

Perancangan Model Sistem Pembangkit Listrik Menggunakan Turbin Aliran Silang

Jorfri Boike Sinaga*, Novri Tanti dan Sutran Erwiyantoro

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung (UNILA)
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145

*E-mail korespondensi: jorfri6@yahoo.com

Abstrak. Listrik saat ini telah menjadi salah satu kebutuhan manusia yang wajib untuk dipenuhi. Ketersediaan bahan bakar fosil sebagai sumber utama penghasil listrik semakin menurun seiring meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk. Upaya yang dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik adalah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Salah satu dari sumber energi terbarukan yang tersedia melimpah di Indonesia adalah energi aliran air yang dapat dimanfaatkan untuk sistem pembangkit listrik. Sebagai mahasiswa Teknik Mesin, kontribusinya sangat diharapkan dalam melakukan pengembangan sumber energi terbarukan sehingga mampu mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Pengenalan prinsip kerja dari turbin aliran silang dan sistem pembangkit listrik sangat diperlukan sehingga menjadi bekal pengetahuan untuk mahasiswa sebelum mereka menerapkannya secara langsung di lapangan. Pada makalah ini akan dibahas mengenai perancangan model sistem pembangkit listrik yang meliputi perancangan runner turbin aliran silang, poros, nosel, transmisi dan generator.

Kata kunci: Turbin Aliran Silang, Mikro hidro, Energi terbarukan, Pembangkit listrik,

1. Pendahuluan

Krisis energi yang terjadi saat ini membuat banyak penelitian dilakukan untuk menemukan sumber energi terbarukan yang mampu menggantikan penggunaan batu bara dan minyak bumi. Hal ini berkaitan dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia akan energi sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Penggunaan energi fosil juga dapat menimbulkan dampak baru, yaitu pemanasan global (*global warming*). Sumber energi terbarukan adalah energi yang berasal dari alam, salah satunya adalah air. Air merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang mempunyai potensi besar untuk dimanfaatkan, khususnya di Negara Indonesia. Iklim tropis dengan curah hujan tinggi yang dimiliki Indonesia menyebabkan negara ini memiliki sumber air yang melimpah. Indonesia dengan ratusan sungai dan air terjunnya dapat dimanfaatkan untuk menciptakan *hydropower*. Tenaga air atau *hydropower* merupakan suatu sistem yang menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan aliran air.

Air merupakan potensi sumber energi yang besar, di dalam air mengandung energi potensial dan energi kinetik. Energi potensial air berasal dari adanya beda ketinggian pada air jatuh sedangkan energi kinetik air berasal dari kecepatan air mengalir. Energi tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi mekanis yang selanjutnya dapat diubah untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan kincir air atau turbin air. Pemanfaatan sumber energi air sudah banyak dilakukan namun mayoritas dilakukan dalam skala besar. Dengan banyaknya sungai dan air terjun di Indonesia maka potensi untuk membangun sistem pembangkit listrik skala kecil sangat mungkin untuk dimaksimalkan. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

atau Pembangkit Listrik Tenaga Nano Hidro (PLTMH) merupakan salah satu contoh sistem pembangkit listrik skala kecil dengan memanfaatkan putaran turbin yang sudah mulai banyak dikembangkan.

Sebagai mahasiswa Teknik Mesin maka kontribusinya sangat diharapkan dalam pengembangan sistem pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi terbarukan di Indonesia. Pengenalan prinsip kerja dari turbin aliran silang (*crossflow*) dan sistem pembangkit listrik sangat diperlukan sehingga menjadi bekal pengetahuan untuk mahasiswa sebelum mereka menerapkannya secara langsung di lapangan. Perancangan dan pembuatan model sistem pembangkit listrik skala laboratorium dengan menggunakan turbin aliran silang ini diharapkan mampu untuk membantu mahasiswa memahami konsep dan prinsip kerja sistem pembangkit yang telah diajarkan pada matakuliah Mekanika Fluida dan Mesin-Mesin Fluida.

