

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SUDU TURBIN ULIR *ARCHIMEDES*

Herman Budi Harja⁽¹⁾, Sigit Yoewono⁽²⁾ dan Hendi Riyanto⁽²⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl. Kanayakan No. 21 - Dago, Bandung 40135
Phone/Fax: 022-250 0241 / 250 2649
E-mail : h_b_harja@yahoo.com

⁽²⁾Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10, Bandung 40132
Phone/Fax: 022-250 4243 / 253 4099

Abstrak

Potensi sumber energi air pada *head* sangat rendah (< 3 meter) yang banyak terdapat di wilayah Indonesia saat ini belum banyak dimanfaatkan karena terkendala oleh ketersediaan teknologi yang mampu memanfaatkannya. Oleh karena itu diperlukan pengembangan teknologi yang dapat memanfaatkan potensi sumber energi tersebut. Turbin ulir merupakan jenis turbin yang mampu bekerja pada *head* sangat rendah.

Penelitian ini melakukan kajian tentang perancangan dan pembuatan turbin ulir. Perancangan dimensi sudu turbin ulir mengikuti formulasi Chris Rorres untuk mengoptimalkan volume *bucket* sudu turbin. Rancangan turbin ulir untuk *head* 2 meter dan debit 20 liter/detik yang dihasilkan memiliki spesifikasi: konstruksi rotor memiliki 2 buah sudu ulir, kisar ulir 413 mm, radius sudu luar (R_o) 408 mm, radius sudu dalam (R_i) 109 mm dan sudut kemiringan 30° . Kemudian dilakukan perhitungan panjang lintasan bentangan ulir agar menghasilkan kisar ulir sebesar 413 mm. Panjang lintasan bentangan ulir dapat diperoleh dengan menggunakan dua cara yaitu perhitungan persamaan helix atau simulasi *software* gambar. Dua cara tersebut dilakukan dalam kegiatan penelitian ini dan keduanya menghasilkan panjang lintasan ulir sebesar 802 mm.

Setelah proses fabrikasi dilakukan, ternyata dimensi kisar sudu ulir yang dibuat tidak sama dengan dimensi rancangan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang terabaikan seperti faktor elastisitas material. Selain itu, pada saat pembuatan timbul kesulitan pada proses pembentukan dan pengelasan.

Belajar dari permasalahan yang timbul, penelitian dilanjutkan dengan pengembangan alat bantu fabrikasi dan perhitungan serta pemilihan material sudu ulir agar dimensi kisar sudu ulir sesuai rancangan.

Kata kunci: *PLTMH, head rendah, turbin ulir, fabrikasi sudu ulir*

1. Pendahuluan

Dengan semakin berkurangnya sumber energi fosil, maka salah satu alternatif sumber energi yang bisa menggantikannya adalah sumber energi terbarukan, khususnya sumber energi terbarukan yang teknologi pemanfaatannya memerlukan investasi kecil. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH), sistem konversi energi angin (SKEA) dan pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) adalah beberapa contoh sistem konversi energi yang memanfaatkan sumber energi terbarukan, namun tidak semuanya memerlukan investasi kecil.

PLTMH memanfaatkan potensi energi aliran air yang memiliki *head* dan debit tertentu menjadi energi listrik. Sampai saat ini banyak pemanfaatan air sebagai sumber energi listrik hanya pada potensi energi air dengan *head* tinggi dan/atau debit besar, padahal banyak

daerah di Indonesia memiliki potensi energi aliran air sungai dengan *head* sangat rendah (< 3 meter) [1]. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan jenis turbin yang dapat memanfaatkan potensi energi air dengan *head* sangat rendah. Beberapa jenis turbin air yang dapat bekerja pada *head* rendah adalah kincir air, turbin kaplan dan turbin ulir [2].

