

ANALISA PENGARUH GEOMETRI DAN JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA WELLS TURBINE

Bagus Prasetio¹⁾, Deddy Chrismianto¹⁾, Muhammad Iqbal¹⁾

¹⁾Program studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Email: bagusprasetio85@gmail.com, deddychrismianto@yahoo.co.id, m_iqbal@undip.ac.id

Abstrak

Badan Informasi Geospasial (BIG) menyebutkan, total panjang garis pantai Indonesia adalah 99.093 kilometer, hampir 100 kali panjang Pulau Jawa. Dengan garis pantai yang panjang tersebut, potensi energi ombak sangat besar. Energi yang dihasilkan ombak ini, jika dimanfaatkan tentu bisa menjadi sumber energi yang sangat besar. OWC (*Oscillating Water Column*) merupakan salah satu *wave converter* yang sedang dikembangkan oleh para peneliti di Dunia. Teknologi ini didukung dengan pengaplikasian *Wells Turbine* yang digunakan untuk merubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Pada penelitian kali ini, peneliti akan menganalisa pengaruh dari bentuk *geometri* dan jumlah sudu dengan variasi aliran *inlet* berdasarkan karakteristik perairan Pantai Gunung Kidul. Variasi foil yang digunakan adalah NACA 0010, NACA 0015, NACA 0020, dan NACA 0025 dengan variasi jumlah sudu 6 dan 8. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa turbin berupa gaya, torsi, daya, dan efisiensi turbin pada setiap variasi. Peneliti menggunakan software flow 3d untuk mengetahui kecepatan aliran udara yang melewati *ducting* dan software *Ansys CFX 14* untuk melakukan analisa gaya angkat pada sudu turbin. Berdasarkan hasil analisa, didapatkan bahwa nilai tekanan gelombang tertinggi didapat pada waktu 3,94 detik, sebesar 22.665,60 N/m² dengan simulasi yang dilakukan selama 40 detik, Nilai kecepatan udara tertinggi yang melewati *ducting* didapat pada waktu 18,37 detik, sebesar 32,13 m/s dengan simulasi yang dilakukan selama 20 detik, Nilai gaya tangensial tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 15,09 N, Nilai Torsi tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 36,21 Nm, Nilai Daya tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 3,64 kW, Nilai Efisiensi tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 64%, sehingga turbin dengan foil NACA 0025 dan 8 sudu merupakan geometri turbin yang paling optimum digunakan pada pembangkit listrik tenaga gelombang air laut di Pantai Gunung Kidul.

Kata kunci : OWC, *Wells Turbine*, gaya tangensial, torsi, daya, efisiensi

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi belakangan ini semakin bertambah. Di Indonesia, menurut data dari Departemen ESDM, kebutuhan total energi untuk masyarakat dari energi listrik sebesar 10% dan yg terbesar adalah kebutuhan energi BBM sebesar 60% [1]. Badan Informasi Geospasial (BIG) menyebutkan, total panjang garis pantai Indonesia adalah 99.093 kilometer, hampir 100 kali panjang Pulau Jawa. Dengan garis pantai yang panjang tersebut, potensi energi ombak sangat besar. Energi yang dihasilkan ombak ini, jika dimanfaatkan tentu bisa menjadi sumber

energi yang sangat besar. Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) pada tahun 2011 telah mendata potensi energi listrik yang bisa dihasilkan ombak. Arus pasang surut memiliki potensi teoretis sebesar 160 Gigawatt (GW), potensi teknis 22,5 GW, dan potensi praktis 4,8 GW.

OWC (*Oscillating Water Column*) merupakan salah satu *wave converter* yang sedang dikembangkan oleh para peneliti di Dunia [7]. Teknologi ini didukung dengan pengaplikasian *Turbine Wells* yang digunakan untuk merubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Para peneliti telah mengembangkan

parameter yang dapat meningkatkan performa dari *Wells Turbine*, salah satunya adalah dengan mencari geometri dan jumlah sudu yang optimum untuk *Wells Turbine*. Berdasarkan eksperimen pada skala kecil yang dilakukan oleh Setoguchi dan Takao pada tahun 2001 [2], geometri sudu yang optimum untuk *wells turbine* adalah tipe Foil NACA 0020 dengan aliran *steady state* dan kecepatan aliran rendah. Sedangkan menurut eksperimen pada skala besar dimana turbin telah diaplikasikan pada *wave converter* yang dikembangkan oleh LIMPET pada tahun 2004, menurut Takao, geometri sudu yang optimum adalah tipe NACA 0015 dengan jumlah sudu yang optimal delapan sudu [2]. Dengan demikian pengaruh dari jumlah dan geometri sudu *wells turbine* belum dapat diklarifikasi.

Pada penelitian kali ini, peneliti akan menganalisa pengaruh dari bentuk geometri dan jumlah sudu dengan variasi aliran *inlet* berdasarkan karakteristik perairan Pantai Gunung Kidul. Variasi foil yang digunakan adalah NACA 0010, NACA 0015, NACA 0020, dan NACA 0025 dengan variasi jumlah sudu 6 dan 8.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mengetahui karakteristik gelombang air laut pada wilayah Pantai Selatan Jawa?
2. Bagaimana menghitung kecepatan aliran udara yang melewati turbin akibat pengaruh gerakan osilasi gelombang pada *Oscillating Water Column* ?
3. Bagaimana pengaruh geometri dan jumlah sudu terhadap gaya, torsi, daya, dan efisiensi pada *Wells Turbine* ?
4. Bagaimana geometri dan jumlah sudu turbin yang optimum pada *Wells Turbine* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian yang digunakan agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan adalah :

1. Menggunakan jenis aliran *steady-state* pada *inlet*.

2. Variasi geometri sudu menggunakan foil tipe NACA 0025, NACA 0020, NACA 0015, dan NACA 0010.
3. Sudu turbin divariasikan dengan jumlah enam dan delapan sudu
4. Menggunakan *sea climate* pada perairan Pantai Gunung Kidul.
5. Peneliti menggunakan *software CFD* untuk menganalisa.