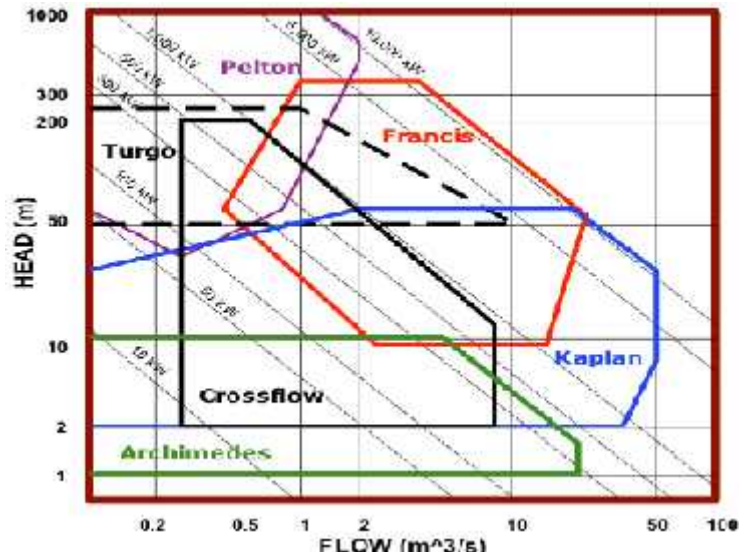
Turbin yang dipilih dalam pembuatan model sistem pembangkit ini berupa turbin aliran silang atau turbin *crossflow*. Turbin ini adalah salah satu turbin yang banyak digunakan dan diaplikasikan dalam sistem pembangkit. Turbin *crossflow* banyak mendapat perhatian karena dapat diaplikasikan pada rentang debit aliran dan *head* yang lebih luas. Selain itu, turbin *crossflow* juga memiliki kemudahan dalam proses perancangan dan pembuatan serta lebih unggul dalam segi harga. Oleh karena itu yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah melakukan perancangan model pembangkit listrik dengan memperhatikan parameter-parameter yang menjadi dasar perancangan turbin aliran silang, yaitu debit aliran dan tinggi jatuh air.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Turbin Air

Kata "*turbine*" ditemukan oleh seorang insinyur Perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad 19, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "*whirling*" (putaran) atau "*vortex*" (pusaran air). Turbin secara umum adalah sebuah elemen mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Dalam suatu sistem pembangkit listrik, turbin merupakan salah satu peralatan utama. Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Fungsi turbin pada pembangkit hidro sendiri adalah untuk mengubah energi potensial menjadi energi kinetik, gaya jatuh air yang mendorong sistem baling-baling menyebabkan turbin berputar. Perputaran turbin ini kemudian dihubungkan dengan generator sehingga akan menghasilkan listrik. Turbin air dapat dikelompokkan menjadi turbin impuls dan turbin reaksi (Arismunandar, 2004).

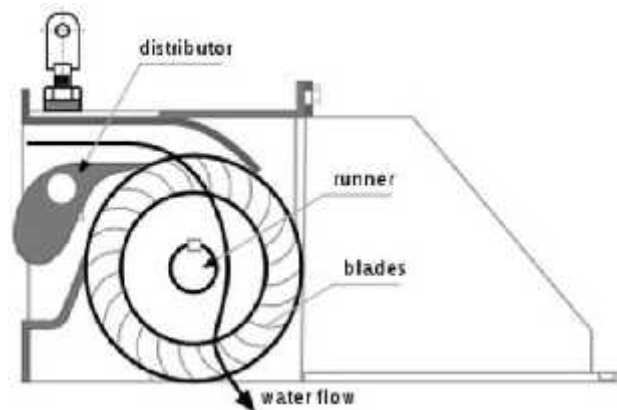
Debit aliran dan tinggi air jatuh adalah faktor yang paling dominan dalam mempengaruhi pemilihan jenis turbin yang akan digunakan. Debit air yang besar pada tinggi jatuh (*head*) tertentu akan membutuhkan turbin dengan ukuran turbin yang besar, sedangkan untuk *head* yang besar pada debit air tertentu membutuhkan ukuran turbin yang kecil. Setelah mengetahui besarnya debit dan *head*, maka jenis turbin dapat dipilih berdasarkan pada grafik pada gambar 1 (Permina, 2013):