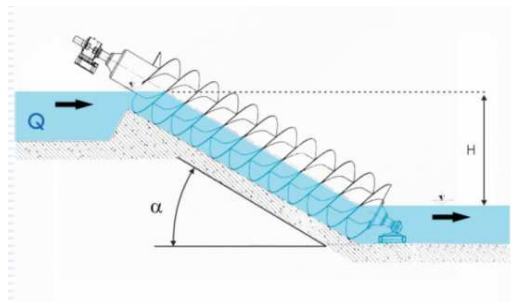
Penelitian ini mengkhususkan pada perancangan dan pembuatan sudu turbin ulir. Perancangan dimensi dan bentuk sudu turbin ulir akan mengacu pada formulasi Rorres [3]. Pada dasarnya, formulasi pengoptimuman dimensi ulir *Archimedes* yang dilakukan oleh Chris Rorres adalah untuk penggunaannya sebagai pompa. Sedangkan perancangan pembuatan sudu ulir akan mengikuti persamaan helix dan simulasi perangkat lunak gambar teknik.

2. Turbin Ulir *Archimedes*

Ulir *Archimedes* merupakan teknologi yang sejak zaman kuno telah ditemukan dan diterapkan sebagai pompa, dimana pada konstuksinya terdiri dari satu atau beberapa sudu berbentuk heliks yang terpasang pada poros dan berfungsi sebagai *bucket* bergerak untuk membawa air ke atas. Kemudian seiring dengan kebutuhan pemanfaatan sumber potensi energi air dengan *head* rendah, penggunaan ulir *Archimedes* diterapkan sebagai turbin air [2,4].

Prinsip kerja turbin ulir *Achimedes* ialah (lihat Gambar 1) :

- air dari ujung atas mengalir masuk ke ruang di antara kisar sudu ulir (*bucket*) dan keluar dari ujung bawah;
- gaya berat air dan beda tekanan hidrostatis dalam *bucket* di sepanjang rotor mendorong sudu ulir dan memutar rotor pada sumbu dan
- rotor turbin memutar generator listrik yang disambungkan dengan ujung atas poros turbin ulir.



Gambar 1. Skematik turbin ulir [5].

Oleh karena itu volume air dalam *bucket* harus dimaksimumkan agar menghasilkan efisiensi pembangkitan daya tertinggi. Adapun keuntungan turbin ulir dibandingkan dengan jenis turbin lain adalah [5] :

- Dapat dioperasikan pada head sangat rendah, hingga 1 meter;
- Dapat dioperasikan tanpa saringan dan tidak mengganggu ekosistem sungai;
- Umur turbin lebih tahan lama terutama jika dioperasikan pada putaran rendah;
- Mudah dalam pengoperasian dan murah dalam perawatan;
- Memiliki efisiensi dan kehandalan yang tinggi (lihat Tabel 1);
- Mampu bekerja pada rentang variasi debit yang lebar (lihat Tabel 1) .

Pada tabel 1 ditunjukkan perbandingan efisiensi turbin air jenis ulir *Archimedes*, turbin Kaplan (aksial), turbin Francis (sentrifugal) dan turbin Banki (*cross flow*) terhadap tingkat rendaman sudu dalam air. Tabel tersebut menunjukkan bahwa turbin ulir *Archimedes* mengungguli jenis turbin lain untuk seluruh kondisi rendaman. Efisiensi 25% dicapai pada tingkat rendaman 10% dan 87% pada tingkat rendaman 100%.

Tabel 1. Perbandingan efisiensi berbagai jenis turbin air terhadap tingkat rendaman [5].

| Water engine type | Water engine filling | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% | 100% |
| Archimedean screw | 25 | 74 | 77 | 79 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 |
| Kaplan turbine | 15 | 70 | 85 | 88 | 90 | 90 | 90 | 90 | 88 | 85 |
| Francis turbine | - | - | 15 | 58 | 72 | 78 | 82 | 82 | 82 | 80 |
| Banki turbine | - | 40 | 60 | 68 | 72 | 74 | 75 | 74 | 72 | 70 |

Water engine efficiency [%]

3. Perancangan dan Pembuatan Sudu Turbin Ulir *Archimedes*

Perancangan dan pembuatan sudu turbin ulir *Archimedes* dilakukan dengan urutan langkah-langkah kegiatan:

- survei potensi sumber energi air yang cocok untuk dimanfaatkan menggunakan turbin ulir;
- mengukur *head* dan debit sumber energi air yang ditemukan;
- menghitung daya yang bisa dihasilkan dari sumber energi air bersangkutan;
- menentukan dimensi sudu ulir berdasarkan pada formulasi Rorres [3];
- merencanakan pembuatan sudu ulir berdasarkan pada perhitungan bentangan helix dan dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak gambar teknik Solidwork™;
- melaksanakan proses pembuatan dan
- melakukan evaluasi terhadap hasil perancangan dan pembuatan turbin ulir *Archimedes*.

