

APLIKASI TURBIN AIR MINI SEBAGAI PENGUKUR KECEPATAN ALIRAN AIR

Kaprawi dan Andri Permana

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Inderalaya-OI (30662)

e-mail: ; kaprawis@yahoo.com

Abstrak

Sistem pengukuran merupakan bagian yang penting dalam dunia industri. Alat pengukur laju aliran fluida sendiri memiliki ragam yang bermacam-macam tergantung dari prinsip pengukuran yang dipergunakan. Metode pengukuran kecepatan aliran fluida yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan aliran fluida salah satunya adalah horizontal axis current meter, dengan menggunakan energi mekanik cairan untuk memutar turbin di aliran. Sudu pada turbin yang miring untuk mengubah energi dari aliran menjadi energi rotasi. Ketika cairan bergerak lebih cepat, secara proporsional turbin berputar lebih cepat. Untuk mengetahui unjuk kerja atau performansi alat uji dapat dilihat dari perbandingan putaran dengan kecepatan aliran fluida, maka dari itu dilakukan perhitungan kinerja alat uji dengan menggunakan sudu turbin Kaplan. Dimana dalam pengujiannya akan diukur untuk 6 kali putaran turbin dengan metode bukaan katup di dalam suatu sistem aliran terbuka sebesar 50%, 75%, dan 100% untuk setiap bukaan katup digunakan juga bendungan untuk peningkatan kecepatan aliran fluida yang lebih signifikan. Dari hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan bisa dilihat bahwa hasil pengujian sesuai dengan hasil teoritis, yaitu sama-sama membentuk grafik yang linier dengan rata-rata deviasi 0,1 m/s. Lalu kenaikan variasi kecepatan aliran terhadap kecepatan absolut, dan kecepatan relatif turbin Kaplan adalah linier, berbanding lurus dengan meningkatnya putaran turbin.

Kata kunci: Turbin, air, mini, pengukur

1. PENDAHULUAN

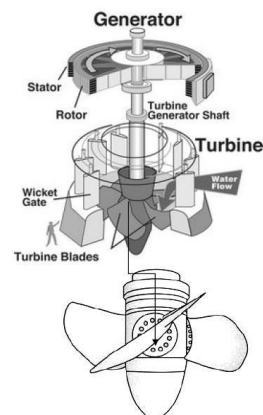
Sistem pengukuran merupakan bagian yang penting dalam dunia industri. Perkembangan sistem pengukuran juga semakin meningkat seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi. Melalui pengukuran, dapat diperoleh berbagai masukan untuk menentukan informasi. Salah satu dari sekian banyak alat ukur yang ada adalah pengukur laju aliran fluida (air). Tenaga air memiliki energi potensial dan energi kinetik yang dapat dikonversikan menjadi energi mekanik dari air yang mengalir.

Alat pengukur laju aliran fluida sendiri memiliki ragam yang bermacam-macam tergantung dari prinsip pengukuran yang dipergunakan. Metode pengukuran kecepatan aliran fluida yang dapat digunakan untuk mengukur kecepatan aliran fluida adalah *flowmeter* dan *current meter*.

Penggunaan teknologi untuk memanfaatkan aliran sungai seringkali terhambat oleh masalah dana. Sedangkan kemampuan untuk mengendalikan proses dibutuhkan bagi para teknisi sebagai modal untuk menghadapi dunia industri nyata. Disamping mempelajari secara teoritis, dibutuhkan pula suatu alat eksperimental yang dapat memodelkan suatu sistem kendali proses. Oleh karena itu, dibutuhkan teknologi tepat guna yang bisa di aplikasikan dengan mudah dan murah. Penggunaan teknologi *current meter* dengan menggunakan sudu turbin dirasakan sangat tepat untuk menjawab masalah tersebut dikarenakan pengukuran dilakukan di tempat yang terbuka seperti sungai. Dan

untuk sudu pada *current meter*, dipilihlah sudu turbin Kaplan.

Current meter mengukur kecepatan dengan melakukan perubahan gerakan linear menjadi menjadi angular. Sebuah *current meter* yang ideal harus memiliki respon yang cepat dan konsisten dengan setiap perubahan yang terjadi pada kecepatan air, dan harus secara akurat dan terpercaya sesuai dengan komponen velositas. Juga harus tahan lama, mudah dilakukan pemeliharaan, dan simpel digunakan dengan kondisi lingkungan yang berbeda-beda.