Gambar 1. Diagram pemilihan turbin

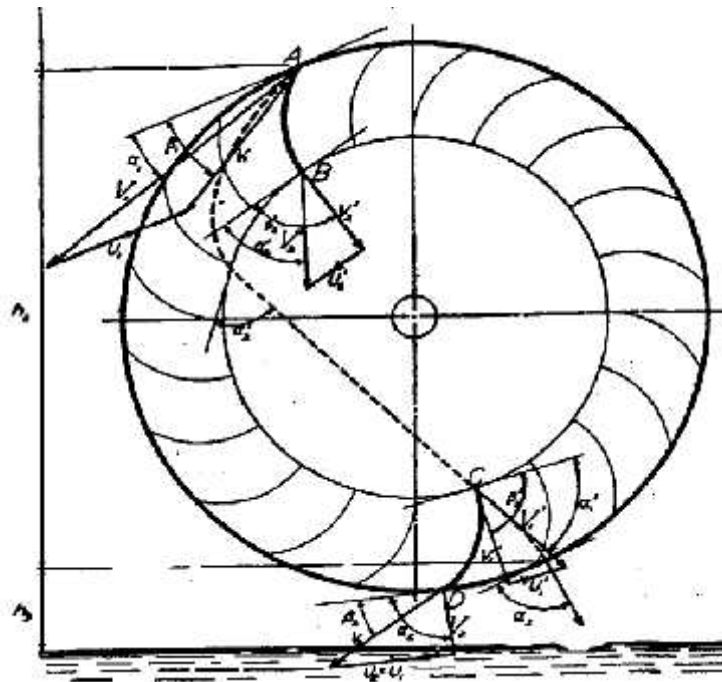
2.3 Turbin Aliran Silang (*Cross-flow Turbine*)

Turbin aliran silang ditemukan oleh insinyur berkebangsaan Australia bernama A. G. M. Michell pada tahun 1903. Kemudian dikembangkan oleh insinyur dari Jerman Barat yaitu Prof. Donat Banki, sehingga turbin *cross-flow* juga dikenal dengan turbin Michell-Banki. Pada tahun 1933, seorang ilmuwan bernama Ossberger juga mematenkan turbin yang memiliki prinsip yang hampir sama (Arismunandar, 2004).



Gambar 2. Skema turbin aliran silang

Skema dasar diagram kecepatan pada turbin aliran silang dapat dilihat pada gambar 3. Energi kinetik air dengan kecepatan V_1 masuk kedalam *runner* dengan menumbuk sudu masuk (*inner blade*) pada titik A pada sudut α_1 . Kecepatan relatif air, v_1 , dapat diketahui apabila u_1 , kecepatan keliling *runner* telah diketahui.



Gambar 3. Diagram kecepatan pada turbin aliran silang.

