

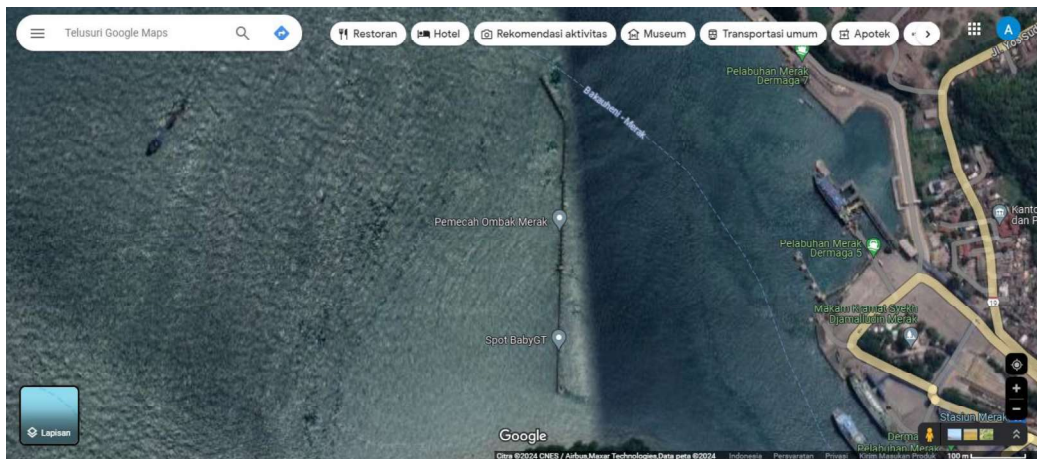
## BAB IV

### DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengamatan Arus Laut

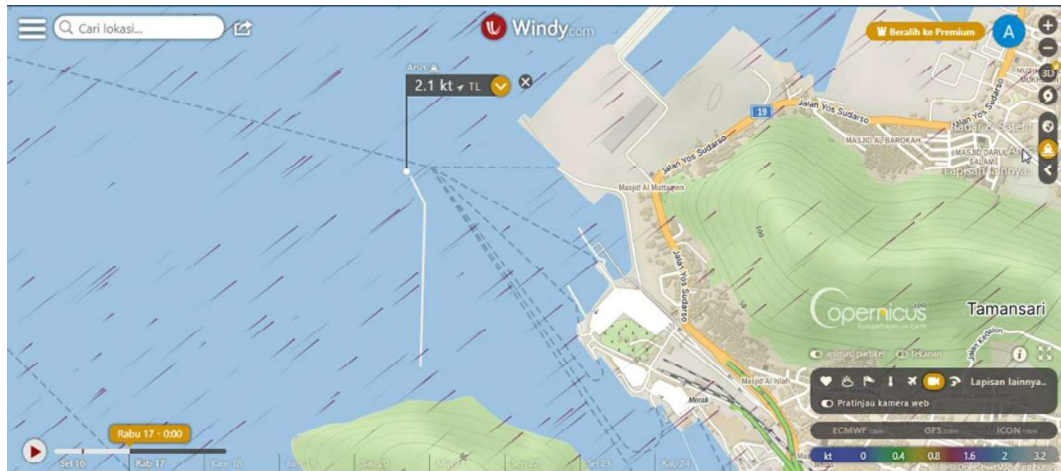
Pengamatan arus laut difungsikan untuk menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan simulasi, dimana pada simulasi ini akan digunakan arus masuk, hal tersebut diambil dari bantuan situs web berupa windy.com, dengan bantuan situs web tersebut, kita bisa mengamati beberapa hari di lokasi tertentu.