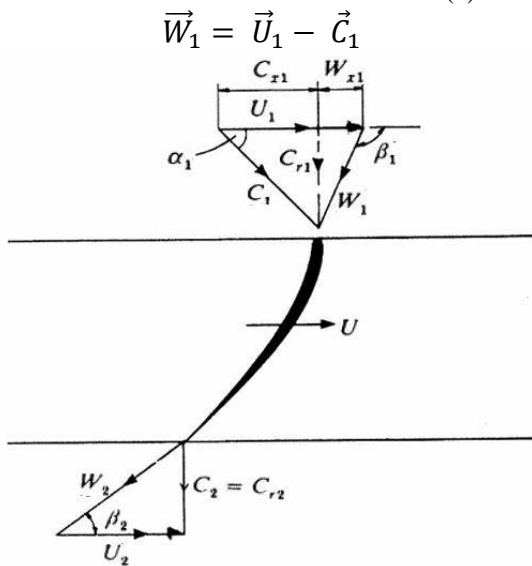
Gambar 1. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan Merupakan evolusi dari turbin Francis tetapi dikembangkan dengan kemampuan sumber air yang mempunyai head kecil. Turbin Kaplan termasuk

kelompok turbin air reaksi jenis baling - baling. Teknik mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik roda air turbin dilakukan melalui pemanfaatan kecepatan air. Sudu roda jalan turbin Kaplan mirip roda propeller yang letak sudunya terpisah jauh satu dengan yang lain. Memperlihatkan *cascade* sudu roda jalan turbin Kaplan beserta segitiga kecepatan pada bagian masuk dan keluar sudu.

Segitiga kecepatan seringkali dipergunakan dalam menentukan parameter-parameter dalam perencanaan turbin. Perubahan (Δ) kecepatan dan persamaan energi

1. Perubahan (Δ) kecepatan:
 $C_{r1} = C_{r2} = Ca$ (1)
2. $\vec{W}_1 = \vec{U}_1 - \vec{C}_1$ (2)
3. Untuk kondisi maksimum efisiensi (η_{maks})
 $C_{x2} = 0$ (3)
 $C_2 = C_{r2}$ (4)



Gambar 2. Diagram Segitiga Kecepatan

Persamaan Euler (persamaan energi)

$$E = \frac{U(C_{x1} - C_{x2})}{g} \text{ dalam (J/N)}$$

$$E = \frac{U C_{x1}}{g} \quad (4)$$

$$\text{Dimana } C_{x1} = U - Ca \cot(180^\circ - \beta_1) \quad (5)$$

$$= U + Ca \cot \beta_1 \quad (6)$$

Catatan:

U adalah untuk mengevaluasi diameter (D_m)

$$D_m = \frac{(D+d)}{2} \quad (7)$$

$$U = \frac{(\pi D_m N)}{60} \quad (8)$$

Dimana:

D = diameter ujung sudu

d = diameter pusat

U adalah kecepatan suatu titik pada impeler relatif terhadap tanah, W adalah kecepatan partikel fluida relatif terhadap impeler, dan C adalah kecepatan absolut partikel fluida yang mengalir melalui impeler relatif terhadap tanah. C merupakan hasil penjumlahan secara vektor dari U dan W . Sudut antara C dan U disebut α , sudut antara W dan perpanjangan

U disebut β , sudut β juga merupakan sudut yang dibuat antara garis singgung terhadap sudu impeler dan suatu garis dalam arah gerakan sudu.

Current meter bersudu turbin Kaplan ini dibuat untuk membantu mensimulasikan kendali proses. Dengan menggunakan fluida sebagai parameter kendali, dapat diperoleh informasi pengukuran seperti kecepatan aliran. Informasi yang diperoleh tersebut digunakan sebagai masukan untuk kendali aliran air pada sistem aliran sungai dan sistem irigasi. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk merancang alat pengukur laju aliran fluida dengan menggunakan komponen lokal yang terdapat di pasaran sehingga lebih murah dan sederhana.