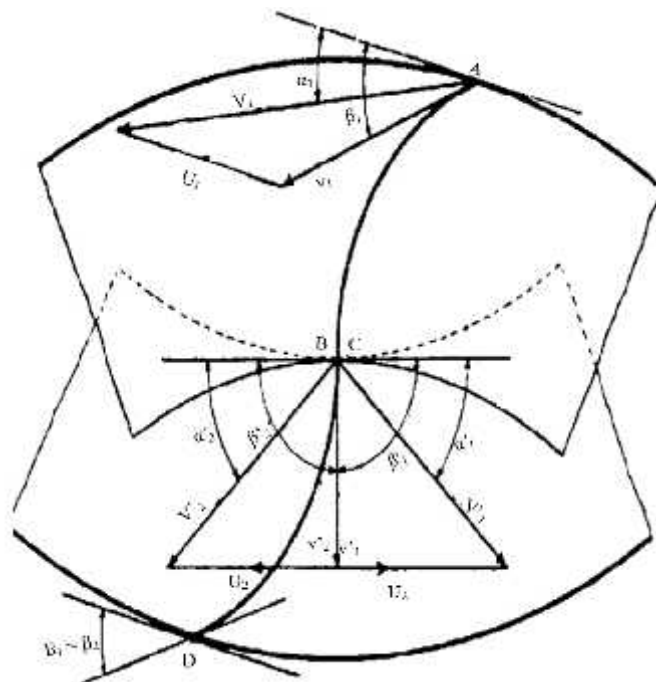
Besarnya kecepatan air yang masuk ke *runner*, V_1 , dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$V_1 = \frac{C}{\sqrt{2gH}} \quad (1)$$

dimana C adalah koefisien dari nosel, g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), dan H adalah tinggi jatuh air atau *head* (m).

Untuk mendapat efisiensi yang maksimum, maka sudut sudu harus sama dengan sudut antara dua kecepatan yang berkerja pada sisi masuk, α_1 . Jika AB adalah sudu, maka kecepatan relatif air pada sisi keluar sudu masuk, v_2' , dan kecepatan keliling *runner*, u_2' , membentuk sudut α_2' . Kecepatan mutlak air pada sisi keluar sudu masuk, V_2' , dapat ditentukan apabila ketiga parameter tersebut telah diketahui. Jika diasumsikan tidak ada perubahan V_2' , maka sudut antara kecepatan absolut dan kecepatan keliling adalah α_2 . Titik C, dimana aliran air kembali menumbuk sudu pada sisi masuk sudu keluar dapat diketahui. Pada sudu keluar, CD, dari titik C ke D berlaku ketentuan berikut:

- $\alpha_1' = \alpha_2'$
- $V_1' = V_2'$
- $u_1 = u_2$



Gambar 4. Segitiga kecepatan gabungan.

Gambar 4, menunjukkan sudu masuk dan sudu keluar berhimpit pada titik B dan C. Untuk mendapatkan aliran radial, maka sudut yang digunakan adalah 90° . Diasumsikan bahwa sudut $\alpha_2 = 90^\circ$ tidak berhimpit dengan sudut sudu turbin sehingga tidak terjadi rugi-rugi akibat tumbukan tiba-tiba. Oleh karena itu, sudut keluar yang umum digunakan pada perancangan sudu turbin aliran silang adalah sama dengan atau lebih besar dari 90° .

2.3 Efisiensi Turbin

Daya pengereman turbin dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$HP = (\dot{w}_2/g)(V_1 \cos \alpha_1 + v_1 \cos \beta_1) \quad (2)$$

dengan diketahui bahwa $V_2 \cos \alpha_2 = v_2 \cos \beta_2 - u_1$ dan $v_1 = (V_1 \cos \alpha_1 - u_1) / (\cos \beta_1)$, maka persamaan *horsepower* didapatkan:

$$HP = (\dot{w}_2/g)(V_1 \cos \alpha_1 - u_1) \times (1 + \psi \frac{V_1 \cos \alpha_1 - u_1}{V_1 \cos \alpha_1 - u_1}) \quad (3)$$

Dimana ψ adalah koefisien empiris dengan nilai 0.95 - 0.98. Sedangkan daya *input* teoritis yang berasal dari tinggi jatuh air dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$HP_{teoritis} = \frac{\dot{w}_2}{g} H = \frac{\dot{w}_2}{g} \frac{V_1^2}{2g} \quad (4)$$

