

# TEKNIKA

Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Andalas  
Seri ENERGI DAN EKOLOGI

PEMBANGUNAN PENGENDALI BANJIR YANG BERWAWASAN LINGKUNGAN, STUDI KASUS PENGENDALI BANJIR BATANG ANAI, SUMATERA BARAT	Bambang Istijono
PENGARUH PENAMBAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) TELUK SIRIH PADA SISTEM KELISTRIKAN SUMATERA BAGIAN TENGAH	Heru Dibyo Laksono, M. Nasir Sonni, Miko Mahendra
ANALISIS KUALITAS UDARA AMBIEN KOTA PADANG AKIBAT PENCEMAR PARTICULATE MATTER 10 m M ( $PM_{10}$ )	Yenni Ruslinda, Didi Wiranata
INVESTIGASI UNJUK KERJA SISTEM PENERANGAN TENAGA SURYAT IPE BERDIRI SENDIRI SETELAH BEROPERASI SATU TAHUN DI SLEMAN, YOGYAKARTA	Muhammad Nadjib
PEMBUATAN BIOETANOL DARI TEBU DAN UBI JALAR SERTA PENGUJIAN PADA MOTOR BAKAR TORAK	Jefri Litya, Iskandar R
PENGUJIAN KARAKTERISTIK TURBIN ANGIN PROPEL TIGA SUDU SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF DI KECAMATAN LINGGO SARI BAGANTI KAB. PESISIR SELATAN	Fandhi X Vananda, Iskandar R
KINERJA KAPORIT DALAM PENYISIHAN E. COLI PADA AIR PENGOLAHAN PDAM	Puti Sri Komala, Feni Agustina
KAJIAN CFD PERBANDINGAN KINERJA TIGA BUAH MODEL RUNNER TURBIN FRANCIS	Gusriwandi

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ANDALAS PADANG**

TEKNIKA	Volume 21	Nomor 2	Halaman 1-84	Padang Juli 2014	ISSN 0854-8471
---------	--------------	------------	-----------------	---------------------	-------------------

**Jurnal TeknikA**  
**Volume 21 Nomor 2 Juli 2014**  
**ISSN: 0854-8471**

**Penerbit**

Jurusan Teknik Mesin  
 Fakultas Teknik – Universitas  
 Andalas

**Penasehat**

Rektor Universitas Andalas  
 Dekan Fakultas Teknik  
 Universitas Andalas  
 Ketua Jurusan Teknik Mesin  
 Universitas Andalas

**Reviewer**

Prof. Dr.-Ing. Mulyadi Bur  
 Prof. Dr.-Ing. Hairul Abral  
 Prof. Dr. Eng. Gunawarman  
 Prof. Dr. Eng. Zaidir  
 Dr. Eng. Syamsul Huda  
 Dr. Eng. Meifal Rusli  
 Dr. Adjar Pratoto  
 Dr.-Ing. Agus Sutanto  
 Adek Tasri, Ph.D  
 Dr.-Ing. Uyung Gatot SD  
 Ismet H. Mulyadi, Ph.D  
 Dr. Eng. Lusi Susanti  
 Henmaidi, Ph.D  
 Ikhwana, Ph.D  
 Refdinal Nazir, Ph.D  
 Purnawan, Ph.D  
 Dr. Eng. Slamet Raharjo  
 Dr. Puti Sri Komala

**Ketua Redaksi**

Firman Ridwan, Ph. D

**Redaksi Pelaksana**

Dr. Eng. Eka Satria  
 Dr. Eng. Lovely Son  
 Dendi Adi Saputra, MT

**Sekretaris Redaksi**

Merry Nursanti, S.Si

**Alamat Redaksi**

Jurusan Teknik Mesin  
 Fakultas Teknik  
 Universitas Andalas  
 Kampus Limau Manis  
 Padang, 25163  
 Telepon: (0751)-72586  
 Fax: (0751)-72566  
 e-mail: teknika@ft.unand.ac.id

Daftar Isi.....	i
Kata Pengantar Dekan Fakultas Teknik.....	ii
Kata Pengantar Ketua Jurusan Teknik Mesin.....	iii
Pengantar Redaksi.....	iv
Pembangunan Pengendali Banjir Yang Berwawasan Lingkungan, Studi Kasus Pengendali Banjir Batang Anai, Sumatera Barat <b>Bambang Istijono</b> .....	1
Pengaruh Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sirih Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Tengah <b>Heru Dibyo Laksono, M. Nasir Sonni, Miko Mahendra</b> .....	9
Analisis Kualitas Udara Ambien Kota Padang Akibat Pencemar <i>Particulate Matter</i> 10 $\mu$ M (Pm <sub>10</sub> ) <b>Yenni Ruslinda, Didi Wiranata</b> .....	19
Investigasi Unjuk Kerja Sistem Penerangan Tenaga Surya Tipe Berdiri-Sendiri Setelah Beroperasi Satu Tahun Di Sleman, Yogyakarta <b>Muhammad Nadjib</b> .....	29
Pembuatan Bioetanol Dari Tebu Dan Ubi Jalar Serta Pengujian Pada Motor Bakar Torak <b>Jefri Litya, Iskandar R</b> .....	45
Pengujian Karakteristik Turbin Angin Propeler Tiga Sudu Sebagai Energi Alternatif Di Kecamatan Linggo Sari Baganti Kab. Pesisir Selatan <b>Fandhi X Vananda, Iskandar R</b> .....	57
Kinerja Kaporit Dalam Penyisihan <i>E Coli</i> Pada Air Pengolahan PDAM <b>Puti Sri Komala, Feni Agustina</b> .....	66
Kajian CFD Perbandingan Kinerja Tiga Buah Model Runner Turbin Francis <b>Gusriwandi</b> .....	77