2. METODOLOGI PENGUJIAN

Pengujian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan cara mengamati langsung pengujian yang dilakukan dan kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data setelah dilakukan pengujian. Eksperimen yang dilakukan yaitu mengadakan pengujian tentang perbandingan perhitungan segitiga kecepatan dengan hasil pengujian.

Sebelum melakukan pengukuran dan perhitungan terhadap parameter-parameter yang diperlukan untuk melihat kinerja alat uji. Jenis alat yang dipakai dalam perancangan ini adalah *current meter* tipe horizontal axis dengan menggunakan sudu turbin kaplan, memanfaatkan energi kinetik pada aliran kanal di sistem aliran terbuka yang mengalir kemudian diubah menjadi energi mekanis pada kincir air itu sendiri. Maka disajikan terlebih dahulu metode apa saja yang akan digunakan untuk mengkaji kinerja dari peralatan *current meter* tersebut.

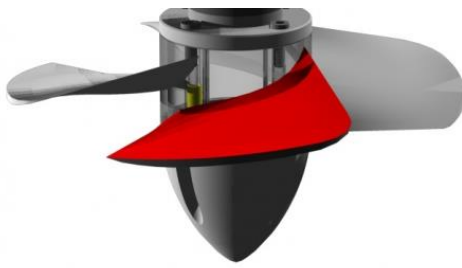
Peralatan Pengujian

1. Satu set saluran terbuka, berfungsi sebagai saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas.
2. Tachometer, berfungsi sebagai alat untuk mengukur kecepatan rotasi.
3. *Current Meter*, berfungsi sebagai alat untuk mengukur kecepatan fluida.
4. Alat Uji, sebagai alat pengukur eksperimental.
5. Bendungan, berfungsi sebagai alat untuk menaikkan laju kecepatan fluida.
6. Stopwatch, berfungsi sebagai alat untuk mengukur waktu.

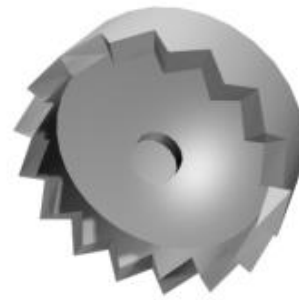
Bagian-Bagian Utama Alat Uji

1. Sudu

Sudu turbin kaplan dengan sudut sisi masuk 115° , sudut sisi keluar 40° , dan dengan diameter ke ujung sudu $0,056$ m, diameter hub $0,028$ m



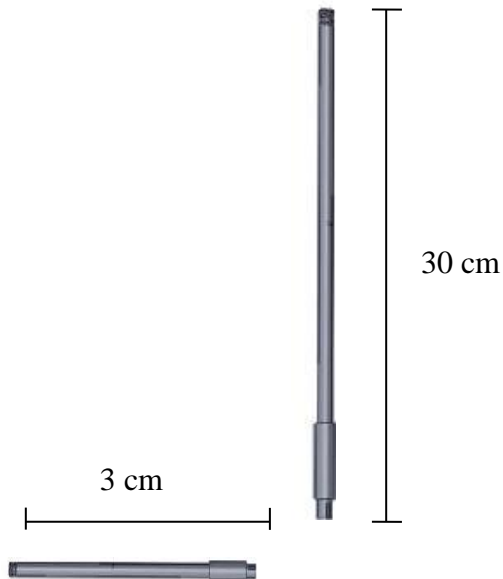
Gambar 3. Sudu Turbin Kaplan



Gambar 6. Roda Gigi Mahkota

2. Poros

Bagian ini merupakan penghubung antara dua roda gigi.



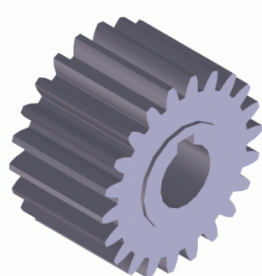
Gambar 4. Poros

3. Roda Gigi

Roda gigi digunakan karena dapat meneruskan putaran yang lebih kompak daripada menggunakan alat transmisi yang lainnya.

a. Roda Gigi Spur

Spur adalah roda gigi yang paling sederhana, yang terdiri dari silinder atau piringan dengan gigi-gigi yang terbentuk secara radial.