3.1 Daya Bangkitan Sumber Energi Air

Daya yang bisa dibangkitkan dari sumber energi air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) berikut [2] :

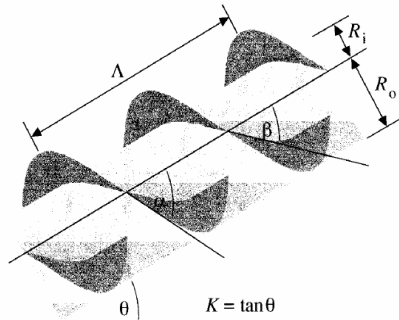
$$P = \eta \rho g H Q \quad (1)$$

Lambang huruf *P* mewakili potensi daya dalam satuan Watt (*W*), η menunjukkan efisiensi konversi energi ditentukan oleh jenis turbin

yang digunakan untuk memanfaatkan sumber energi air ($0 < \eta < 1$), ρ melambangkan massa jenis air (1000 kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$) dan Q adalah debit air (m^3/s) serta H adalah *head* air (m).

3.2 Dimensi Turbin Ulir

Geometri sebuah turbin maupun pompa ulir *Archimedes* ditentukan oleh dimensi luar dan dimensi dalam turbin (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Profil turbin ulir 2 sudu [3].

Keterangan :

- R_i : jari-jari dalam sudu ulir ($0 < R_i < R_o$)
- R_o : jari-jari luar sudu turbin
- Λ : kisar ulir sudu turbin ($0 \leq \Lambda \leq 2\pi R_o / K$)
- K : $\tan \theta$
- θ : sudut kemiringan poros turbin
- β : sudut ulir (pada posisi R_i)
- α : Sudut ulir (pada posisi R_o)
- N : Jumlah sudu (1,2,...)

Dimensi luar turbin terdiri jari-jari terluar sudu ulir R_o , kisar ulir Λ , dan sudut kemiringan poros θ . Dimensi luar ditentukan oleh lokasi penempatan ulir, material ulir yang akan digunakan dan debit air. Sudut kemiringan poros θ turbin umumnya antara 22° sampai 30° [5].

Sedangkan dimensi bagian dalam turbin meliputi jari-jari dalam R_i , jumlah sudu N , dan jarak antar sudu bila $N > 1$. Dimensi dalam turbin bebas dipilih, sehingga pengoptimuman turbin ulir dapat dilakukan dengan mengubah dan memvariasikannya.

Panjang poros ulir L dapat dihitung mengingat hubungan berikut :

$$L = \frac{H}{K} \quad (2)$$

Rorres menawarkan formulasi untuk menentukan dimensi-dimensi ulir *Archimedes* berdasarkan perhitungan pemaksimuman volume air di antara kisar sudu, volume maksimum tersebut dinyatakan dalam persamaan (3).

$$V_T^* = \pi R_o^2 \Lambda^* v^* \quad (3)$$

Pada volume maksimum tersebut, diameter dalam R_i^* dapat diperoleh dari persamaan (4).

$$R_i^* = \rho^* R_o \quad (4)$$

Kisar ulir pada volume maksimum dinyatakan oleh persamaan (5)

$$\Lambda^* = \frac{\pi R_o \lambda^*}{K} \quad (5)$$

Nisbah volume optimum v^* , jari-jari optimum dan nisbah kisar optimum N ditampilkan pada Tabel 2. Nisbah volume, nisbah jari-jari dan nisbah kisar didefinisikan pada persamaan (6), (7), (8) berikut ini :

$$v^* = \frac{V_T}{\pi R_o^2 \Lambda} \quad (6)$$

$$\rho^* = \frac{R_i}{R_o} \quad (7)$$

$$\lambda^* = \frac{\Lambda K}{2\pi R_o} \quad (8)$$

Jumlah kisar m yang diperlukan pada panjang poros turbin ulir L untuk panjang kisar optimum Λ^* dapat dihitung dengan persamaan (9).

$$m = \frac{L}{\Lambda^*} \quad (9)$$

Persamaan (2) s.d (9) bersama Tabel 2 digunakan untuk menentukan dimensi rancangan turbin ulir *Archimedes* dalam kegiatan penelitian ini.