**KATA PENGANTAR****DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS**

Akhirnya Jurnal yang sama-sama kita banggakan ini dapat terbit sesuai dengan rencana. Nomor ini merupakan edisi kedua untuk tahun ke-21 sejak berdirinya Jurnal TeknikA dari tahun 1993. Tidak terasa dengan segala keterbatasan yang ada, kita semua khususnya pimpinan redaksi bersama stafnya mampu menghadirkan Jurnal ini secara berkesinambungan selama 21 (dua puluh satu) tahun. Mudah-mudahan untuk tahun-tahun berikutnya, jurnal ini akan tampil lebih baik terutama dari segi kualitas isi ataupun kuantitasnya serta memenuhi format standar atau sesuai kaidah-kaidah yang ada pada pedoman penerbitan jurnal ilmiah yang dikeluarkan oleh Kementerian Pendidikan Tinggi dan Ristek.

Pada penerbitan kali ini semua jurusan yang ada di Fakultas Teknik telah mengirimkan naskahnya, sehingga kelima jurusan tersebut telah terwakili dalam edisi kali ini. Mudah-mudahan di masa yang akan datang seluruh jurusan kembali berpartisipasi. Dukungan dari seluruh staf pengajar akan sangat membantu perkembangan jurnal kita ini. Sangat diharapkan para staf pengajar yang telah berhasil membimbing mahasiswa hingga selesai sarjana sedapatnya membuat hasil penelitiannya tersebut dalam format siap publikasi seperti pada Jurnal TeknikA ini. Dengan jalan demikian para masyarakat ilmiah lainnya dapat mengetahui perkembangan ilmu pengetahuan secara terus-menerus melalui publikasi ilmiah tersebut.

Terakhir kami ingin menyampaikan terima kasih banyak kepada para staf redaksi, sebab dalam kondisi serba terbatas, disamping melakukan tugas pokok sehari-hari, masih bisa meluangkan waktu untuk menerbitkan Jurnal TeknikA Volume 21 Nomor 2 Juli 2014 ini. Segala usaha dan jerih payah para staf semua akan membantu dalam menunjang perkembangan dan kemajuan Fakultas Teknik Universitas Andalas, semoga hal ini diberkati oleh Allah SWT.

Padang, Juli 2014  
Fakultas Teknik Unand  
Dekan,

Prof. Dr.-Ing. Hairul Abral  
NIP. 196608171992121001

**KATA PENGANTAR****KETUA JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ANDALAS**

Ucapan selamat dan terima kasih, kami haturkan kepada Bapak/Ibu yang telah mengirimkan artikel ilmiah ke redaksi Jurnal TeknikA Edisi Juli Tahun 2014 (Seri Energi dan Ekologi). Pada Tahun 2014 ini, penerbitan Jurnal TeknikA disusun berdasarkan kelompok bidang keahlian yang berada dalam rumpun ilmu yang sama. Tujuan pengelompokan ini adalah untuk memudahkan proses peningkatan kualitas Jurnal TeknikA kita ini melalui akreditasi Jurnal Ilmiah yang diselenggarakan oleh Dirjen Pendidikan Tinggi (DIKTI).

Untuk itu, dukungan dan partisipasi yang telah Bapak/Ibu berikan sangat bermanfaat untuk kemajuan dan peningkatan kualitas Jurnal TeknikA kita di masa yang akan datang. Tak lupa, kami sampaikan ucapan terima kasih kepada staf redaksi Jurnal TeknikA yang telah bersusah payah untuk menerbitkan Jurnal TeknikA untuk Edisi Juli 2014, dan mohon maaf sekiranya masih terdapat kekurangan dalam hal pelayanan dan penerbitan Jurnal TeknikA ini.

Padang, Juli 2014  
Jurusan Teknik Mesin FTUA  
Ketua,

Dr. Ir. Is Prima Nanda, MT  
NIP. 19680927 199802 1001

## PENGANTAR REDAKSI

Puji Syukur kita panjatkan ke hadirat Illahi karena berkat rahmat-Nya Jurnal TeknikA yang kita cintai ini kembali menjumpai sidang pembaca melalui Volume 21 Nomor 2 Juli 2014. Pada edisi ini, naskah yang dapat dipublikasikan sebanyak 8 naskah.

Redaksi ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada para penulis yang telah mengirimkan naskahnya. Semoga usaha para penulis ditengah-tengah kesibukan sebagai staf pengajar memberikan manfaat yang besar bagi penulis dan bagi pembacanya.