Gambar 5. Roda Gigi Spur

b. Roda Gigi Mahkota

Roda gigi mahkota (crown gear) adalah salah satu bentuk roda gigi yang gigi-giginya sejajar dan tidak bersudut. Bentuk gigi-giginya menyerupai mahkota. Roda gigi mahkota hanya bisa dipasangkan secara akurat dengan roda gigi spur.

Prinsip kerja alat ini sama dengan horizontal axis current meter yaitu dengan menggunakan energi mekanik cairan untuk memutar kincir di aliran. Sudu yang miring untuk mengubah energi dari aliran menjadi energi rotasi. Ketika cairan bergerak lebih cepat, secara proporsional turbin berputar lebih cepat.

Rotasi poros dapat dirasakan secara mekanis atau dengan mendeteksi gerakan sudu. Pada alat uji, untuk mendeteksi rotasi turbin, tidak bisa langsung digunakan tachometer karena turbin akan tenggelam di dalam air. Poros yang berputar pada bagian turbin akan berputar seperti pada poros bagian pinion dengan menggunakan roda gigi. Pada bagian pinion inilah yang akan di ukur dengan tachometer. Ketika cairan bergerak lebih cepat, putaran lebih banyak dihasilkan.

Fluida akan mengalir disepanjang aliran uji menuju sisi masuk sudu turbin kaplan dan selama proses tersebut perubahan distribusi inlet terjadi agar fluida yang mengalir bergerak lebih cepat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dan Perhitungan Segitiga Kecepatan

Data Impeller:

$$\beta_1 = 115^\circ$$

$$\beta_2 = 40^\circ$$

$$D = 56 \text{ mm} = 0,056 \text{ m}$$

$$d = 28 \text{ mm} = 0,028 \text{ m}$$

Dimana:

$$\beta_1 = \text{Sudut sudu sisi masuk}$$

$$\beta_2 = \text{Sudut sudu sisi keluar}$$

$$D = \text{Diameter ke ujung sudu (m)}$$

$$d = \text{Diameter hub (m)}$$

Kecepatan sudu, U

$$D_m = \frac{(D-d)}{2} = \frac{(0,056 \text{ m} + 0,028 \text{ m})}{2}$$

$$D_m = 0,042 \text{ m}$$

$$U_1 = U_2 = U$$

$$U = \frac{\pi D_m N}{60}$$

Dimana:

U = Kecepatan sudu turbin (m/s)

Dm = Diameter turbin (m/s)

N = Putaran turbin (m/s)

Kecepatan relative fluida keluar, W2

$$\cos \beta_2 = \frac{U_2}{W_2}$$

$$W_2 = \frac{U_2}{\cos \beta_2}$$

Dimana:

W2 = Kecepatan relative fluida keluar (m/s)

IV.1.3 Kecepatan absolut fluida keluar, C2

$$C_2 = Cr_2$$

$$Cr_1 = Cr_2 = Ca$$

$$Ca = \sqrt{W_2^2 - U^2}$$

Dimana:

Ca = Cr1 = Cr2 = C2 = Kecepatan absolute fluida keluar (m/s)

$$C_{x1} = U - Ca \cot(180^\circ - \beta_1)$$

$$= U + Ca \cot \beta_1$$

Dimana:

Cx1 = (m/s)

$$W_{x1} = U - C_{x1}$$

Dimana:

Wx1 = (m/s)

Kecepatan absolut fluida masuk, C1

$$C_1 = \sqrt{C_a^2 + C_{x1}^2}$$

Dimana:

C1 = Kecepatan absolut fluida masuk (m/s)

Kecepatan relatif fluida masuk, W1

$$W_1 = \sqrt{C_a^2 + W_{x1}^2}$$

Dimana:

W1 = Kecepatan relative fluida masuk (m/s)

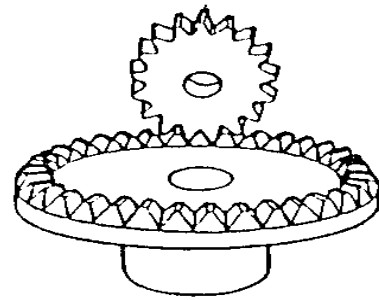
Sudut serang, α

$$\alpha = \arctan \left(\frac{C_{r1}}{C_{x1}} \right)$$

Dimana:

