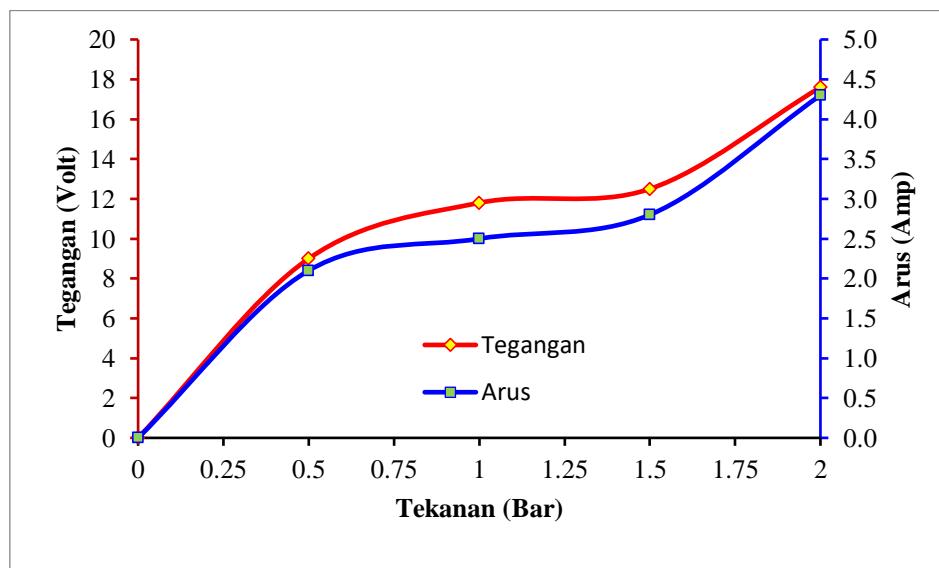
G. Pengujian kinerja alat peraga

Pengujian alat peraga turbin pelton *pico* ini dilakukan hanya sebatas pada pengecekan kinerja dari fungsi alat peraga secara keseluruhan. Cara kerja alat ini adalah sebagai berikut:

1. Pompa air sebagai simulator yang berfungsi untuk suplai energi masukan pada turbin. Pompa dapat menghasilkan *head* (H) dan debit (Q). Dua variabel inilah yang dalam kondisi sebenarnya merupakan energi potensial tenaga air. Dalam

- pengujian pada alat peraga, sebuah alat ukur *pressure gauge* dan *flowmeter* dapat dipasang pada instalasi pipa untuk mengetahui kedua parameter diatas.
2. Pengaturan *head* dan debit dapat diatur dengan pemasangan *valve*/katub/kran pada pipa. Bukaan katub akan menetukan volume aliran dan kecepatan air yang menuju ke turbin.
 3. *Nozzle* dalam alat peraga ini menggunakan *water jet spray* yang berfungsi merubah *head* dan debit air dari pompa yang melalui pipa menjadi energi kinetik.
 4. *Runner* turbin pelton akan berputar, akibat adanya semprotan air dari nosel yang menghantam sudu-sudu turbin pelton. Kecepatan putar ini akan dipengaruhi dari kecepatan pancaran air dari nosel. Pengujian ini dapat dilakukan dengan merubah posisi bukaan katub/kran yang terpasang pada pipa *input* yang menuju turbin. Dengan melihat tekanan dari *pressure gauge* (alat ukur tekanan) yang terpasang pada pipa, maka *head* bisa diketahui. Sedangkan debit dapat dicek dari *flowmeter* yang terpasang. Selain itu, untuk pengujian putaran turbin dapat diukur dengan alat ukur *tachometer*.
 5. Generator DC yang terkoppel langsung dengan poros turbin pelton akan berputar sesuai dengan kecepatan putar dari turbin tersebut. Pengukuran tegangan (*V*) dan arus (*A*) dari generator dapat dilakukan dengan *multimeter*.