Akhirnya redaksi berharap, semoga informasi masalah iptek yang disampaikan oleh Jurnal TeknikA Fakultas Teknik Universitas Andalas ini dapat bermanfaat bagi penambah khasanah bidang ilmu Teknik umumnya. Pada kesempatan ini pula izinkan kami dari redaksi untuk meminta maaf jika ada hal-hal yang tidak berkenan pada penerbitan jurnal kali ini. Kritik dan saran demi kesempurnaan penerbitan selanjutnya dengan senang hati selalu kami terima.

Padang, Juli 2014  
Ketua Dewan Penyunting,

Firman Ridwan, Ph. D  
NIP. 196907211965121001

## Kajian CFD Perbandingan Kinerja Tiga Buah Model Runner Turbin Francis

Gusriwandi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email: gusriwandi@ft.unand.ac.id

### Abstrak

Kajian ini berisi tentang simulasi computational fluid dynamics (CFD) dari tiga model turbin francis dengan bilangan spesifik perancangan, tipe airfoil runner dan komponen lain seperti spiral casing, draft tube dan jumlah sudu yang sama. Perbedaan pada masing-masing turbin adalah bentuk kurva leading dan trailing edge yang divariasikan saat tahap perancangan bidang meridional runner. Bentuk leading dan trailing berpengaruh pada ukuran sudu runner saja, tidak mengubah dimensi utama runner. Ukuran sudu runner mempengaruhi aliran di dalam runner sehingga kinerja runner menjadi berbeda. Tiga pasang bentuk leading dan trailing edge dipilih menggunakan persamaan parabola dengan dimensi utama runner sebagai titik-titik acuan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software CFD, kondisi steady state, moving reference frame (MRF), model turbulensi k-epsilon, mass flow inlet dan pressure outlet sebagai kondisi batas. Kinerja utama yang diamati pada runner adalah daya keluaran dan efisiensi dengan bervariasi debit aliran. Hasil simulasi menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada daya keluaran, tetapi terjadi pada efisiensi pada debit aliran dibawah debit aliran perancangan. Visualisasi aliran juga menunjukkan perbedaan yang signifikan pada potensi terjadinya kavitasi di ketiga turbin. Simulasi ini memberikan kontribusi pada perancangan dalam memilih bentuk runner yang mempunyai kinerja optimal sesuai batasan perancangan yang ada.

**Kata kunci :** CFD, francis turbin runner, leading, trailing, meridional, k-epsilon, mass flow inlet, pressure outlet, MRF

### Abstract

This study is subjected to computational fluid dynamics (CFD) simulation of three francis turbines with equal in specific velocity design, runner airfoil type, and other components such as spiral casing, draft tube and number of runner blades. Difference on those runners is leading and trailing edge shape, where their shapes were chosen in runner meridional plane design step. The shape of leading and trailing edge affect on runner blade dimension but do not on runner primary dimension. Runner blade dimension affect flows in runner, thus different result present on runner performance. Three couples of leading and trailing edge were chosen using parabolic shape where runner primary dimensions were used as reference points. Simulation was conducted by using CFD software with steady state simulation condition, moving reference frame (MRF), k-epsilon turbulence model, and mass flow inlet and pressure outlet as boundary conditions. The important performances runner such as power output and efficiency were investigated by varying turbine flow rate. Simulation results showed there was no significant difference on power output but there was on efficiency below design flow rate variations. Flow visualization also showed significant difference on cavitation potential on those three runners. This simulation contribute to runner designer in choosing runner shape to achieved runner optimal performance due to design constraints.

**Keywords :** CFD, francis turbin runner, leading, trailing, meridional, k-epsilon, mass flow inlet, pressure outlet, MRF.

## 1. Pendahuluan

Aliran pada turbin francis sangat kompleks. Tidak ada model matematika yang dapat diselesaikan secara analitis namun ini membutuhkan usaha dan biaya yang sangat besar. Salah satu solusinya adalah kajian eksperimental, kajian ekperimental adalah simulasi komputer menggunakan software yang dikenal sebagai computational fluid dynamics (CFD). Keberhasilan simulasi CFD pada turbin air telah banyak dilakukan, dimana hasil yang diperoleh dapat diterima, mengacu pada hasil kajian ekperimental. Sumber daya komputer yang semakin besar saat ini juga telah mendorong pengujian secara virtual dengan CFD menjadi pilihan utama sebelum model akhir diperoleh. Gusriwandi [1] telah berhasil menyusun sebuah prosedur perancangan dasar runner turbin francis menggunakan pendekatan empirik-metode numerik, namun kinerja runner yang dihasilkan perlu diuji. Banyak parameter perancangan yang perlu divariasikan agar diperoleh sebuah runner yang optimal sesuai dengan input dan batasan-batasan perancangan yang ada, termasuk kekuatan sudu dan biaya produksi runner. Dalam tulisan ini dikaji hubungan antara debit aliran dengan daya output dan efisiensi dari tiga buah runner turbin francis yang dirancang pada bilangan spesifik sama, yaitu 195,3 dengan head sebesar 60 m dan debit 2 m<sup>3</sup>/s. Perbedaan ketiga runner turbin terletak pada bentuk kurva leading dan trailing edge, yang divariasikan pada tahap perancangan bidang meridional runner. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software CFD. Kondisi simulasi adalah steady state, dengan tipe *moving reference frame* (MRF), model turbulensi adalah k-epsilon dengan *mass flow inlet* dan *pressure outlet* sebagai kondisi batas.