Putaran turbin ulir maksimum n_{maks} (rpm) dan hubungan antara dimensi kisar Λ dan jari-jari luar sudu R_o untuk berbagai sudut kemiringan turbin dapat dinyatakan dalam persamaan (10) dan (11) [6].

$$n_{maks} = \frac{50}{2R_o \sin \theta} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Lambda &= 2,4 R_o \text{ untuk } \theta < 30^\circ \\ \Lambda &= 2,0 R_o \text{ untuk } \theta = 30^\circ \\ \Lambda &= 1,6 R_o \text{ untuk } \theta > 30^\circ \end{aligned} \quad (11)$$

Tabel 2. Parameter Ulir Archimedes Optimum menurut Chriss Rorres [3].

| Number of blade N | Optimal radius ratio ρ^* | Optimal pitch ratio λ^* | Optimal volume-per-tum ratio $\lambda^*v(N, \rho^*, \lambda^*)$ | Optimal volume ratio $v(N, \rho^*, \lambda^*)$ |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|---|--|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 1 | 0,5358 | 0,1285 | 0,0361 | 0,2811 |
| 2 | 0,5369 | 0,1863 | 0,0512 | 0,2747 |
| 3 | 0,5357 | 0,2217 | 0,0598 | 0,2697 |
| 4 | 0,5353 | 0,2456 | 0,0655 | 0,2667 |
| 5 | 0,5352 | 0,2630 | 0,0696 | 0,2647 |
| 6 | 0,5353 | 0,2763 | 0,0727 | 0,2631 |
| 7 | 0,5354 | 0,2869 | 0,0752 | 0,2619 |
| 8 | 0,5354 | 0,2957 | 0,0771 | 0,2609 |
| 9 | 0,5356 | 0,3029 | 0,0788 | 0,2601 |
| 10 | 0,5356 | 0,3092 | 0,0802 | 0,2592 |
| 11 | 0,5358 | 0,3145 | 0,0813 | 0,2586 |
| 12 | 0,5360 | 0,3193 | 0,0824 | 0,2580 |
| 13 | 0,5360 | 0,3234 | 0,0833 | 0,2574 |
| 14 | 0,5360 | 0,3270 | 0,0841 | 0,2571 |
| 15 | 0,5364 | 0,3303 | 0,0848 | 0,2567 |
| 16 | 0,5362 | 0,3333 | 0,0854 | 0,2562 |
| 17 | 0,5362 | 0,3364 | 0,0860 | 0,2556 |
| 18 | 0,5368 | 0,3380 | 0,0865 | 0,2559 |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . |
| 20 | 0,5394 | 0,3953 | 0,0977 | 0,2471 |

3.3 Perancangan Pembuatan Sudu Ulir

Perhitungan panjang lintasan bentangan sudu ulir dapat dilakukan melalui 2 cara yaitu dengan perhitungan persamaan helix L_{helix} , persamaan (12), atau didapat dari hasil simulasi perangkat lunak gambar teknik tiga dimensi (SolidworkTM).

$$L_{helix} = N_{helix} \sqrt{(2\pi R_i)^2 + B^2} \quad (12)$$

Jumlah helix dinyatakan dalam lambang N_{helix} pada persamaan (12).

Diameter bakalan sudu D dapat dihitung berdasarkan pada panjang lintasan bentangan L_{helix} , yaitu :

$$D_i = \frac{L_{helix}}{\pi} \quad (13)$$

3.4 Proses Pembuatan Sudu Turbin Ulir

Pembuatan sudu turbin ulir dilakukan menggunakan perkakas dan proses berikut:

- Pemotongan pelat menjadi bentuk bakalan satu kisar sudu (lihat gambar 3) menggunakan mesin *Plasma Cutting*.
- Pembentukan dan pengelasan sudu pada rotor dengan cara ditarik manual seperti diperlihatkan pada Gambar 4, sehingga membentuk panjang per satu kisar 0,413m .
- Pembentukan dan pengelasan sudu ulir hingga menghasilkan sejumlah 8,37 sudu ulir.
- *Finishing* rotor turbin ulir (Lihat Gambar 5).