Selanjutnya dari gambar 8 dan 9 dapat ditunjukkan hasil pengujian generator turbin pelton dengan memvariasikan bukaan katub/kran air. Parameter yang diukur adalah tegangan dan arus DC yang dihasilkan oleh generator. Pengujian dengan tegangan dan arus yang dilakukan pada generator DC ditunjukkan dalam Gambar 8 berikut,



Gambar 8. Hasil pengukuran tegangan dan arus untuk berbagai variasi tekanan

Grafik yang ditunjukkan dalam gambar 8, tampak bahwa kenaikan tekanan pada pipa akan meningkatkan arus dan tegangan keluaran generator. Tekanan dalam pipa pada prinsipnya menunjukkan adanya energi tekanan. Dimana energi

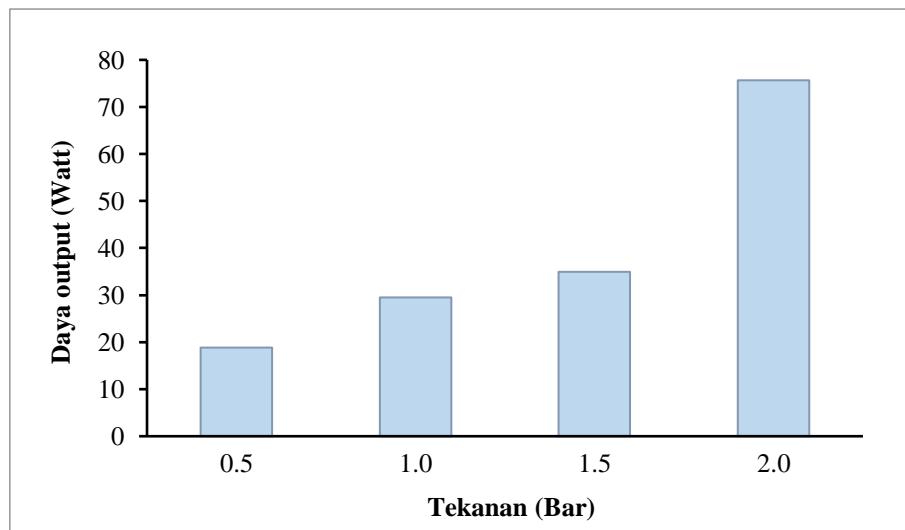
tekanan ini ada hubungannya dengan energi potensial berupa *head* dan energi kinetik yang terkandung dalam debit (Siswadi,2015; Wahyudi, D., 2019). Pada pengujian untuk bukaan katub penuh, dengan tekanan pipa 2 Bar diperoleh tegangan dan arus generator DC masing-masing sebesar 17,6 V dan 4,3 Amp.

Hasil pengujian tegangan dan arus dari gambar 8, akan diperoleh daya *output* generator, dengan menggunakan persamaan (14).

$$P = V \times A \quad (14)$$

Dimana; P = daya output generator DC (Watt), V = Tegangan (Volt), I = Arus listrik (Amp). Sehingga dari hasil pengujian diperoleh grafik pada gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan bahwa pada besar kecilnya pengaturan bukaan katub akan merubah tekanan pada pipa. Semakin besar tekanan pipa akan meningkatkan kecepatan aliran semprotan dari nosel. Sehingga dengan kenaikan energi kinetik semprotan air dari nosel akan meningkatkan putaran turbin dan generator. Hasil pengukuran tegangan dan arus listrik dari generator, dapat dihitung daya luaran berdasarkan persamaan 14. Pada kondisi tekanan maksimum, sebesar 2 Bar diperoleh daya *output* generator sebesar 75,7 Watt.



Gambar 9. Hubungan tekanan pengujian terhadap daya generator

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan (Gambar 9) maka efisiensi sesaat (η_s) kinerja turbin pada alat peraga ini dapat ditentukan berdasarkan persamaan 15 (Vika, *et.al*, 2018).

$$\eta_s = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{pompa}}{P_{generator}} \quad (14)$$

Dimana; $P_{out} = P_{generator}$ yaitu daya yang dihasilkan oleh generator DC (Watt), $P_{in} = P_{pompa}$ yaitu daya listrik yang dibutuhkan pompa (Watt). Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi sesaat dari kinerja alat peraga turbin pelton ini adalah,

$$\eta_s = \frac{75,7}{125} = 0,6056$$

Jadi, efisiensi sesaat ketika dilakukan penelitian dari kinerja alat peraga turbin pelton pico ini adalah sebesar 60,56 %.