## 2. Studi Literatur

Nechleba [2] menjelaskan pencarian medan meridional runner turbin francis dengan metode grafis-analitis, namun tidak ada acuan baku dalam pemilihan kurva leading dan trailing edge, sehingga perancang leluasa dalam menentukan bentuk kedua kurva tersebut. Sedikit dari sekian banyak batasan yang ada adalah, dimensi/ukuran sudu yang dihasilkan serta kekuatan dan biaya produksi dari sudu tersebut. Perkembangan kajian aliran fluida menggunakan CFD, khususnya masalah aliran pada geometri yang kompleks seperti turbin air yang didukung oleh sumber daya komputasi yang memadai, membuat CFD semakin menjadi pilihan yang bisa diandalkan, dengan hasil yang baik. Jain., et. al [3] telah mensimulasikan sebuah turbin francis dengan kapasitas 3 MW untuk memprediksi efisiensi total turbin menggunakan software CFD (Fluent), dengan model turbulensi k-omega (k- $\omega$ ), steady state, dua tipe kondisi batas yaitu pressure inlet – pressure outlet dan mass flow inlet- pressure outlet, didapati bahwa kondisi batas kedua memberikan hasil yang lebih baik dan telah memvalidasinya dengan eksperimen, dimana hasil CFD dan eksperimen menunjukkan kecocokan yang bagus. Patel., et. al [4] melakukan perancangan dasar komponen-komponen turbin francis seperti runner, spiral casing dan draft tube, kemudian melakukan proses optimasi dengan CFD. Didapati bahwa penggunaan CFD telah menghemat banyak usaha, waktu, biaya proses tersebut.

### Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD adalah suatu teknik menganalisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas ataupun reaksi kimia menggunakan simulasi komputer. Ada dua persamaan dasar untuk kajian aliran fluida pada turbin air yaitu :

1. Kekekalan massa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (1)$$

2. Kekekalan momentum :

$$\rho \left[ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \vec{V} \right] = F_b - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot \vec{V}) \quad (2)$$

CFD memanipulasi kedua persamaan dasar diatas ke dalam bentuk persamaan aljabar diskrit dan diselesaikan untuk mendapatkan nilai-nilai diskrit pada ruang dan waktu tertentu, menggunakan komputer.

### Efisiensi Turbin dan Runner

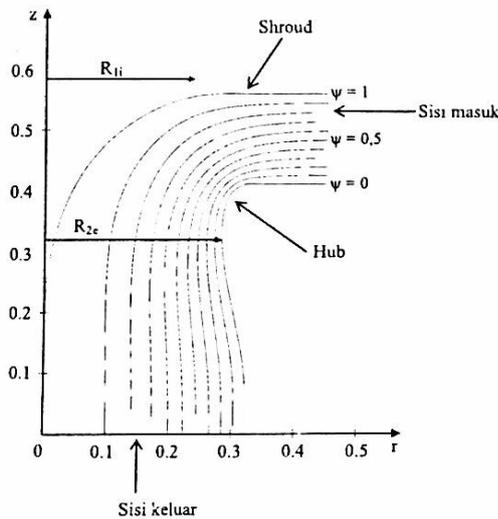
Secara umum, efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara output dengan input. Pada sistem turbin air, terdapat banyak cara untuk menghitung efisiensi, berdasarkan perbandingan daya output dengan input total sistem, berdasarkan presentase pressure drop pada berbagai komponen atau berdasarkan rugi-rugi pada berbagai komponen turbin. Patel., et. al. [4] melakukan analisis CFD turbin francis untuk meningkatkan efisiensi,

mengurangi kavitas, dan masalah-masalah dinamik yang terjadi, efisiensi dihitung dengan cara menghitung head drop pada setiap komponen. Drtina., et. al. [5] melakukan kajian CFD dan menghitung efisiensi turbin francis berdasarkan rugi tekanan yang terjadi pada setiap komponen. Dalam kajian ini, efisiensi runner dihitung berdasarkan torsi total runner dan drop tekanan yang terjadi pada runner :

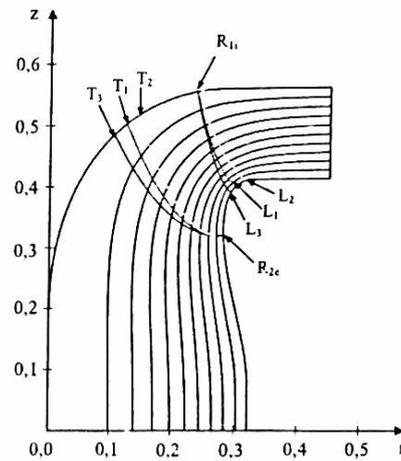
$$Efisiensi = \frac{P_{runner}}{P_{air}} = \frac{T \cdot \omega}{\Delta P \cdot Q} \tag{3}$$