Gambar 3. Pemotongan bakalan satu kisar sudu.



Gambar 4. Pembentukan dan pengelasan sudu ulir.



Gambar 5. Rotor turbin ulir.

4. Hasil dan Pembahasan

Turbin ulir yang dirancang berdasarkan potensi sumber energi air yang tersedia (lihat Gambar 6), adalah sebagai berikut:

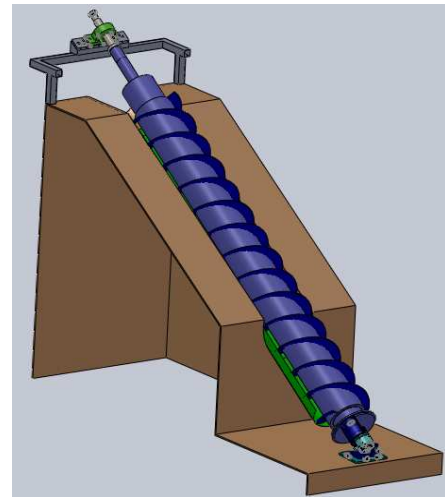
- *Head* efektif : 2 meter
- Debit air : 20 – 40 liter /detik



Gambar 6. Potensi sumber energi air yang akan dimanfaatkan.

Dengan demikian, mengacu pada persamaan (1), daya terbesar yang bisa dibangkitkan mencapai $392 \text{ W} \leq P \leq 784 \text{ W}$. Pada kenyataannya, daya yang dibangkitkan akan lebih rendah dari pada daya di atas karena efisiensi turbin ulir dan efisiensi generator listrik.

Sudut kemiringan turbin ulir ϑ yang akan dibuat ditetapkan sebesar 30° , maka pada *head* 2 m, panjang poros turbin ulir L yang dibutuhkan adalah 3,46 m, yaitu dihitung dari persamaan (2). Diameter dalam turbin ulir R_i pada perancangan dipilih sebesar 0,01095 m, yaitu diameter luar pipa 8 inci yang digunakan sebagai poros turbin.

Gambar 7. Isometrik rancangan turbin ulir *Archimedes*.

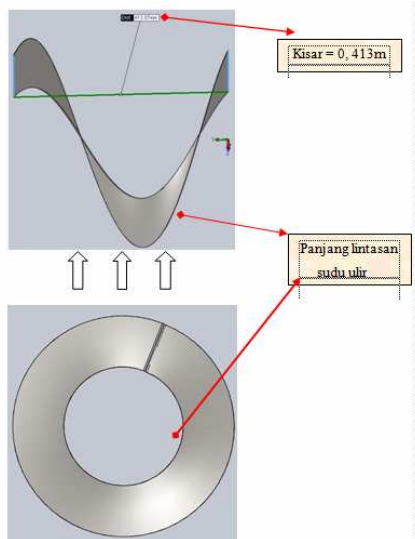
Dalam rancangan seperti diperlihatkan pada Gambar 7, turbin ulir ini dipilih jumlah sudu ulir N sebanyak 2. Mengacu pada tabel 2 untuk $N=2$ dipilih :

- $\rho^* = 0,5369$;
- $\lambda^* = 0,1863$ dan
- $v^* = 0,2747$

Maka didapatkan:

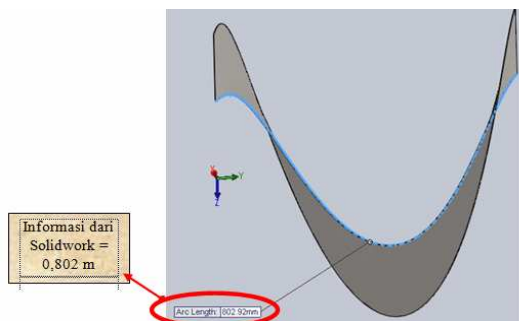
- Jari-jari luar $R_o = 0,204 \text{ m}$
- Panjang kisar $\Lambda = 0,413 \text{ m}$
- $V^T = 0,014857 \text{ m}^3$;
- Jumlah kisar $m = 8,37$; dan
- V^T pada seluruh sudu = $0,124 \text{ m}^3$.