Sehingga untuk menghitung efisiensi turbin e , didapatkan dengan membandingkan antara daya output dan daya input. Efisiensi turbin didapatkan dengan persamaan berikut:

$$e = \frac{HP}{HP_{teoritis}} = \frac{(\dot{w}_2/g)(V_1 \cos \alpha_1 - u_1) \times (1 + \psi \frac{V_1 \cos \alpha_1 - u_1}{V_1 \cos \alpha_1 - u_1})}{\frac{\dot{w}_2}{g} \frac{V_1^2}{2g}} \quad (5)$$

3. Metode Penelitian

Tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu, melakukan pengukuran terhadap dimensi pipa pesat dan tinggi jatuh air (*head*) dari model sistem pembangkit listrik. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk mendapatkan besarnya debit aliran yang dapat dimanfaatkan dengan memperhatikan kerugian-kerugian pada pipa. Pengukuran diameter pipa pesat dan tinggi *headsistem* pembangkit dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa meteran.

Setelah melakukan pengukuran, didapatkan diameter pipa pesat, yaitu sebesar 3 inci dan tinggi *head*, yaitu 2 meter. Dengan menggunakan data hasil pengukuran tersebut maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan debit aliran yang melalui pipa. Data yang diperoleh tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan perancangan komponen-komponen turbin sehingga mendapatkan turbin dengan efisiensi yang tinggi.

3.1 Perancangan Pipa Pesat

Pipa pesat (*penstock*) adalah komponen sistem pembangkit yang berfungsi untuk mengalirkan air menuju turbin dengan debit yang stabil. Untuk mendapatkan diameter pipa pesat yang tepat, dilakukan dengan melakukan penurunan terhadap persamaan daya, P, sehingga didapatkan kondisi optimal (Sinaga, dkk., 2016).

$$\frac{dP}{dQ} = \frac{1}{Q} \left[H_{kotor} - \left(f \frac{L}{D} + K \right) \frac{Q^2}{A^2 2g} \right] = 0 \quad (6)$$

dimana f, adalah koefisien gesek, L, adalah panjang pipa pesat (m) dan K, adalah koefisien *minor losses* untuk kondisi pada bagian masuk (*enterence*) dan *valve*. Sehingga besarnya nilai diameter pipa pesat, D, didapatkan dengan menggunakan persamaan 7.

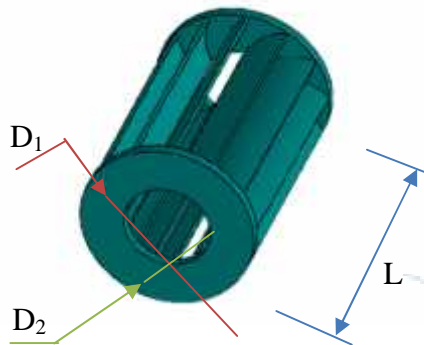
$$D = \sqrt[5]{\frac{24 \cdot \left(f \frac{L}{D} + K \right) \cdot Q^2}{H_{kotor} \cdot \pi^2 \cdot g}} \quad (7)$$

Karena pada penelitian ini diameter pipa pesat telah ditetapkan sebesar 3 inci maka persamaan 7 digunakan untuk mengetahui besarnya debit aliran dalam pipa. Sedangkan untuk aliran turbulen, koefisien gesek didapatkan dengan persamaan Darcy. Sebelum melakukan perhitungannya nilai koefisien gesek, terlebih dahulu harus mengetahui besarnya nilai kekasaran pipa, ϵ , dan nilai diameter pipa, d. Selanjutnya metode iterasi digunakan untuk mengetahui besarnya koefisien gesek, f, dengan menggunakan persamaan Colebrook (Pritchard, 2011).

$$\frac{1}{f^{1/2}} \approx -1,8 \log \left[\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,5}{Re \sqrt{f}} \right] \quad (8)$$

3.2 Perancangan *Runner*

Runner adalah komponen turbin aliran silang yang fungsinya adalah mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Pada penelitian kali ini *runner* dibuat dengan menggunakan pipa besi yang dibelah.



Gambar 5. *Runner* turbin.