α = Sudut serang ($^\circ$)

Data dan Perhitungan Roda Gigi Secara Teoritis



Gambar 7. Roda Gigi Mahkota dengan Roda Gigi Spur

$$d_1 = 5mm = 0.005 \text{ m}$$

$$d_2 = 9mm = 0.009 \text{ m}$$

$$z_1 = 10$$

$$z_2 = 18$$

Dimana:

d_1 = diameter roda gigi spur (m)

d_2 = diameter roda gigi mahkota (m)

z_1 = jumlah gigi dari roda gigi spur

z_2 = jumlah gigi dari roda gigi mahkota

Perbandingan Antara Diameter Lingkaran Dengan Jumlah Gigi, M

$$m = \frac{d}{Z}$$

Dimana:

m = Perbandingan antara diameter lingkaran dengan jumlah gigi

Perbandingan Kecepatan Putaran

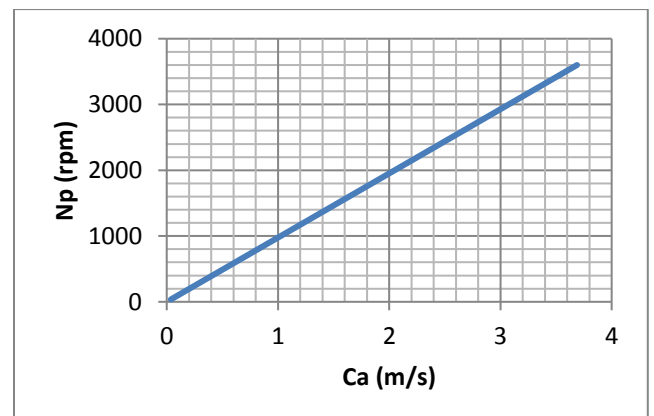
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{m \cdot z_1}{m \cdot z_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

Dimana:

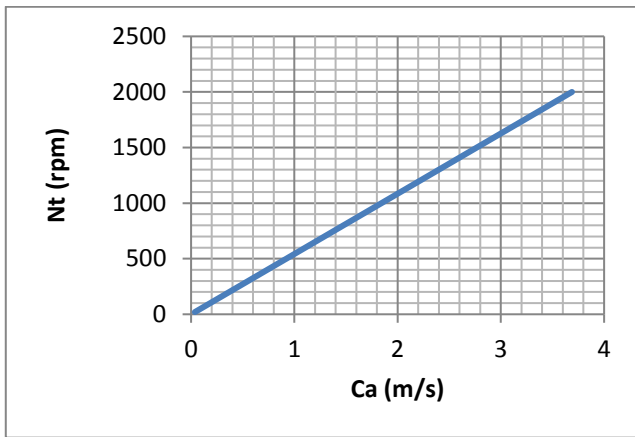
N1 = NP = Kecepatan putaran pinion (rpm)

N2 = NT = Kecepatan putaran turbin (rpm)