### 3. Metode

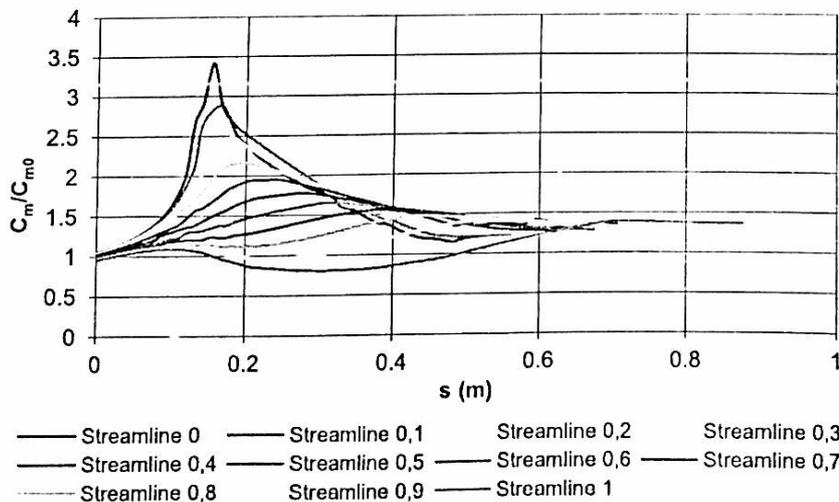
Model turbin yang digunakan adalah model turbin menggunakan prosedur perancangan yang disusun oleh Gusriwandi [1]. Input pada perancangan runner adalah head (H) = 60 m, debit (Q) = 2 m<sup>3</sup>/s, efisiensi = 90%, dan daya keluaran 1 MW. Variasi diterapkan pada pemilihan kurva leading (L) dan trailing (T) edge saat langkah perancangan bidang meridional runner. Ada tiga pasangan kurva leading dan trailing edge yang dipilih berdasarkan nilai kecepatan di sepanjang streamline-streamline ( $\psi$ ) bidang meridional runner. Bentuk kurva leading dan trailing edge menggunakan bentuk pendekatan yaitu kurva parabola, jadi dibutuhkan tiga titik untuk membentuk kurva-kurva tersebut. Untuk kurva leading edge, titik pertama adalah jari-jari hub, R<sub>1i</sub>, titik kedua dan ketiga dipilih titik pada streamline dengan nilai kecepatan yang tinggi. Untuk kurva trailing edge, titik pertama adalah jari-jari shroud, R<sub>2c</sub>, titik-titik berikutnya dipilih pada titik streamline dengan kecepatan keluar yang hampir sama. Ilustrasi bidang meridional runner dan pemilihan kedua kurva tersebut dapat dilihat pada gambar 1.a dan 1.b. Pada gambar 2 ditunjukkan variasi kecepatan sepanjang streamline yang dapat digunakan sebagai acuan dalam memilih kurva leading dan trailing edge.



Gambar 1.a Bidang meridional runner dengan dimensi utama R<sub>1i</sub> dan R<sub>2c</sub> [1].



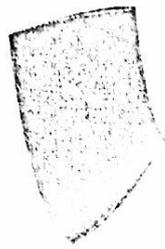
Gambar 1.b Pemilihan titik-titik kurva leading dan trailig edge.



Gambar 2. Variasi kecepatan sepanjang streamline.

Setelah kurva leading dan trailing edge ditentukan, dengan teknik conformal mapping, streamline ditransformasi ke bidang tegak lurus poros runner, hasil transformasi streamline merupakan kurva chamber dari airfoil yang

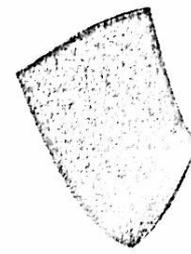
dipakai , dengan demikian kordinat tiga dimensi dari sudu runner didapatkan dan menggunakan software CAD bentuk sudu dari ketiga runner bisa diperoleh [1].