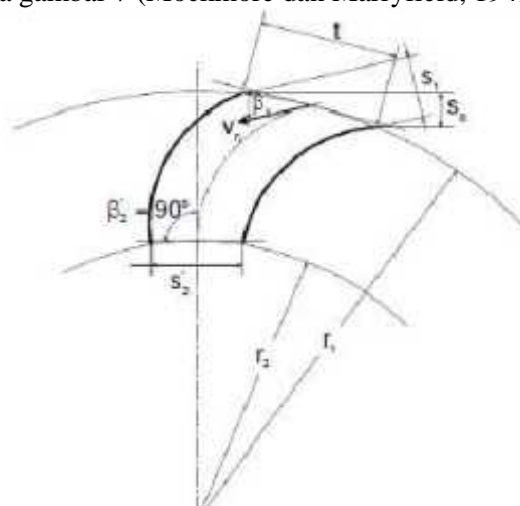
Dimana L , adalah panjang *runner*(m), D_1 , adalah diameter luar (m), D_2 , adalah diameter dalam (m). Rasio antara panjang dan diameter luar *runner*didapatkan dengan persamaan 9, sedangkan besarnya D_2 adalah $2/3 D_1$.

$\frac{L}{D_1} = \dots$	(9)
-------------------------	-----

Parameter selanjutnya yang perlu diperhatikan adalah tebal semburan nosel. Parameter ini dihitung dengan menggunakan persamaan 10 berikut:

\dots	(10)
---------	------

Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 7 (Mockmore dan Marryfield, 1949).

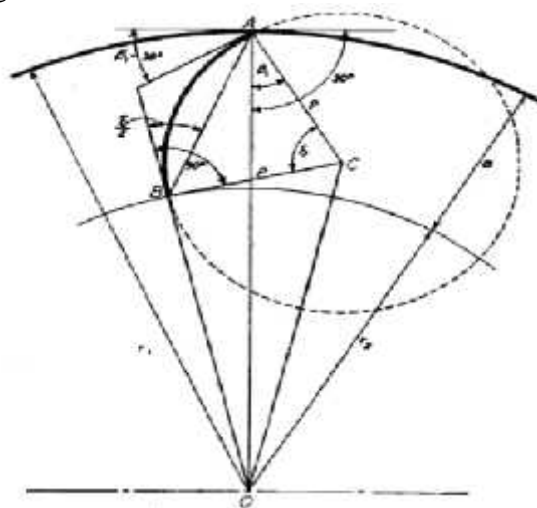


Gambar 6. Jarak antar sudu.

Berdasarkan nilai tebal semburan nosel, dapat diketahui jarak antar sudu dengan persamaan 11.

$\frac{r_b}{r_a} = \frac{2 \cdot r_a \cdot \sin \beta_1}{2 \cdot r_a \cdot \sin \beta_1} \quad (11)$
--

Salah satu parameter yang penting untuk diketahui adalah jari-jari kelengkungan sudu, parameter ini diperlukan untuk memudahkan pada saat pembuatan sudu *runner* menggunakan pipa besi yang dibelah. Besarnya diameter pipa yang dipilih untuk membuat sudu *runner* ditentukan berdasarkan jari-jari kelengkungan sudu.



Gambar 7. Jari-jari kelengkungan sudu

Berdasarkan gambar 7, dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$\frac{r_a^2}{2} + \frac{r_b^2}{2} = \frac{r_a^2}{2} + \frac{r_b^2}{2} - 2 \cdot \frac{r_a}{2} \cdot \frac{r_b}{2} \cdot \cos \beta_1 \quad (12)$

Jika diketahui bahwa perbandingan atau rasio diameter dalam dan diameter luar adalah 2/3 maka jari-jari kelengkungan sudu, r_b , didapatkan dengan persamaan berikut:

$r_b = \frac{2 \cdot r_a \cdot \sin \beta_1}{2 \cdot r_a \cdot \cos \beta_1} \quad (13)$
--