1.4. Tujuan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghitung tekanan gelombang pada perairan Pantai Gunung Kidul
2. Mendapatkan nilai kecepatan aliran udara pada *ducting* yang akan digunakan sebagai kecepatan *inlet*.
3. Mengetahui pengaruh variasi geometri dan jumlah sudu terhadap gaya, torsi, daya, dan efisiensi turbin
4. Mengetahui geometri dan jumlah sudu turbin yang optimal pada performa *Wells Turbine*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan

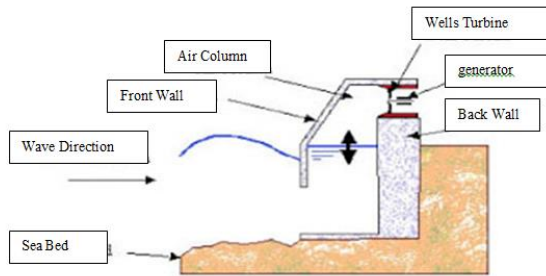
Sebagian besar energi yang digunakan rakyat Indonesia saat ini berasal dari bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas dan batu bara. Dengan adanya kebijakan pemerintah untuk melakukan penghematan energi, maka perlu dilakukan pencarian sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan[3]. Adapun contoh dari energi terbarukan :

- a. Energi matahari (*solar energy*)
- b. Energi laut
- c. Energi panas
- d. Energi air
- e. Energi angin

2.2. Oscillating Water Column (OWC)

Dari beberapa jenis WEC (Wave Energy Converter) tipe Oscillating Water Column adalah tipe WEC yang paling populer. Sistem ini membangkitkan listrik dari naik turunnya air laut akibat gelombang laut yang masuk ke dalam sebuah kolom osilasi yang berlubang. Naik turunnya air laut ini akan mengakibatkan keluar masuknya udara di lubang bagian atas kolom dan tekanan yang dihasilkan dari naik turunnya air laut dalam kolom tersebut akan menggerakkan

turbin [3].



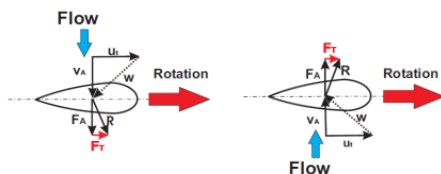
Gambar 1. Sketsa gambar OWC tampak samping

2.3 Wells Turbine

Penelitian yang mendalam mengenai pembangkit listrik tenaga gelombang dimulai pada beberapa negara pada akhir tahun 1970-an oleh prof. Allan Arthur Wells dari *Queen's University Belfast*.

Foil simetris disusun mengelilingi hub pada *stagger angle* 90° dengan bidang *chord* yang sejajar pada sumbu putar. Berdasarkan konsep dasar sebuah *foil*, jika *foil* memiliki aliran dengan sudut serang sebesar α maka akan menghasilkan gaya angkat F_l sejajar dengan aliran bebas dan gaya dorong F_d pada arah dari aliran bebas. *Lift force* dan *drag force* dapat dikombinasikan untuk mendapatkan *tangential force* F_t dan *axial force* seperti pada gambar 2. Untuk foil dengan bentuk simetris, arah *tangential force* memiliki nilai yang sama untuk nilai sudut serang positif maupun negatif [5].

Foil simetris disusun melingkari sumbu putar akan berputar searah dengan *tangential force* mengikuti arah aliran udara. Gaya F_t berperan pada torsi dan *blade power*, *Axial force* F_a menghasilkan gaya dorong axial sepanjang sumbu putar. Hal ini membuat *turbine wells* berputar dengan akibat aliran udara dari berbagai arah tanpa membutuhkan return-valve. *Tangential force* F_t dan *axial force* F_a ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Axial dan Tangential force pada wells turbine

2.4. Parameter pada Wells turbine

Banyak jurnal yang telah membahas mengenai prinsip dari operasi dan faktor yang mempengaruhi performa dari *wells turbine*, baik secara eksperimen maupun teori. Performa dari *wells turbine* terdiri atas *power output*, tekanan pada turbin, *turbine efficiency*, dan *range* operasi turbin. Performa dari perangkat *wave converter* tergantung pada kemampuan energi yang diserap pada OWC yang berhubungan dengan tekanan yang berbeda yang melewati turbin dan juga efisiensi turbin. Sebuah pengujian dengan menggunakan aliran dengan arah yang berbeda telah dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh *flow coefficient* ϕ , koefisien tekanan dan efisiensi dari turbin bersudu tunggal.

2.5 Airfoil NACA (National Advisory Committee for Aeronautics)

NACA *airfoil* adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*.

Pada *airfoil* NACA seri empat, digit pertama menyatakan persen maksimum *camber* terhadap *chord*. Digit kedua menyatakan persepuluh posisi maksimum *camber* pada *chord* dari *leading edge*. Sedangkan dua digit terakhir menyatakan persen ketebalan *airfoil* terhadap *chord*. Contoh : *airfoil* NACA 2412 memiliki maksimum *camber* 0,02 terletak pada 0,4c dari *leading edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% *chord* atau 0,12c.