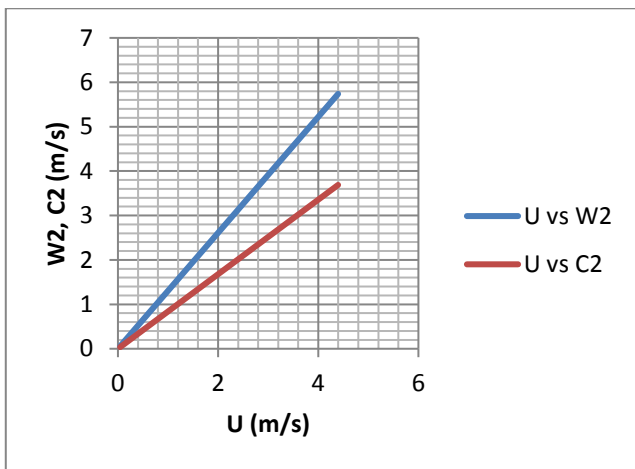
Grafik Perhitungan Secara Teoritis



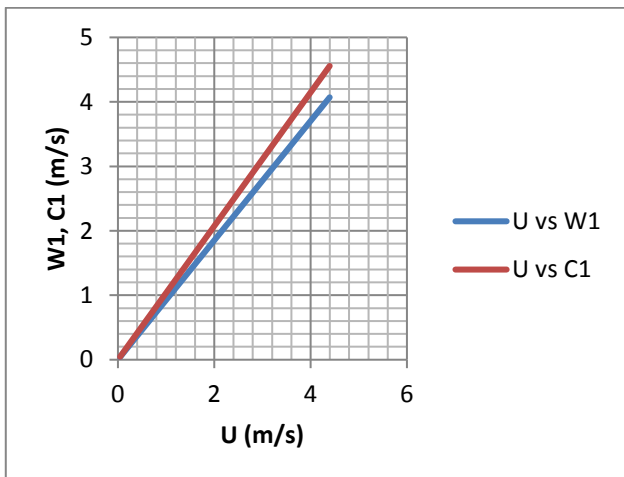
Gambar 8. Ca-Np



Gambar 9. Ca-Nt



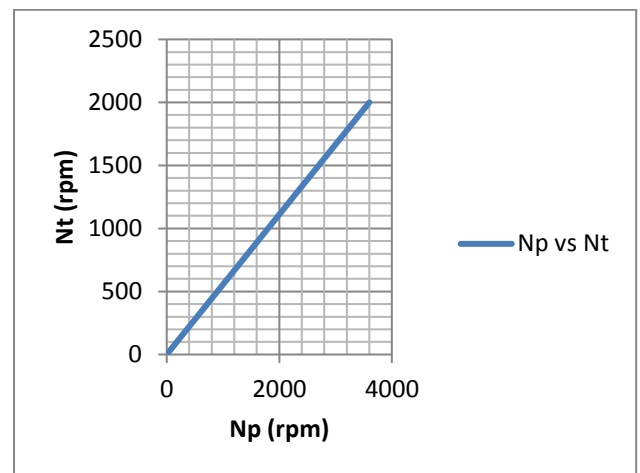
Gambar 10. U-W₂, U-C₂



Gambar 11. U-W₁, U-C₁

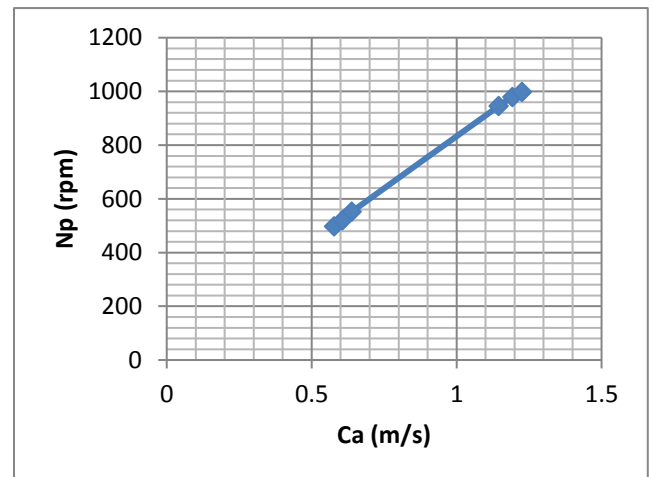
Pada gambar 13 terlihat bahwa terjadi peningkatan rotasi turbin yang dihasilkan pada saat penambahan bukaan katup aliran air ke dalam sistem aliran terbuka. Hal tersebut terjadi karena dengan semakin besarnya pembukaan katup, maka kecepatan aliran air juga akan meningkat. Dan seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran air, maka rotasi turbin juga meningkat. Dalam hal ini selain dengan variasi bukaan katup, digunakan juga bendungan sebagai alat untuk

meningkatkan kecepatan aliran air yang lebih signifikan.