Untuk menentukan jumlah sudu dapat menggunakan persamaan berikut:

$\frac{C_1}{Z} = \frac{2 \cdot r_a \cdot \sin \beta_1}{2 \cdot r_a \cdot \sin \beta_1} \quad (14)$
--

3.3 Perancangan Poros

Pada turbin aliran silang, poros berfungsi untuk meneruskan tenaga dengan putarannya. Poros menjadi sangat riskan karena terdapat beban berkerja, yaitu beban puntir dan beban lentur. Perhitungan torsi wajib dilakukan untuk menghindari terjadinya patah. Adapun persamaan untuk menghitung torsi dan momen puntir pada poros dapat menggunakan persamaan-persamaan berikut (Sularso, 1987):

$\frac{C_1}{Z} = \frac{2 \cdot r_a \cdot \sin \beta_1}{2 \cdot r_a \cdot \sin \beta_1} \quad (15)$
--

$$\tau_{maks} = \frac{T_e}{J} \cdot r \quad (16)$$

Setelah mengetahui besarnya torsi maka tahap selanjutnya adalah menentukan besarnya dimensi poros. Apabila poros dikenai beban geser maka diameter ditentukan dengan persamaan berikut:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 T_e}{\pi \tau_{maks}}} \quad (17)$$

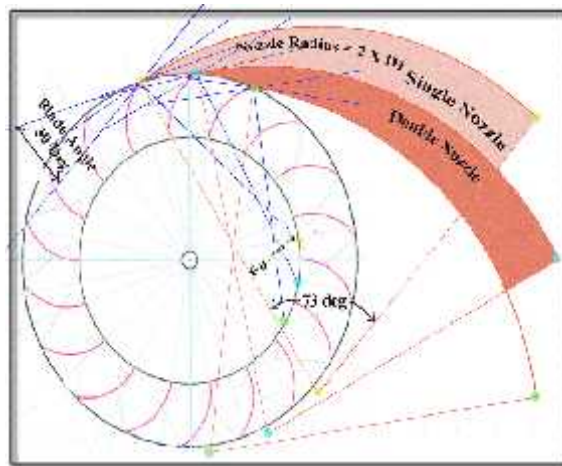
dimana τ_{maks} adalah tegangan geser ijin maksimal (N/mm²) dan T_e adalah torsi ekuivalen (N/mm).
Diameter poros dapat ditentukan dengan persamaan:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_e}{\pi \sigma_{maks}}} \quad (18)$$

dimana σ_{maks} adalah tegangan tarik ijin maksimal (N/mm²) dan M_e , momen ekuivalen (N/mm).

3.4 Perancangan Nosel

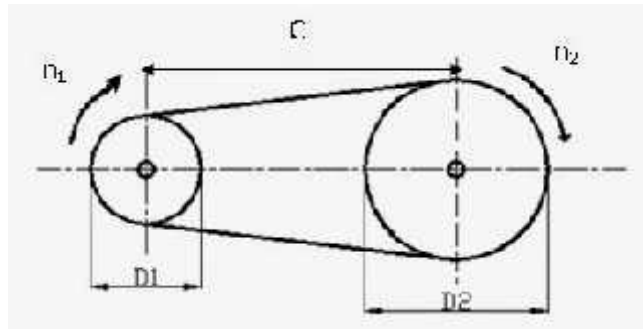
Pada turbin aliran silang terdapat sebuah *nozzle* tetap yang berfungsi untuk merubah tekanan menjadi energi kinetik. Semprotan air dari *nozzle* akan menumbuk sudu *runner*. Untuk mendapatkan efisiensi turbin maksimum maka kelengkungan *nozzle* sebisa mungkin dibuat sama dengan kelengkungan sudu. Pada penelitian ini, *nozzle* dibuat dengan mengikuti kaidah pada gambar 8.