2.6. Computational Fluid Dynamics

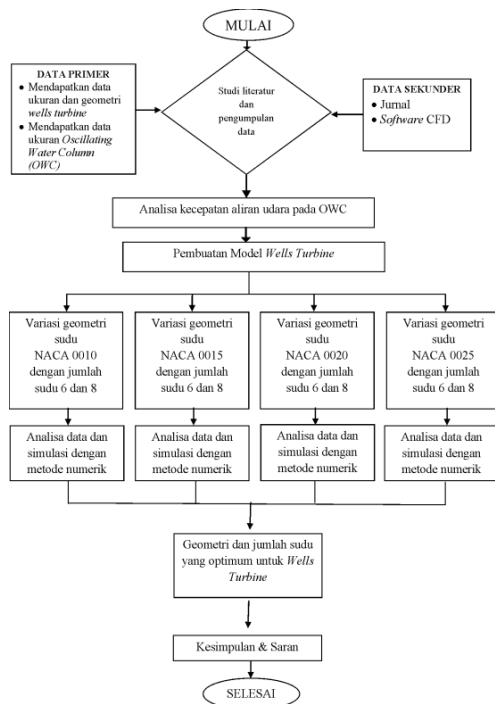
Computational Fluid Dynamics (CFD), merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas.

Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- a. Pre Processor
- b. Solver Manager
- c. Post Processor

III. METODOLOGI

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir ini. Tahapannya digambarkan dalam *flowchart* berikut:

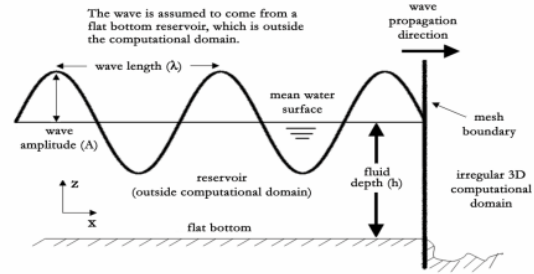


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

IV. PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan *Pressure* Gelombang Perairan Gunung Kidul

Penelitian ini mengambil lokasi Pantai Baron yang terletak di kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pantai Baron terletak di bagian selatan yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Berdasarkan dari data gelombang yang diperoleh dari BPPT-BPDP, tinggi gelombang pada perairan Pantai Gunung Kidul sebesar $H_s = 1,2$ m dan periode $T_s = 7,5$ detik [6].



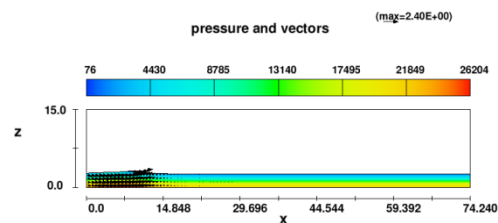
Gambar 4. Definisi Gelombang

Untuk mensimulasikan gelombang perairan Pantai Gunung Kidul, peneliti menggunakan *software Flow3d 9.3* untuk mendapatkan *fluid elevation*, *pressure*, dan *velocity* gelombang pada tiap detik.

Tabel 1. *Boundary Condition*

Location	Boundary Condition
X min	Wave Definition Periode = 7,5 s Amplitudo = 0.6 m
X max	OutFlow
Y min	Wall
Y max	Wall
Z min	Wall
Z max	OutFlow

Pada simulasi gelombang, peneliti melakukan simulasi selama 40 detik untuk melihat fase gelombang sebanyak empat gelombang.



Gambar 5. *Contour* tekanan pada simulasi gelombang

Untuk memvalidasi hasil analisa dengan *flow 3d*, peneliti melakukan perhitungan nilai tekanan gelombang dengan menggunakan rumus tekanan hidrostatik :

$$\Delta P = \rho g \cdot (h_1 - h_2) \quad (1)$$

Dimana :

P = Tekanan gelombang (N/m²)

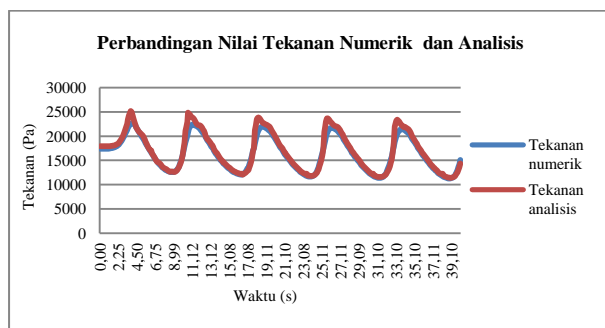
ρ = Densitas (kg/m³)

h_1 = Tinggi elevasi gelombang (m)

h_2 = Tinggi probe (m)

Contoh perhitungan tekanan pada gelombang laut :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \rho g \cdot (h_1 - h_2) \\ &= 1025 \cdot 9,8 \cdot (2,50 - 0,72) \\ &= 17900,7 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$



Gambar 6. Perbandingan nilai pressure dengan metode numerik dan analisis

Berdasarkan grafik pada gambar 6, nilai *pressure* terbesar terjadi pada waktu 3,94 detk, sebesar 22.665,6 N/m²

4.2. Perhitungan Velocity dan Pressure Oscillating Water Column

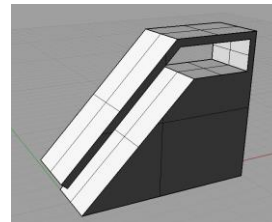
Untuk mendapatkan nilai *velocity* yang akan digunakan sebagai nilai input untuk menganalisa turbin, diperlukan geometri OWC yang akan disimulasikan pada gelombang laut yang sesuai dengan karakteristik Perairan Gunung Kidul.