Pada lokasi yang telah ditentukan, yaitu perairan Selat Sunda, khususnya di area Pemecah Ombak Pelabuhan Merak, dikarenakan jika penelitian ini dilanjutkan lokasi tersebut akan dijadikan sebagai lokasi tempat penempatan turbin atau rotor, sesuai dijelaskan di bab sebelumnya, seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.1** Lokasi Pengamatan Arus Laut

Setelah didapatkan sasaran lokasi untuk sekiranya ditempatkan turbin savonius tersebut, kita bisa melakukan pengamatan arus laut di sekitar pemecah ombak tersebut dengan bantuan situs web, situs web yang kami gunakan adalah windy.com, dimana pada situs ini dapat memberikan beragam informasi terkait laut, dari angin, ombak, dan juga arus, contoh pengamatan dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 4.2** Pengamatan Arus Laut dengan Windy

Pengambilan data yang diambil dari situ windy tersebut, dikhususkan hanya untuk mendapatkan arus laut, dimana arus laut ini dijadikan sebagai dasar arus laut untuk simulasi, pengambilan data ini dilakukan dalam beberapa hari, dikarenakan keterbatasan dengan website, dalam satu hari dimulai dari 00.00 sampai dengan 23.00 dilakukan rata-rata, sehingga akan mendapatkan arus rata-rata pada hari tersebut, dari keempat harinya juga dilakukan rata-rata, sehingga akan mendapatkan nilai arus yang lebih aktual, dipaparkan dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 4.1** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-1

Sabtu, 13 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	3.4	1.74911	TL
2	01.00-02.00	3.3	1.69767	TL
3	02.00-03.00	3.1	1.59478	TL
4	03.00-04.00	3.1	1.59478	TL
5	04.00-05.00	2.1	1.08033	TL
6	05.00-06.00	1.9	0.97744	TL
7	06.00-07.00	1.9	0.97744	TL
8	07.00-08.00	1.7	0.87456	TL
9	08.00-09.00	1.6	0.82311	TL
10	09.00-10.00	1.4	0.72022	TL
11	10.00-11.00	1.3	0.66878	TL
12	11.00-12.00	1.1	0.56589	TL
13	12.00-13.00	1.1	0.56589	TL

14	13.00-14.00	0.5	0.25722	U
15	14.00-15.00	0.5	0.25722	U
16	15.00-16.00	0.3	0.15433	U
17	16.00-17.00	0.3	0.15433	U
18	17.00-18.00	0.3	0.15433	U
19	18.00-19.00	0.3	0.15433	TL
20	19.00-20.00	0.3	0.15433	TL
21	20.00-21.00	1.5	0.77167	TL
22	21.00-22.00	2.2	1.13178	TL
23	22.00-23.00	2.8	1.44044	TL
24	23.00-24.00	3.1	1.59478	TL
Rata-Rata Arus		1.62917	0.83812	

**Tabel 4.2** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-2

Senin, 15 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	2.7	1.389	TL
2	01.00-02.00	2.8	1.44044	TL
3	02.00-03.00	2.7	1.389	TL
4	03.00-04.00	2.5	1.28611	TL
5	04.00-05.00	1.8	0.926	TL
6	05.00-06.00	1.8	0.926	TL
7	06.00-07.00	1.6	0.82311	TL
8	07.00-08.00	1.3	0.66878	TL
9	08.00-09.00	1.1	0.56589	TL
10	09.00-10.00	1.2	0.61733	TL
11	10.00-11.00	1.2	0.61733	TL
12	11.00-12.00	1.2	0.61733	TL
13	12.00-13.00	1.1	0.56589	TL
14	13.00-14.00	0.9	0.463	TL
15	14.00-15.00	0.9	0.463	TL
16	15.00-16.00	0.6	0.30867	TL
17	16.00-17.00	0.5	0.25722	TL
18	17.00-18.00	0.5	0.25722	TL
19	18.00-19.00	0.5	0.25722	TL
20	19.00-20.00	0.7	0.36011	TL
21	20.00-21.00	1	0.51444	TL
22	21.00-22.00	1.8	0.926	TL
23	22.00-23.00	1.8	0.926	TL