a Sudu runer turbin 1

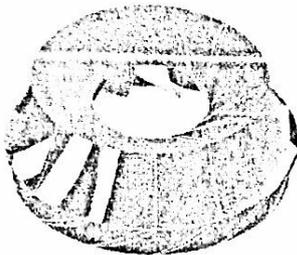


b Sudu runner turbin 2

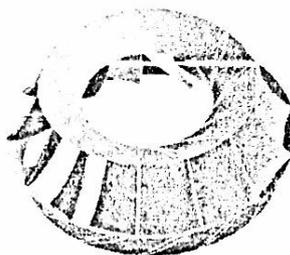


c Sudu runner turbin 3

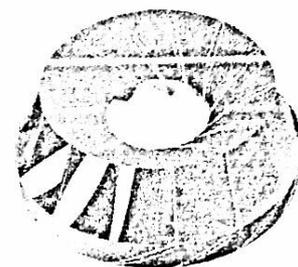
Gambar 3 Sudu runner



a Runner turbin 1



b Runner turbin 2

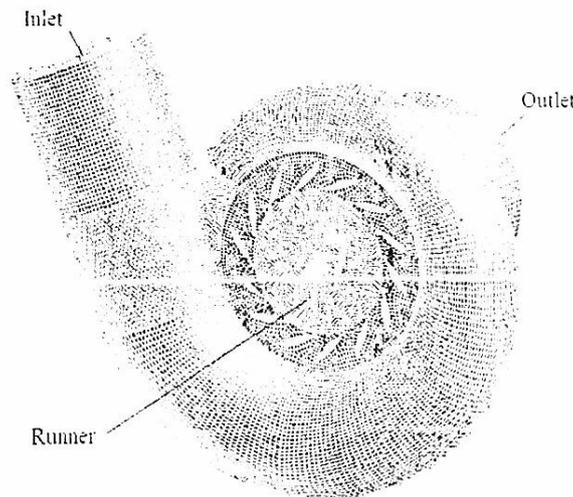


c Runner turbin 3

Gambar 4. Runner

**Simulasi CFD**

Untuk proses simulasi CFD, diperlukan komponen lain seperti spiral casing, sudu pengarah dan draft tube, kemudian dilakukan proses diskritisasi/meshing turbin (domain), seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil meshing turbin 1

Kondisi simulasi untuk ketiga turbin adalah sebagai berikut :

- Jumlah elemen meshing : lebih kurang 500.000 elemen, terdiri dari tipe tetrahedral dan hexahedral
- Model turbulensi : k-epsilon
- Kondisi batas inlet : mass flow inlet
- Kondisi batas outlet : pressure outlet

- Kondisi kerja turbin : steady state, MRF
- Input simulasi : debit aliran (dalam bentuk laju aliran massa)
- Output simulasi : torsi runner

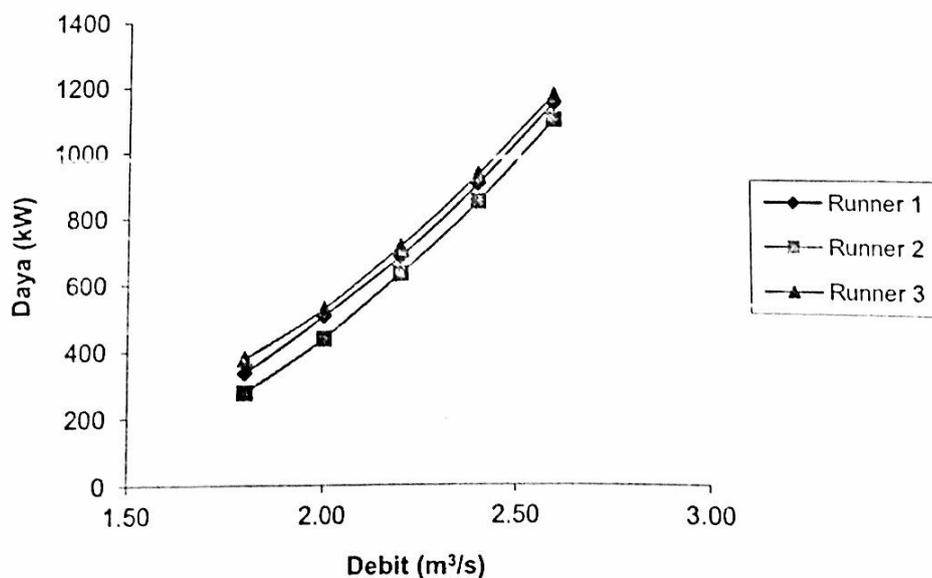
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi dari ketiga turbin dapat dilihat pada tabel 1.