KESIMPULAN

Rancang bangun yang dihasilkan adalah berupa alat peraga pembangkit listrik *pico hydro* menggunakan turbin pelton, dengan dimensi alat 1000 x 1000 x 1500 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan pada pipa akan meningkatkan putaran turbin dan generator, sehingga daya generator juga meningkat. Efisiensi sesaat kinerja alat peraga ini sebesar 60,56 %. Total biaya untuk pembuatan alat peraga *pico hydro* dengan turbin pelton kapasitas 270 watt adalah Rp. 5.370.000,00.

SARAN

Peningkatan efisiensi turbin dapat dilakukan dengan perbaikan desain dan perlakuan posisi dari nosel. Pengujian lebih lengkap apabila dilakukan pengujian putaran poros turbin/generator.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang atas fasilitas dan dukungannya.

DAFTAR RUJUKAN

- ASME. (1947). *Operation and flow process charts*. New York : The American society of mechanical engineers.
- Asrori, A. & Yudiyanto, E. (2018). Perencanaan Turbin Air Kapasitas 2 x 1 MW di PLTM Cianten 1 Kabupaten Bogor. *JETM: Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, 01(01): 31–39.
- Faizin, A.F., Aziz, A., & Rey, P. D. (2020). Perbaikan Dan Modifikasi Turbin Air Pelton dengan Menggunakan Generator DC untuk Alat Praktikum Di Laboratorium. *Jurnal Baut dan Manufaktur*, 02(01): 33-38.
- Hadimi, Supandi, & Rohermanto, A. (2006). Rancang bangun model turbin Pelton mini sebagai media simulasi/praktikum mata kuliah konversi energi dan mekanika fluida. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 9 (1): 16–24.
- Heni, A.A., Ardianto, B., Manatar, J. , & Pradana, M. D. (2012). Rancang bangun alat peraga simulasi pembangkit listrik tenaga piko-hidro menggunakan model turbin pelton. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta*.
- Khurmi, R.S. (2005). *Applied Mechanics and Strength of Materials*, New Delhi: S Chand & Co Ltd.
- Liem, Surianto B. (2017). Analisis Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton. *Jurnal Voering*, 2(1): 53-61. doi:10.32531/jvoe.v2i1.64.
- MNRE India, (2012). Guidelines for Specifications for Procurement of SHP Generating Equipment. *Standards/Manuals/Guidelines For Small Hydro Development*, Indian Institute of Technology Roorkee.

- Rahmawan, H.A. (2018). *Rancang Bangun Turbin Pelton Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH)* Skala Laboratorium. Surabaya: Tugas Akhir. Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ramady, G.D, Sungkar, M.S., Mahardika, A.G., Fadriani, H., & Mutaqin, A.H. (2021). Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Berbasis Kontrol Arduino UNO. *Jurnal POLEKTRON: Jurnal Power Elektronik*, 10(2): 91-96.
- Sastraatmadja, A. S. (1983). *Mekanika fluida & hidrolik*, Bandung: Nova.
- Setiawan, R. (2018). *Rancang Bangun Alat Peraga Sederhana Sistem Turbin Pelton dengan Mengaplikasikan CAD/CAM dan 3D Printing*. Yogyakarta: Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
- Siswadi, (2015). Analisis Tekanan Pompa terhadap Debit Air. *Jurnal Sistem*, 11(3): 39-46
- Sutalaksana, I.Z., Ruhana,A., & John,H.T. (1979). *Teknik Tata Cara Kerja*. Bandung: Jurusan Teknik Industri (ITB).
- Sunardi, I. A. (2017). *Pembuatan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro*. Yogyakarta: Proyek Akhir. Fakultas teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Vika, K.D.K, Weiking, A.I., & Jasa, L. (2018). Studi Analisis Pengaruh Perubahan Posisi Nozzle Terhadap P_{out} Pada Prototipe PLTMH, *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(2): 251-256
- Wahyudi, D., (2019). Perbandingan Head dan Kapasitas Pompa Sentrifugal Tunggal dan Seri. *Energy : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 9 (1).
- Zainuri, A.M., (2008). *Kekuatan Bahan*, Yogyakarta : Andi Offset