Gambar 12. NP-NT

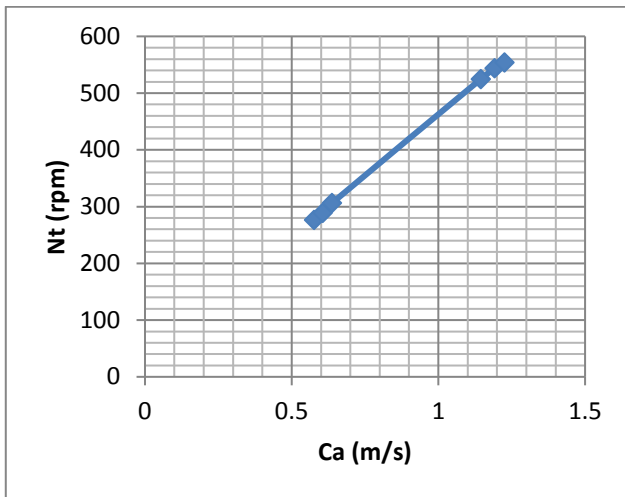
Pengujian Pada Segitiga Kecepatan



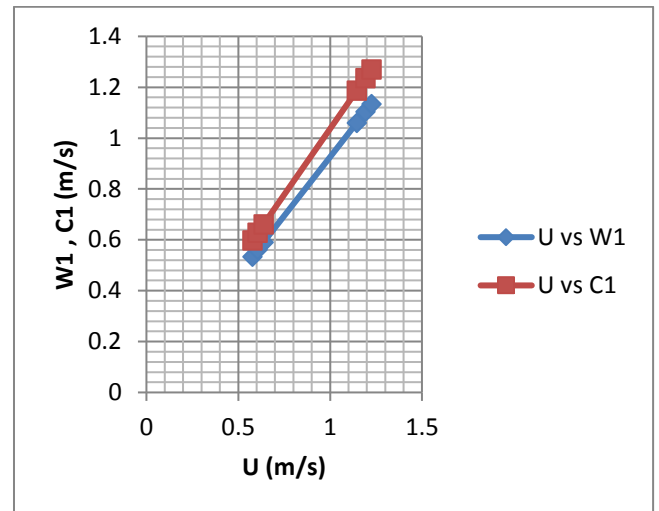
Gambar 13. Ca-Np

Pada Grafik perhitungan hasil pengujian terlihat, perubahan variasi antara kecepatan aliran air dengan kecepatan rotasi pinion adalah linier. Hal ini sesuai dengan grafik perhitungan secara teoritis yang juga terjadi perubahan secara linier, berbanding lurus dengan meningkatnya rotasi pinion.

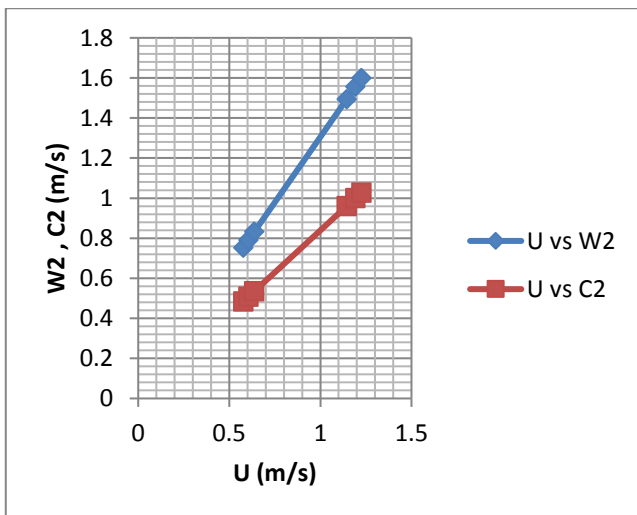
Pada gambar 14 perhitungan hasil pengujian terlihat, perubahan variasi antara kecepatan aliran air dengan kecepatan rotasi turbin adalah linier. Hal ini sesuai dengan grafik perhitungan secara teoritis yang juga terjadi perubahan secara linier, berbanding lurus dengan meningkatnya rotasi turbin.