4.2.1 Permodelan Oscillating Water Column

Pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan geometri OWC (*Oscillating Water Column*) yang dimiliki oleh BPPT-BPDP di Pantai Baron, Gunung Kidul. OWC yang menjadi *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini memiliki bentuk dan dimensi sebagai berikut :

Panjang keseluruhan = 9,93 m

Tinggi = 8,00 m
 Lebar = 3,00 m
 Kemiringan Chamber = 60⁰
 Diameter Ducting = 0,61 m
 Panjang Ducting = 0,80 m



Gambar 7. Permodelan dengan menggunakan *software rhinoceros 4*.

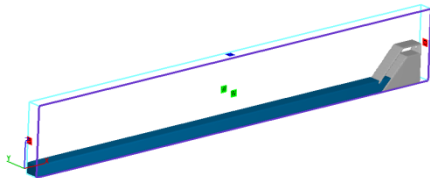
4.2.2 Simulasi Gelombang pada Oscillating Water Column

Gelombang yang akan digunakan untuk mensimulasikan OWC, sesuai dengan *sea state* Perairan Gunung Kidul yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya. Dengan menggunakan *software Flow 3d*, peneliti mensimulasikan gelombang pada owc untuk mendapatkan nilai *pressure* dan *velocity* yang akan digunakan untuk input pada analisa turbin. Model OWC yang telah dibuat di *software rhinoceros 4.1* di-*export* kedalam format *.stl* untuk dapat di-*import* kedalam *software flow 3d 9.3*. Pada *software flow 3d*, kita mendefinisikan kondisi batas yang akan digunakan untuk simulasi gelombang sebagai berikut :

Tabel 2. *Boundary Condition* simulasi gelombang

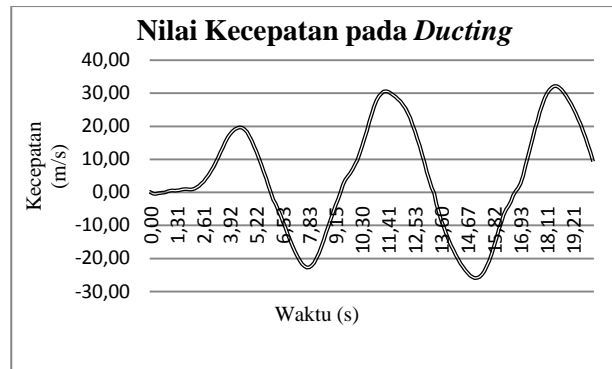
Location	Boundary Condition	Ordinat
X min	Wave Definition	0
	Amplitudo = 0,6 m	
	Periode = 7,5 s	
X max	Outflow	+80
Y min	Wall	-1,5
Y max	Wall	+1,5
Z min	Wall	0
Z max	Outflow	+15
Location	Boundary Condition	Ordinat
X min	Wave Definition	0
	Amplitudo = 0,6 m	
	Periode = 7,5 s	
X max	Outflow	+80
Y min	Wall	-1,5
Y max	Wall	+1,5
Z min	Wall	0
Z max	Outflow	+15

Proses *meshing* dilakukan setelah kita menentukan kondisi batas dari simulasi gelombang tersebut. Pada tahap ini, benda atau ruang akan dianalisa akan dibagi-bagi kedalam jumlah *grid* tertentu.



Gambar 8. Hasil *favor* OWC dan Fluida

Proses *running* dilakukan untuk mendapatkan hasil perhitungan *velocity* dan *pressure* secara numerik pada *ducting*. Berikut hasil perhitungan secara numerik dengan menggunakan *software flow 3d* :



Gambar 9. kecepatan udara pada *ducting*

Berdasarkan grafik pada gambar 9, maka didapatkan :

- Kecepatan aliran udara tertinggi = 32,13 m/s²
- Kecepatan aliran udara rata-rata = 14,29 m/s²
- Kecepatan aliran udara terendah = 0,05 m/s²

Variasi kecepatan pada *ducting* ini akan dijadikan kecepatan *inlet* pada analisa turbin.

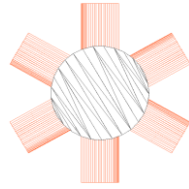
4.3. Perhitungan Gaya, Torsi, Daya, dan Efisiensi Turbin

Pada penelitian kali ini, peneliti memvariasikan turbin berdasarkan profil dan jumlah sudu. Variasi foil yang digunakan adalah NACA 0010, NACA 0015, NACA 0020, dan NACA 0025 dengan variasi jumlah sudu 6 dan 8. Variasi turbin tersebut akan dianalisa dengan menggunakan *Ansys CFX 14* untuk mengetahui nilai force yang akan digunakan untuk perhitungan torsi, daya, dan efisiensi turbin.