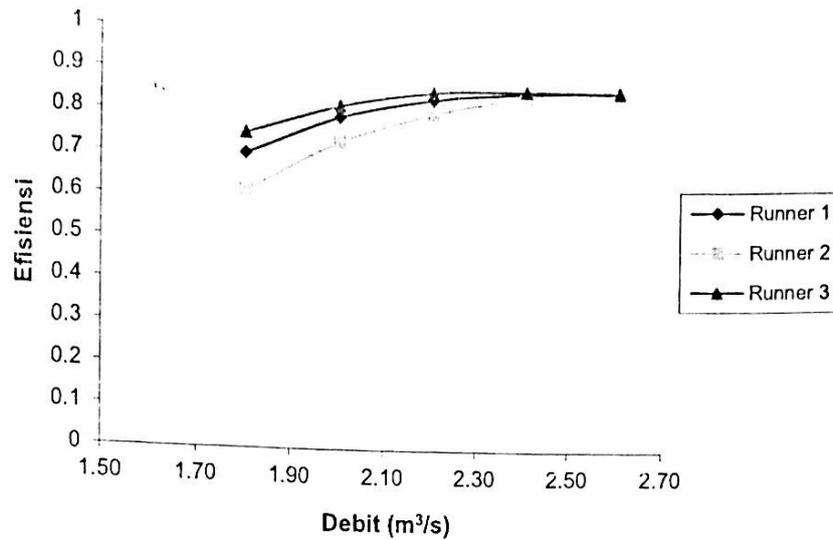
Tabel 1 Hasil simulasi turbin

Turbin	Mass flow (kg/s)	Pressure drop runner (kPa)	Torsi runner (N.m)
1	1.800	189,8	3.268,4
	2.000	206,3	4.843,7
	2.200	243,5	6.595,8
	2.400	272,8	8.689,7
	2.600	308,1	11.058,6
2	1.800	187,9	2.718,9
	2.000	213,9	4.265,1
	2.200	242,4	6.108,5
	2.400	268,9	8.172,5
	2.600	301,2	10.567,9
3	1.800	191,6	3.676,4
	2.000	217,2	5.093,6
	2.200	235,5	6.875,3
	2.400	275,1	8.961,5
	2.600	312,4	11.281,1

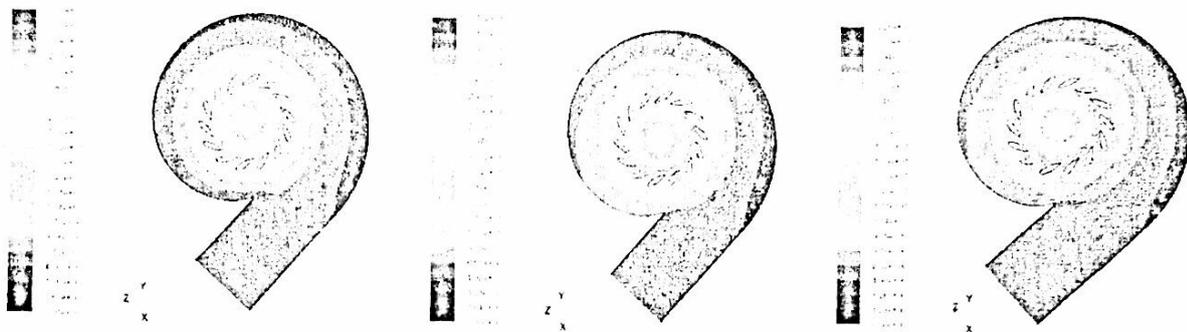
Simulasi dilakukan pada keadaan *steady state* sehingga putaran turbin dibuat tetap, yaitu pada 105 rad/s, sesuai dengan putaran poros pada tahap perancangan. Pada putaran yang tetap tersebut diamati perubahan torsi terhadap perubahan input simulasi yaitu laju aliran massa. Daya simulasi didapat dengan mengalikan torsi dengan putaran. Efisiensi dihitung dengan membandingkan daya output simulasi dengan daya input simulasi pada bagian runner. Hasil simulasi berupa daya dan efisiensi runner dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 6 dan 7. Pada gambar 6, dapat diamati bahwa perbedaan daya keluaran ketiga runner tidak berbeda secara signifikan. Sedangkan efisiensi ketiga runner pada gambar 7, terdapat perbedaan yang signifikan untuk variasi debit aliran dibawah debit perancangan. Hal tersebut terjadi karena laju penurunan torsi runner lebih tinggi dari pada pressure drop pada debit yang rendah.



Gambar 6. Daya runner



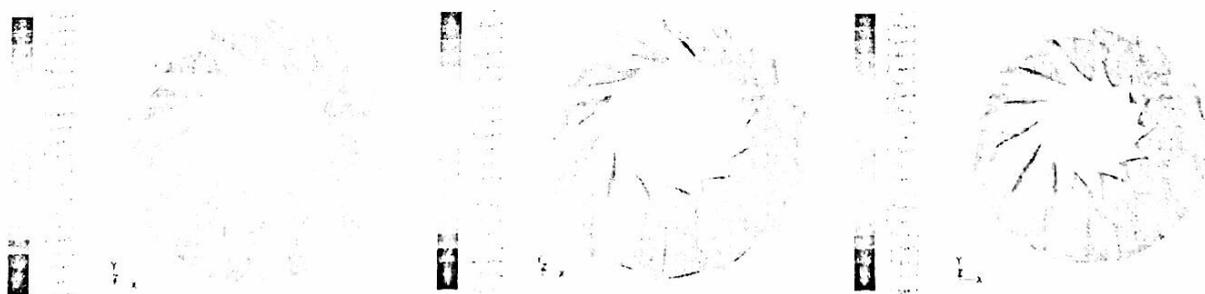
Gambar 7. Efisiensi runner



a Runner turbin 1 di bidang  $z = 0.5$  m b Runner turbin 2 di bidang  $z = 0.5$  m c Runner turbin 3 di bidang  $z = 0.5$  m