24	23.00-24.00	2.3	1.18322	TL
Rata-Rata Arus		1.4375	0.73951	

**Tabel 4.3** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-3

Rabu, 17 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	2.1	1.08033	TL
2	01.00-02.00	2.3	1.18322	TL
3	02.00-03.00	2.4	1.23467	TL
4	03.00-04.00	2.3	1.18322	TL
5	04.00-05.00	1.9	0.97744	TL
6	05.00-06.00	1.7	0.87456	TL
7	06.00-07.00	1.3	0.66878	TL
8	07.00-08.00	0.8	0.41156	TL
9	08.00-09.00	0.7	0.36011	TL
10	09.00-10.00	0.7	0.36011	TL
11	10.00-11.00	0.8	0.41156	TL
12	11.00-12.00	1	0.51444	TL
13	12.00-13.00	1.1	0.56589	TL
14	13.00-14.00	1.2	0.61733	TL
15	14.00-15.00	1.4	0.72022	TL
16	15.00-16.00	1.5	0.77167	TL
17	16.00-17.00	1.4	0.72022	TL
18	17.00-18.00	1.3	0.66878	TL
19	18.00-19.00	1.3	0.66878	TL
20	19.00-20.00	1.2	0.61733	TL
21	20.00-21.00	1.2	0.61733	TL
22	21.00-22.00	1.3	0.66878	TL
23	22.00-23.00	1.4	0.72022	TL
24	23.00-24.00	1.6	0.82311	TL
Rata-Rata Arus		1.4125	0.72665	

**Tabel 4.4** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-4

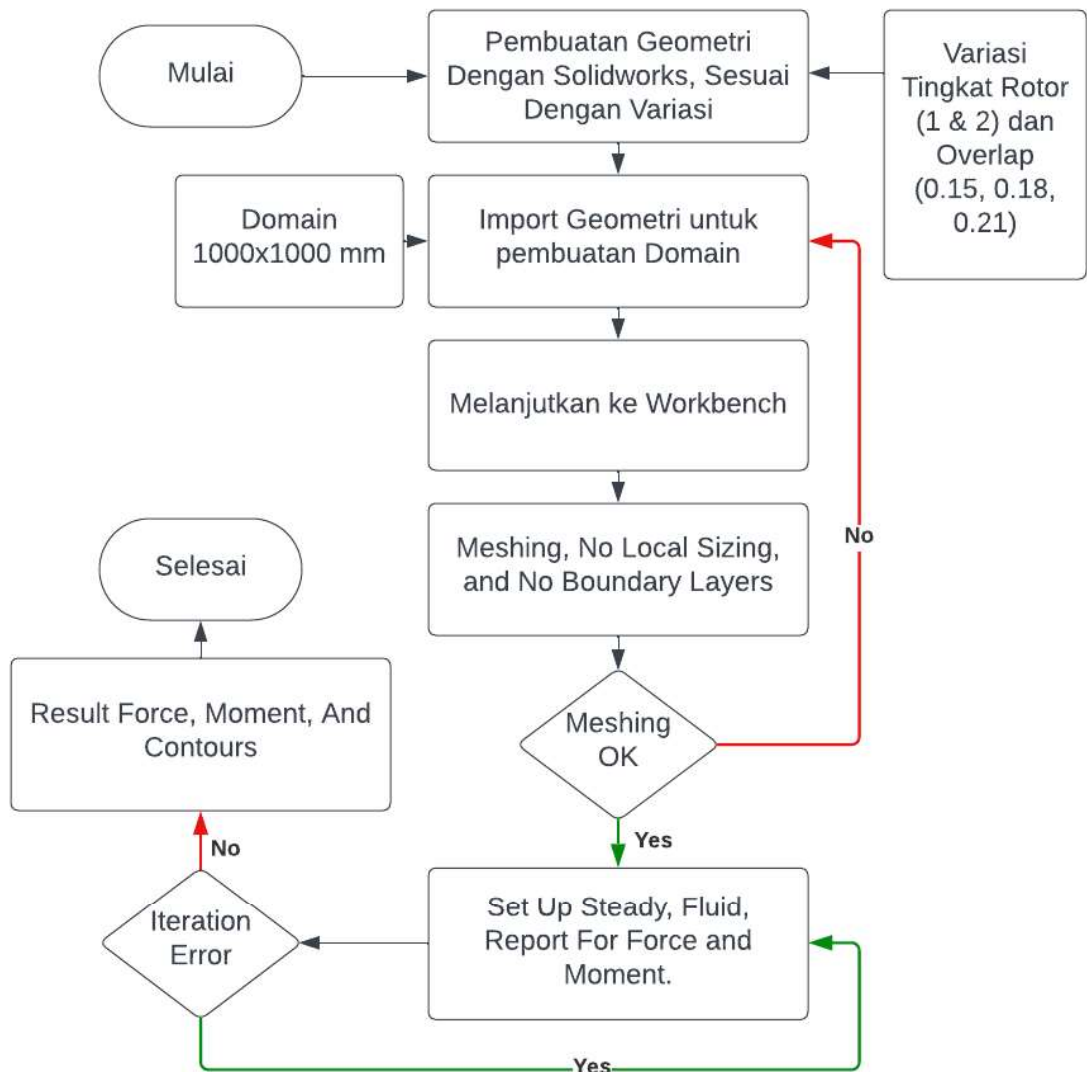
Kamis, 18 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	1.9	0.97744	TL
2	01.00-02.00	2.1	1.08033	TL
3	02.00-03.00	2.1	1.08033	TL