4.3.1 Perancangan Wells Turbine

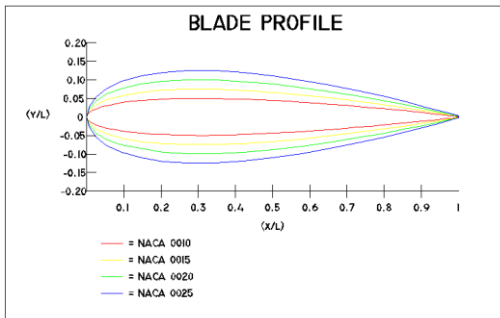
Peneliti merancang *wells turbine* berdasarkan geometri *wells turbine* yang telah digunakan pada OWC yang dikembangkan oleh BPPT-BPDP Yogyakarta dengan dimensi sebagai berikut :

- *tip diameter* = 60 cm
- *hub diameter* = 30 cm
- *blade number* = 6 blades
- *blade profile* = NACA0020



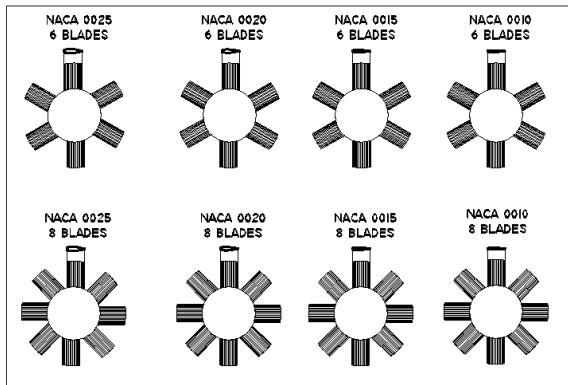
Gambar 10. Wells Turbine yang dikembangkan oleh BPPT-BPDP Yogyakarta [6]

Berikut perbandingan geometri NACA 0010, NACA 0015, NACA 0020, dan NACA 0025



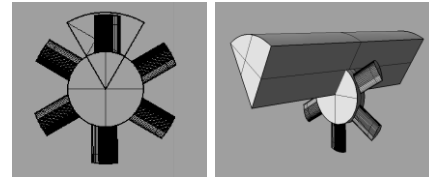
Gambar 11. Perbandingan geometri foil pada variasi turbin

Perancangan turbin menggunakan software rhinoceros 4.0, yang kemudian di export kedalam bentuk format .STP untuk dilakukan meshing di software ICEM CFD.



Gambar 12. Variasi profil dan jumlah sudu wells turbine

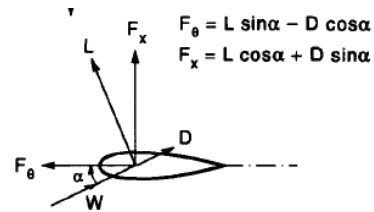
Pengujian turbin hanya dilakukan pada salah satu sudu turbin. Hal ini dikarenakan gaya tangensial setiap sudu memiliki nilai yang sama. [5].



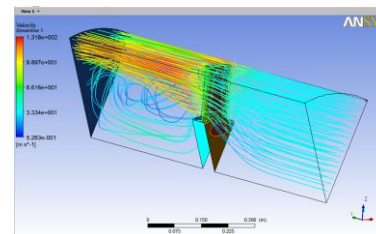
Gambar 13. Geometri turbin dengan 1/6 luas area turbin

4.3.2 Perhitungan Gaya Turbin

Prinsip kerja Wells turbine adalah akibat kecepatan aliran udara maka menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan menghasilkan gaya aerodinamis. Pada penelitian kali ini, peneliti menggunakan software Ansys CFX 14 untuk mendapatkan nilai lift force pada sudu dengan variasi kecepatan 32,13 m/s, 14,19 m/s, dan 0,05 m/s.



Gambar 14. Vektor gaya pada foil [7]



Gambar 15. Simulasi CFD sudu turbin dengan Ansys CFX 14

Berikut hasil perhitungan force dengan menggunakan metode numerik

Tabel 3. Nilai gaya pada analisa dengan metode numerik

No	Geometri Aerofoil	Jumlah Sudu	Kecepatan Inlet (m/s)	Gaya (N)
1	NACA 0025	6	0,05	2,E-06
			14,29	1,8
			32,13	9,87
2	NACA 0020	6	0,05	1,E-06
			14,29	1,53

3	NACA 0015	6	32,13	7,94
			0,05	2,E-07
			14,29	0,92
4	NACA 0010	6	32,13	4,61
			0,05	9,E-07
			14,29	0,51
5	NACA 0025	8	32,13	2,64
			0,05	3,E-06
			14,29	2,96
6	NACA 0020	8	32,13	15,09
			0,05	2,E-06
			14,29	1,99
7	NACA 0015	8	32,13	10,31
			0,05	1,E-06
			14,29	1,17
8	NACA 0010	8	32,13	5,82
			0,05	7,E-07
			14,29	0,577
			32,13	2,88

Berdasarkan tabel 3, Nilai *force* tertinggi dimiliki turbin dengan NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 15,09 N.

Gaya tangensial pada aerofoil terjadi karena adanya komponen gaya angkat (*lift*) pada bidang putar yang dikurangi dengan gaya hambat (*drag*) yang berlawanan arah [8]. Sehingga gaya tangensial didapatkan dari persamaan :

$$F_{\phi} = L \sin \alpha - L \cos \alpha \quad (2)$$

Dimana :

F_{ϕ} = Gaya Tangensial (N)

L = Gaya Angkat (N)

D = Gaya Hambat (N)