Gambar 8. Perancangan *nozzle* (Cole, 2004)

3.5 Perancangan Sistem Transmisi

Pada sistem pembangkit, transmisi berfungsi untuk menyalurkan daya dari putaran poros turbin untuk memutar generator yang kemudian daya tersebut diubah menjadi energi listrik (Sularso, 1987). Pada penelitian kali ini jenis transmisi yang digunakan adalah sistem transmisi tak langsung.



Gambar 9. Transmisi tak langsung

Pada sistem transmisi ini berlaku persamaan berikut:

$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$	(19)
---	------

dengan n_1 putaran generator, r_1 jari-jari *pulley* generator, n_2 putaran turbin, dan r_2 , jari-jari *pulley* turbin. Adapun generator yang digunakan kali ini mampu menghasilkan daya 12 V dengan putaran 1000 rpm dan putaran turbin sebesar 258 rpm.

4. Kesimpulan

Pada makalah ini telah diberikan perancangan komponen-komponen turbin aliran silang yang digunakan pada model sistem pembangkit listrik. Adapun komponen-komponen turbin yang dirancang antara lain, *runner*, poros, nosel, sistem transmisi dan generator. Diameter pipa pesat yang digunakan sebesar 3 inchi dan panjang 2,5 meter, dengan tinggi head 2 m sehingga debit aliran yang dapat dimanfaatkan yaitu 0,0163 m³/s. Parameter-parameter turbin aliran silang yang dirancang yaitu: diameter dalam D_2 dan luar turbin D_1 adalah 17 dan 25,5 cm, panjang turbin 15 cm, kelengkungan sudu masuk α_1 dan keluar turbin α_2 adalah 27 ° dan 93 °, kelengkungan sudu nosel adalah 13 °, jumlah sudu turbin 18 buah dan jari-jari kelengkungan sudu turbin adalah 3,81 cm. Saat ini sedang dilakukan pembuatan model sistem pembangkit listrik dengan menggunakan turbin aliran silang di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

Daftar Pustaka

Arismunandar, A. dan Kuwahara S. (2004). *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I*. Jakarta: Pradya Paramita.

Dandekar, M.M. dan Sharma, K.N. (1991). *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).

Khurmi, R.et al.(2005). *Theory of Machine*. New Delhi: S. Chand & co. Ltd.

Mockmore, C.A. and Merryfield, F. 1984. *The Banki Water Turbin*. Oregon State College, Bulletin Series, No.25.

Permina, Iman. (2013). *Turbin Air dan Kelengkapan Mekaniknya*. Jakarta: Direktorat Pembinaan SMK.

Pritchard J. Philip. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics* Eight Edition. Columbia: Jhon wiley and sons, inc.

Sinaga, J. B, Azhar., Tanti, N., dan Sugiman. (2015). *Pemodelan Aliran di Dalam Pipa untuk Menentukan Diameter Pipa Pesat Sistem Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH)*.

*Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada masyarakat
Universitas Lampung, B. Lampung, 17 September 2015.*

Sularso dan Kiyokatsu, S. (1987). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta:
Pradnya Paramitha.

SERTIFIKAT

Sertifikat ini diberikan kepada:

JORFRI BIKE SINAGA

sebagai

PEMAKALAH

Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri 2019 (SINTA 2019) :

“Tantangan dan Peluang Riset Perguruan Tinggi Untuk Memenuhi Kebutuhan Dunia Industri Berkelanjutan”

yang diselenggarakan oleh
Fakultas Teknik Universitas Lampung
25 September 2019



Prdh. Suharto, M.Sc., Ph.D., IPU
NIP. 49620717 198703 1002

SINTA
Ketua Panitia SINTA 2019,
Andi Rizki Fitriani, M.T., Ph.D.
NIP. 19731018 200012 1001



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG

Jl. Prof. Sumartono Brongorejo No.1, Bandar Lampung 35145
Telp. +62 71 706947 sind@eng.unila.ac.id @sinta_eng.unila.ac.id