4	03.00-04.00	2.1	1.08033	TL
5	04.00-05.00	1.9	0.97744	TL
6	05.00-06.00	1.6	0.82311	TL
7	06.00-07.00	1.3	0.66878	TL
8	07.00-08.00	1	0.51444	TL
9	08.00-09.00	0.7	0.36011	TL
10	09.00-10.00	0.7	0.36011	TL
11	10.00-11.00	0.6	0.30867	TL
12	11.00-12.00	0.8	0.41156	TL
13	12.00-13.00	1	0.51444	TL
14	13.00-14.00	1.3	0.66878	TL
15	14.00-15.00	1.6	0.82311	TL
16	15.00-16.00	1.8	0.926	TL
17	16.00-17.00	1.9	0.97744	TL
18	17.00-18.00	1.9	0.97744	TL
19	18.00-19.00	1.9	0.97744	TL
20	19.00-20.00	1.9	0.97744	TL
21	20.00-21.00	1.8	0.926	TL
22	21.00-22.00	1.7	0.87456	TL
23	22.00-23.00	1.8	0.926	TL
24	23.00-24.00	1.9	0.97744	TL
Rata-Rata Arus		1.55417	0.79953	

Rata-rata dari arus per hari tersebut kemudian dijadikan rata-rata kembali, sehingga mendapatkan arus yang lebih aktual dari total hari, sehingga mendapatkan arus masuk untuk simulasi adalah 0.77 m/s, pada dasarnya arus ini tidak terlalu berpengaruh pada karakteristik setiap rotor atau perbandingan keduanya, namun tentu saja, arus berpengaruh kepada hasil gaya atau torsi yang didapatkan pada rotor, sehingga arus semakin tinggi maka gaya atau torsi dapat semakin tinggi pula, namun pastinya tidak akan merubah jenis rotor mana yang lebih baik khususnya fokus kita dalam mendapatkan torsinya, dengan arus yang lebih tinggi pula akan lebih terlihat perbedaan dan karakteristiknya dalam menganalisa.

## 4.2 Simulasi CFD

Simulasi CFD ini dilakukan untuk mendapatkan atau membantu kita menuju tujuan utama, yaitu mencari tahu atau menguji dari performa rotor dari Konvensional dan juga Bezier, terkait hal tersebut perlu adanya pembahasan terkait pengaturan simulasi yang akan dilakukan, berikut adalah diagram alir simulasi yang dijadikan acuan peneliti untuk melakukan simulasi.