α = Sudut Serang

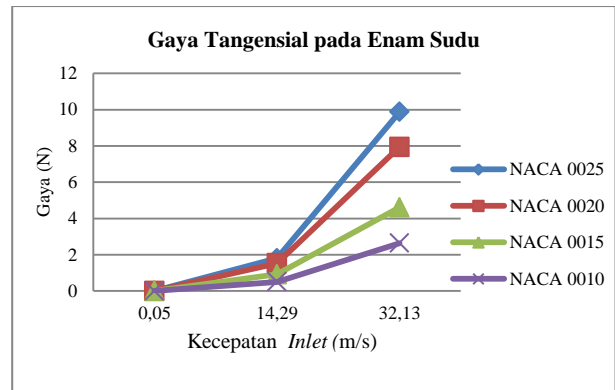
Contoh perhitungan gaya tangensial pada turbin pada NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 :

Diketahui : L = 15,09 N, $\alpha = 90^{\circ}$

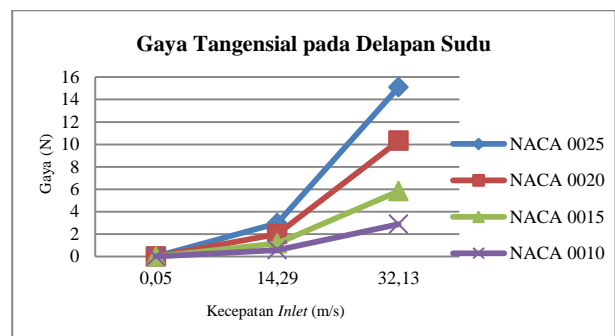
Persamaan : $F_{\phi} = L \sin \alpha - L \cos \alpha$

Jawab : $= 15,09 \sin (90)$
 $= 15,09 \text{ N}$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, nilai gaya tangensial memiliki nilai sama dengan nilai gaya angkat. Hal ini dikarenakan foil menerima arah aliran udara tegak lurus dengan arah foil.



Gambar 16. Grafik perbandingan gaya angkat dengan kecepatan aliran udara pada sudu 6



Gambar 17. grafik perbandingan gaya angkat dengan kecepatan aliran udara pada sudu 8

Berdasarkan grafik pada gambar 16 dan 17, gaya angkat tertinggi dimiliki oleh turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 15,09 N.

4.3.3. Perhitungan Torsi Turbin

Perhitungan nilai torsi didapatkan dari hasil kali gaya tangensial dengan jari-jari pada setiap sudu [8]. Dinyatakan dalam persamaan :

$$T = F_{\phi} \times R \quad (3)$$

Dimana

T = Torsi (Nm)

F_{ϕ} = Gaya Tangensial (N)

R = Jari-jari (m)

Contoh Perhitungan torsi turbin pada pada NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 :

Diketahui : $F_{\phi} = 15,09 \text{ N}$

$R = 0,3 \text{ m}$

Persamaan : $T = F_{\phi} \times R$

Jawab : $= (15,09 \times 0,3)$
 $= 4,527 \text{ Nm}$

Tabel 4. Perhitungan Gaya dan Torsi turbin

No	Geometri Aerofoil	Jumlah Sudu	Kecepatan Inlet (m/s)	Gaya (N)	Torsi (Nm)
1	NACA 0025	6	0,05	2,E-06	3,6E-06
			14,29	1,8	3,24
			32,13	9,87	17,766
2	NACA 0020	6	0,05	1,E-06	1,8E-06
			14,29	1,53	2,754
			32,13	7,94	14,292
3	NACA 0015	6	0,05	2,E-07	3,78E-06
			14,29	0,92	1,656
			32,13	4,61	8,298
4	NACA 0010	6	0,05	9,E-07	1,62E-06
			14,29	0,51	0,918
			32,13	2,64	4,752
5	NACA 0025	8	0,05	3,E-06	7,68E-06
			14,29	2,96	7,104
			32,13	15,09	36,216
6	NACA 0020	8	0,05	2,E-06	4,8E-06
			14,29	1,99	4,776
			32,13	10,31	24,744
7	NACA 0015	8	0,05	1,E-06	2,4E-06
			14,29	1,17	2,808
			32,13	5,82	13,968
8	NACA 0010	8	0,05	7,E-07	1,68E-06
			14,29	0,577	1,3848
			32,13	2,88	6,912

Berdasarkan tabel 4, nilai torsi tertinggi dimiliki oleh turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 36,21 Nm.

4.3.4. Perhitungan Daya Turbin

Besarnya daya yang dihasilkan oleh Wells Turbine merupakan energi poros yang diperoleh turbin dari energi aliran Udara. Daya turbin dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$P_t = T \times \omega \quad (8)$$

Dimana :

P_t = Daya turbin (watt)

T = Torsi turbin (Nm)

ω = Kecepatan sudut (Rad/s)

Untuk menghitung daya turbin, kita harus terlebih dahulu mengetahui kecepatan sudut turbin. Kecepatan sudut turbin diperoleh berdasarkan nilai *Tip Speed Ratio (TSR)*. TSR merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin.

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_w} \quad (9)$$

Dimana :

λ = *tip speed ratio*

ω = kecepatan sudut (Rad/s)

R = Jari - jari (m)

v_w = kecepatan aliran udara (m/s)

Kecepatan sudut turbin diperoleh berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan oleh BPPT-BPDP pada OWC (*Oscilating Water Column*) di Pantai Baron.