Panjang lintasan bentangan sudu ulir dihitung menggunakan persamaan (12) untuk helix ($N_{\text{helix}} = 1$), yaitu $L_{\text{helix}} = 0,802 \text{ m}$ (lihat Gambar 8). Kemudian perangkat lunak gambar teknik (lihat Gambar 9) menghasilkan perhitungan panjang lintasan bentangan sudu L_{helix} sebesar 0,802 m, sama dengan angka yang diperoleh dari persamaan (12).

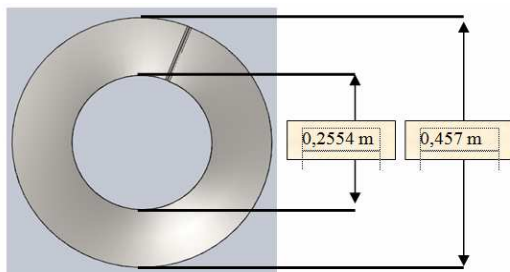


Gambar 8. Panjang lintasan bentangan satu kisar sudu ulir.

Dari hasil perhitungan panjang lintasan bentangan sudu di atas, maka diameter bakalan sudu dapat dihitung melalui persamaan (13). Hasilnya $D_i = 0,255$ m (lihat Gambar 10).



Gambar 9. Panjang lintasan bentangan satu kisar sudu ulir hasil SolidWork™.



Gambar 10. Dimensi bakalan satu kisar sudu turbin.



Gambar 11. Hasil pembuatan turbin ulir Archimedes.

Setelah sudu turbin ulir dibuat, terdapat ketidaksesuaian dimensi kisar antara hasil pembuatan dengan rancangan yaitu sebesar 23% (lihat Tabel 3). Hal ini disebabkan karena adanya kesulitan pada proses fabrikasi yaitu pada proses pembentukan sudu dari bentuk lingkaran pelat menjadi bentuk helix.

Tabel 3. Perbandingan dimensi rancangan dan pembuatan.

| No | Parameter dimensi | Rancangan [meter] | Pembuatan [meter] | Penyimpangan [%] |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 1 | Ri | 0.110 | 0.110 | 0% |
| 2 | Ro | 0.204 | 0.204 | 0% |
| 3 | Kisar | 0.413 | 0.319 | 23% |
| 4 | L | 3.466 | 2.72 | 22% |

5. Kesimpulan

Dari penelitian perancangan dan pembuatan sudu turbin ulir Archimedes ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Penentuan dimensi turbin ulir menggunakan formulasi Rorres dilakukan untuk mengoptimumkan volume bucket pada sudu turbin.
- Penentuan bakalan bentangan sudu turbin dapat menggunakan persamaan helix atau informasi perangkat lunak gambar teknik.
- Proses fabrikasi sudu turbin ulir merupakan kegiatan pembuatan yang perlu diperhatikan agar tidak terjadi penyimpangan dimensi hasil pembuatan dengan hasil rancangan.

- Diperlukannya alat bantu proses pembentukan sudu turbin dan analisis aspek material ketika proses pembuatan sudu dilakukan .

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada POLMAN yang telah memfasilitasi penelitian ini.

Referensi/Daftar Pustaka

- [1] <http://www.crayonpedia.org/mw/Bab-21-Klasifikasi-Turbin-Air-Sunyoto>, diakses tanggal 3 Agustus 2011.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/water_turbin, , diakses 15 Juli 2011.
- [3] Rorres, C., “The Turn of the Screw :Optimal design of an archimedes”, *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(1), (2000), pp.72-80.
- [4] Havendri, A. dan Arnif, I., “Kaji Eksperimental Penentuan Sudut Ulir Optimum pada Turbin Ulir untuk Data Perancangan Turbin Ulir pada PLTMH dengan Head Rendah”, Dalam *Prosiding SNTTM IX*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin ke-9, 13-15 Oktober 2010, Palembang.
- [5] <http://www.gess.cz/en/small-water-plant-archimedean-screw-turbine.html>, diakses tanggal 23 Juli 2011.
- [6] Nagel, G., “Archimedean Screw Pump Handbook”, Prepared for Ritz-Atro Pumpwerksbau GMBH Roding, (1968), Nu`rnberg, Germany, 1968.