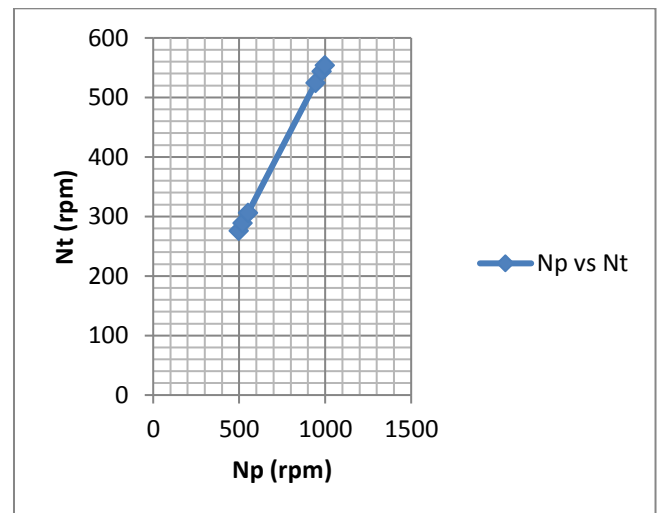
Gambar 14. Ca-NT



Gambar 16. U-W1, U-C1



Gambar 15. U-W2, U-C2



Gambar 17. NP-NT

Pada gambar 15 di dengan sudut keluar β_2 sebesar 40° tampak bahwa kecepatan keluar aliran air relatif lebih besar dibandingkan dengan kecepatan putaran turbin.

Sebaliknya dengan sudut keluar β_2 sebesar 40° tampak bahwa kecepatan keluar aliran air absolut lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan putarn turbin.

Berkebalikan dengan gambar 16 dengan sudut masuknya β_1 sebesar 115° tampak bahwa kecepatan masuk aliran air relatif lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan putaran turbin.

Sebaliknya dengan sudut masuk β_1 sebesar 115° tampak bahwa kecepatan masuk aliran air absolut lebih besar dibandingkan dengan kecepatan putaran turbin.

Pada gambar 17, dalam pengujian ini dapat kita lihat bahwa jumlah gigi pada roda gigi mempengaruhi putaran yang dihasilkan. Tampak juga bahwa jumlah gigi yang lebih sedikit menghasilkan putaran yang lebih banyak. Dalam hal ini jumlah gigi pada roda gigi di poros turbin memiliki 18 gigi, sedangkan jumlah gigi pada roda gigi di poros pinion memiliki 10 gigi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Kecepatan aliran yang semakin besar menghasilkan kecepatan putaran turbin Kaplan yang semakin besar pula.
2. Hasil pengujian sesuai dengan hasil teoritis, yaitu sama-sama membentuk grafik yang linier
3. Kecepatan relatif fluida keluar lebih besar daripada kecepatan fluida masuknya, $W_2 > W_1$, dan kecepatan absolut fluida keluar lebih kecil daripada kecepatan absolut fluida masuknya, $C_2 < C_1$
4. Deviasi kecepatan fluida antara hasil teoritis dan hasil pengujian rata-rata adalah 0,1 m/s.
5. Jumlah gigi pada roda gigi mempengaruhi putaran yang dihasilkan. Jumlah gigi pada poros pinion yang lebih sedikit daripada jumlah gigi pada poros turbin menghasilkan putaran pinion yang lebih besar dari putaran turbin.
6. Perubahan variasi kecepatan aliran terhadap kecepatan absolut, dan kecepatan relatif turbin

Kaplan adalah linier, berbanding lurus dengan meningkatnya putaran turbin.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Arismunandar, Wiranto. 1997. Penggerak Mula: Turbin. Bandung.
- [2] Artono Koestoer, Raldi. 2004. Pengukuran Teknik. Jakarta: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Univ. Indonesia.
- [3] Basri, Hasan. 2009. Mesin - Mesin Fluida. Palembang.
- [4] Cheremisinoff, Nicholas P. 1988. Flow Measurement for Engineers and Scientists. New York: Marcel Dekker, Inc.
- [5] Deutschman, Aaron D. 1975. Machine Design: Theory and Practice. New York: Macmillan Publishing Co, Inc.
- [6] <http://www.flowmeters.com>
- [7] <http://www.ilmukelautan.com/instrumentasi-dan-hidroakustik/instrumentasi-kelautan>
- [8] <http://www.omega.com/prodinfo/flowmeters.html>
- [9] Kaprawi. 2010. Petunjuk Praktikum Fenomena Dasar Mesin. Indralaya.
- [10] M. M. Dandekar, K. N. Sharma. 1998. Pembangkit Listrik Tenaga Air. Jakarta: Erlangga.
- [11] Patty, O.F. 1994. Tenaga Air. Surabaya: Erlangga.
- [12] Pudjanarso, Astu. 2008. Mesin Konversi Energi. Surabaya.
- [13] Silvia Ilmiaty, Reini. 2011. Petunjuk Praktikum Hidrolika. Indralaya