Contoh perhitungan *tip speed ratio* pada kecepatan sudut rata-rata 58,16 rad/s dan kecepatan aliran udara rata-rata 18,92 m/s :

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_w}$$

$$= 58,16 \cdot 0,3 / 18,92$$

$$= 0,95$$

Sehingga kecepatan sudut turbin dapat diperoleh melalui persamaan :

$$n = v \times (\lambda / R) \quad (10)$$

Dimana :

λ = *tip speed ratio*

v = kecepatan aliran udara (m/s)

R = Jari-jari (m)

Contoh perhitungan kecepatan sudut turbin pada *wells turbine* pada kecepatan aliran 32,13 m/s :

$$n = v \times (\lambda / R)$$

$$= 32,13 \cdot (0,95 / 0,3)$$

$$= 961,44 \text{ rad/s}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan kecepatan sudut turbin

No	Inlet Velocity (m/s)	Jari - jari (m)	Tip Speed Ratio	Kecepatan sudut (rad/s)
1	0,05	0,3	0,95	1,50
2	14,29	0,3	0,95	427,60
3	32,13	0,3	0,95	961,44

Berdasarkan tabel 5, nilai kecepatan sudut tertinggi terjadi pada kecepatan aliran 32,13 m/s sebesar 961,44 rad/s.

Berikut merupakan contoh perhitungan daya wells turbine NACA 0025 pada kecepatan aliran 32,13 m/s dengan jumlah sudu 8 :

$$P_t = T \times \omega$$

$$= 36,21 \times 961,44$$

$$= 3,64 \text{ kW}$$

Tabel 6. Perhitungan daya Wells Turbine

No	Geometri Aerofoil	Jumlah Sudu	Kecepatan Inlet (m/s)	Torsi (Nm)	Kecepatan sudut (rad/s)	Daya Turbin (kW)
1	NACA 0025	6	0,05	0,09	1,50	0,00
			14,29	25,72	427,60	0,15
			32,13	57,83	961,44	1,79
2	NACA 0020	6	0,05	0,09	1,50	0,00
			14,29	25,72	427,60	0,12
			32,13	57,83	961,44	1,44
3	NACA 0015	6	0,05	0,09	1,50	0,00
			14,29	25,72	427,60	0,07
			32,13	57,83	961,44	0,84
4	NACA 0010	6	0,05	0,09	1,50	0,00
			14,29	25,72	427,60	0,04
			32,13	57,83	961,44	0,48
5	NACA 0025	8	0,05	0,12	1,50	0,00
			14,29	34,29	427,60	0,32
			32,13	77,11	961,44	3,64
6	NACA 0020	8	0,05	0,12	1,50	0,00
			14,29	34,29	427,60	0,21
			32,13	77,11	961,44	2,49
7	NACA 0015	8	0,05	0,12	1,50	0,00
			14,29	34,29	427,60	0,13
			32,13	77,11	961,44	1,41
8	NACA 0010	8	0,05	0,12	1,50	0,00
			14,29	34,29	427,60	0,06
			32,13	77,11	961,44	0,70

Berdasarkan tabel 6, nilai daya tertinggi dimiliki oleh turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 3,64 kW.

4.3.5. Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin didapat dari besarnya daya yang keluar (Pt) berbanding dengan daya yang masuk (Ph). Daya masuk (Ph) dirumuskan pada persamaan berikut :

$$Ph = \frac{1}{2} \rho (A v)^2 \quad (11)$$

Dimana :

- ρ = Densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)
- A = Luas daerah yang tersapu turbin ($A = 0,28 \text{ m}^2$)
- R = Jari-jari (m)
- v = Kecepatan aliran udara (m/s)

Contoh perhitungan daya masuk (Ph) pada kecepatan aliran udara $32,13 \text{ m/s}$:

$$Ph = \frac{1}{2} \rho (A v)^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 1,225 (0,28) 32,13^2$$

$$= 5,69 \text{ kW}$$

Tabel 7. Perhitungan Daya masuk (Ph)

No	Inlet Velocity (m/s)	luas sapuan turbin(m^2)	Daya masuk (kW)
1	0,05	0,28	2,E-08
2	14,29	0,28	0,50
3	32,13	0,28	5,69

Berdasarkan tabel 7, nilai daya masuk tertinggi terjadi pada kecepatan aliran $32,13 \text{ m/s}$ sebesar $5,69 \text{ rad/s}$.

efisiensi turbin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$(\eta t) = \frac{P_t}{P_h} \times 100\%$$

Dimana :

$$P_t = \text{Daya Turbin (kW)}$$

$$P_h = \text{Daya Angin (kW)}$$

Contoh perhitungan efisiensi turbin daya wells turbine NACA 0025 pada kecepatan aliran $32,13 \text{ m/s}$ dengan jumlah sudu 8 :

$$(\eta t) = \frac{P_t}{P_h} \times 100\%$$

$$= \frac{3,64}{5,69} \times 100\%$$

$$= 64,06 \%$$

Tabel 8. Nilai efisiensi turbin pada setiap variasi

N o	Blade Profile	Blade Number	Inlet Velocity (m/s)	Daya Turbin (kW)	Daya masuk (kW)	Efisiensi (%)
1	NACA 0025	6	0,05	0,00	2,E-08	2,63
			14,29	0,15	0,50	28,98
			32,13	1,79	5,69	31,43
2	NACA 0020	6	0,05	0,00	2,E-08	1,31
			14,29	0,12	0,50	24,63
			32,13	1,44	5,69	25,28
3	NACA 0015	6	0,05	0,00	2,E-08	2,76
			14,29	0,07	0,50	14,81
			32,13	0,84	5,69	14,68
4	NACA 0010	6	0,05	0,00	2,E-08	1,18
			14,29	0,04	0,50	8,21
			32,13	0,48	5,69	8,41
5	NACA 0025	8	0,05	0,00	2,E-08	5,61
			14,29	0,32	0,50	63,53
			32,13	3,64	5,69	64,07
6	NACA 0020	8	0,05	0,00	2,E-08	3,51
			14,29	0,21	0,50	42,71
			32,13	2,49	5,69	43,77
7	NACA 0015	8	0,05	0,00	2,E-08	1,75
			14,29	0,13	0,50	25,11
			32,13	1,41	5,69	24,71
8	NACA 0010	8	0,05	0,00	2,E-08	1,23
			14,29	0,06	0,50	12,38