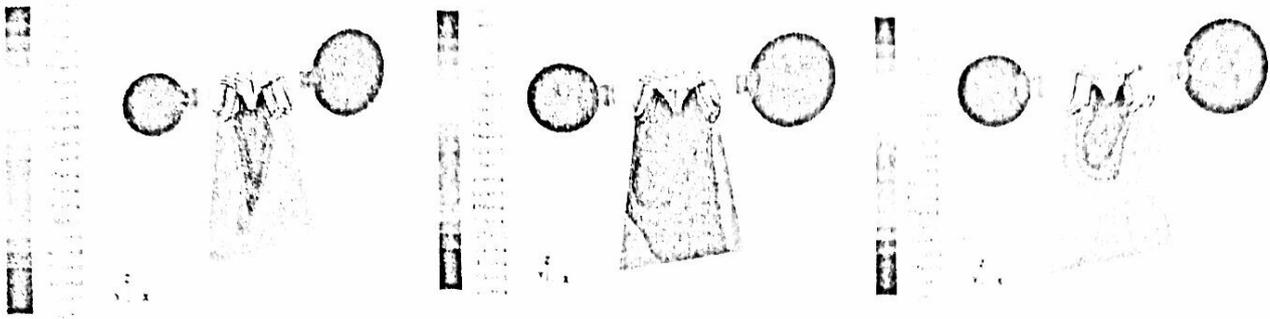
Gambar 8. Kontur kecepatan absolut

Visualisasi aliran pada beberapa komponen dapat membantu memberikan umpan balik pada proses perancangan pemilihan parameter runner, seperti spiral casing dan drafttube. Spiral casing dengan kinerja yang baik, akan meningkatkan kinerja runner. Pada gambar 8, terlihat spiral casing sudah mempunyai kinerja yang bagus pada ketiga turbin, kecepatan meningkat secara teratur dari diameter terluar spiral casing menuju sisi masuk sudu pengarah dan runner. Tekanan pada sisi pressure pada ketiga runner bisa dikatakan tidak memiliki perbedaan yang berarti, seperti terlihat pada gambar 9.



a Kontur tekanan statik runner 1,  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$  b Kontur tekanan statik runner 2,  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$  c Kontur tekanan statik runner 3,  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$

Gambar 9. Tekanan pada sudu runner



a Kontur tekanan statik runner 1,  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ , bidang  $y = 0$       b Kontur tekanan statik runner 2,  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ , bidang  $y = 0$       c Kontur tekanan statik runner 3,  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$ , bidang  $y = 0$

Gambar 10. Tekanan pada drafttube

Informasi mengenai kavitasasi dapat diperoleh pada ketiga turbin dengan melihat distribusi tekanan pada bagian draft tube. Kavitasasi merupakan fenomena menguapnya air pada tekanan yang sangat rendah. Seperti terlihat pada gambar 10, tekanan air yang rendah (warna biru), yaitu pada area dekat sisi keluar runner. Pemilihan bentuk kurva leading dan trailing memberikan potensi kavitasasi yang berbeda cukup signifikan pada ketiga turbin.

## 5. Kesimpulan

Dari kajian ini dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Pemilihan kurva leading dan trailing edge menentukan lebar sudu, tetapi tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada daya keluaran, hanya pada efisiensi runner pada debit aliran yang rendah.
2. Bentuk kurva leading dan trailing edge menentukan potensi kavitasasi pada turbin, dimana masalah kavitasasi adalah salah satu masalah krusial dalam perancangan runner turbin francis.
3. Simulasi CFD telah membantu designer mengamati karakteristik aliran yang kompleks pada runner turbin francis, sehingga memudahkan untuk mencari model runner optimal sesuai batasan perancangan yang ada.

## Nomenklatur

$\rho$	: massa jenis ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\omega$	: putaran sudut ( $\text{rad}/\text{s}$ )
$\Delta P$	: beda tekanan (Pa)
$p$	: tekanan (Pa)
$t$	: waktu (s)
$C_m$	: kecepatan meridional runner (m/s)
$F$	: gaya (N)
$V$	: kecepatan mutlak fluida (m/s)
$P_{runner}$	: daya runner (Watt)
$P_{air}$	: daya air (Watt)
$Q$	: debit aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$R_{li}$	: jari-jari shroud (m)
$R_{ze}$	: jari-jari hub (m)
$T$	: torsi runner (N.m)

## Daftar Pustaka

- [1] Gusriwandi. *Perancangan Dasar Runner Turbin Francis Menggunakan Persamaan Empirik-Analitik, Metode Empirik-Analitik, Metode Numerik, Conformal Mapping dan Simulasi CFD*, Proceeding Seminar National Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XIII) Universitas Indonesia, Jakarta ( Oktober 2014).
- [2.] Nechleba, M. (1957), *Hydraulic Turbine – Their Design and Equipment*, English Edition, Artia Prague, Czechoslovakia.
- [3] Jain S., Saini, P. R., Kumar, A., 2010, *CFD Approach for Prediction of Efficiency of Francis Turbine*, IGHM-Oct, 2010.

- [4] Patel, K., Desai, J., Chauhan, V., Charnia, S., 2011, *Development of Francis Turbine using Computational Fluid Dynamics*, Asian International Conference on Fluid Machinery, 21-23 November 2011.
- [5] Drtina, P., and Sallaberger, M., *Hydraulic Turbines – Basic Principles and State-of-the-art Computational Fluid Dynamics Applications*, Proceedings of Instn Mech engrs, Vol 213, Part C, 1999