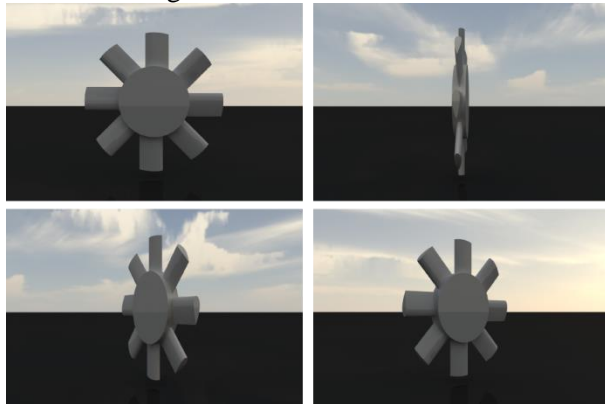
Berdasarkan tabel 8, nilai efisiensi tertinggi dimiliki oleh turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 64,07 %.

4.4 Pemilihan Geometri Turbin yang Optimal

Dari penyajian pada tabel 3 sampai dengan tabel 8 menunjukkan performa turbin sebagai berikut :

1. Nilai *tangential force* terbesar dimiliki oleh turbin Naca 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 15,09 N.
2. Nilai torsi terbesar dimiliki oleh turbin Naca 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 77,12 Nm.
3. Nilai Daya terbesar dimiliki oleh turbin Naca 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 3,64 kW.
4. Nilai Efisiensi terbesar dimiliki oleh turbin Naca 0025 dengan jumlah sudu 8 sebesar 64,07%.

Sehingga menurut hasil analisa pada subbab sebelumnya, turbin dengan NACA 0025 dan 8 sudu merupakan geometri turbin yang paling optimum untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga gelombang air laut di Pantai Gunung Kidul.



Gambar 17. Turbine dengan foil tipe NACA 0025 dan 8 sudu

V. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan pada setiap variasi pada wells turbine dengan profil sudu NACA 0010, NACA 0015, NACA 0020, dan NACA 0025 dan jumlah sudu 6 dan 8, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai tekanan gelombang tertinggi didapat pada waktu 3,94 detik, sebesar 22.665,6 N/m² dengan simulasi yang dilakukan selama 40 detik.

2. Nilai kecepatan udara tertinggi yang melewati *ducting* didapat pada waktu 18,37 detik, sebesar 32,13 m/s dengan simulasi yang dilakukan selama 20 detik.
3. Dari hasil analisa pada variasi turbin didapatkan :
 - a. Nilai gaya tangensial tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 15,09 N
 - b. Nilai Torsi tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 36,21 Nm
 - c. Nilai Daya tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 3,64 kW
 - d. Nilai Efisiensi tertinggi dimiliki turbin NACA 0025 dengan jumlah sudu 8 pada kecepatan aliran udara 32,13 m/s, sebesar 64%.
4. NACA 0025 dan 8 sudu merupakan geometri turbin yang paling optimum untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga gelombang air laut di Pantai Gunung Kidul.

5.2. Saran

Dari hasil pengerjaan tugas akhir saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut :

1. Sebaiknya dilakukan penelitian pada jenis foil yang digunakan pada sudu selain foil NACA.
2. Sebaiknya dilakukan pengujian secara eksperimen untuk membandingkan hasil simulasi dengan CFD.

Daftar Pustaka

- [1] Firdaus, Yustisia, 2010, *Analisa Pengaruh Bentuk Oscillating Part pada konversi energi vorteks dengan pemodelan numerik*, Surabaya ; Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November.
- [2] Thakker, A dan R. Abdulhadi. 2007. *Effect Blade Profile on The Performace of Wells Turbine Under Unidirectional Sinusoidal and Real Sea Flow Conditions* : Ireland. Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of Limerick.

- [3] Rahadyawan, Arseto, 2009. *Pembangkit Listrik Energi Ombak Tipe Oscillating Water Column*". Surabaya : Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
- [4] Holzauer, Eva. 2012. *Assessment Of The Power Available In Afixed Offshore Oscilating Water Column Plant*. Cranfield University.
- [5] Hassan, Mohammed. 2011. *Design Optimization of Savonius and Wells Turbines*. Magdeburg : Systemtechnik der Otto-von-Guericke-UniversitÄat Magdeburg
- [6] Balai Pengkajian Dinamika Pantai – BPPT, 2006, *Penelitian Pemanfaatan Energi Gelombang dengan Sistem Oscillating Water Column (OWC)*, Yogyakarta.
- [7] Raghunathan, S. 1995. *The Wells Air Turbine For Wave Energy Conversion*. : UK. *Department of Aeronautical Engineering, Queen's University*.
- [8] Sudargana*, R, 2007, Guruh Kis Yuniarso, *Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari Karakteristik Cl Dan Cd Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linier Pada Matlab*. Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang.
- [9] Dorrell, David G. 2008. *Performance of Wells Turbines for use in Small-Scale Oscillating Water Columns* :Glasgow. Dept. Electronics and Electrical Engineering, UniversityofGlasgow