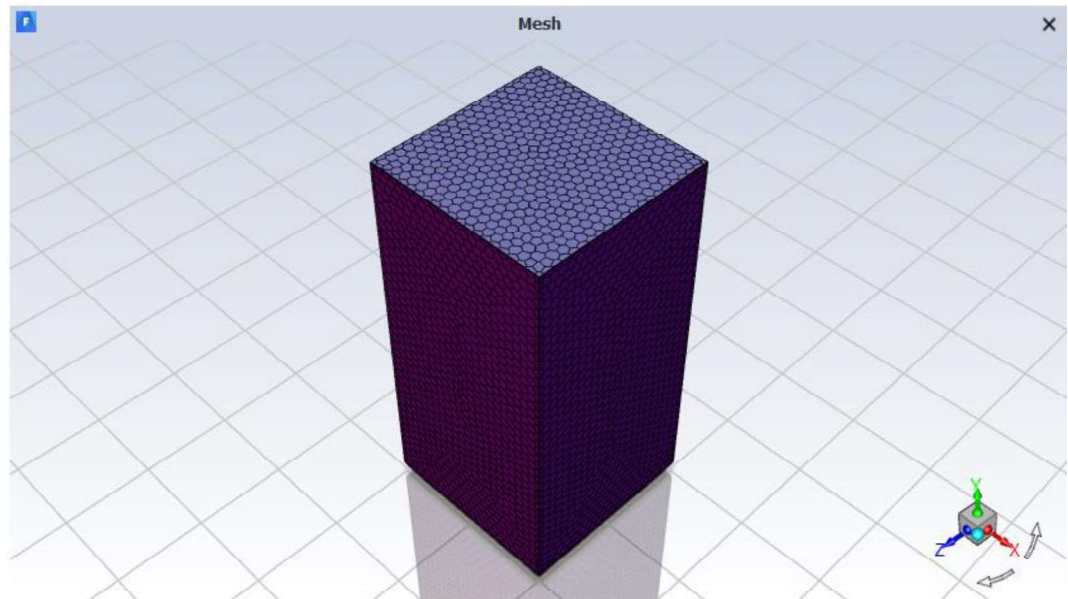


**Gambar 4.3** Diagram Alir Simulasi

Dari diagram alir tersebut dapat kita bahas dari awal sampai akhir, sehingga dapat memudahkan kita memahami alur dari pengaturan dan jalannya simulasi, untuk membandingkan atau menguji performa dari rotor konvensional dan juga bezier.

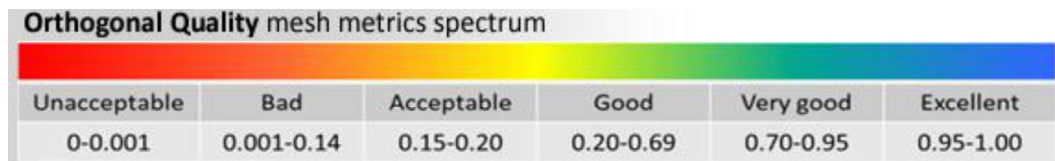
1. Hal pertama dalam mempersiapkan simulasi CFD adalah geometri, geometri yang kami buat dibantu dengan aplikasi lain, yaitu Solidworks, dikarenakan peneliti lebih memahami sehingga dapat mempersingkat waktu untuk melakukan penelitian, dengan variasi yang sudah ditentukan, yaitu rotor konvensional yang memiliki satu tingkat dan dua tingkat, kemudian variasi tumpang tindih dari 0.15, 0.18, dan 0.21. variasi ini telah dibahas pada bab sebelumnya.
2. Geometri dapat di-*import* ke aplikasi *spaceclaim* Ansys, yang dimana pada tahapan ini digunakan untuk membuat domain, dimulai dengan menempatkan geometri pada titik 0 dari x, y, dan z, sehingga berada pada tengah-tengah geometri tersebut, kemudian kita bisa membuat domain dengan dimensi 1000x1000mm, dengan tinggi 2000mm. Setelah itu kita bisa melakukan penamaan pada setiap dinding khususnya pada bilah untuk memudahkan kita dalam melihat hasil dari simulasi.
3. *Meshing*, dimana pada tahapan setelah dibuatnya domain, kita bisa melanjutkan pada *workbench* untuk *import* geometri, pada tahapan ini melewati opsi *add local sizing* dan juga *add boundary layers* dengan alasan, geometri dari penelitian ini tidak terlalu kompleks, dan juga kurangnya sumber daya pada komputer, dengan target mencukupi simulasi.
4. *Decision*, pada tahapan ini adanya pengecekan kualitas yang dihasilkan dari *meshing*, ada beberapa cara untuk mengetahui kualitas tersebut, untuk menentukan apakah dapat dilanjutkan dan akan mendapatkan hasil yang baik, hal yang paling umum adalah jumlah *cells*, pada bab dua telah dibahas bahwa semakin banyak jumlah *cells* maka semakin rapat dan akurat perhitungan atau simulasi yang dilakukan, pada penelitian ini *meshing* yang didapatkan adalah rata-rata 800000-

900000, maka penelitian ini dapat dikatakan cukup dan dapat diterima, dibandingkan dengan penelitian yang lain yaitu seperti (Kerikous & Thévenin, 2019) dimana melakukan simulasi savonius CFD bentuk yang sama yaitu Savonius dengan 400000 *cells*, juga dengan penelitian (Surono et al., 2023) yang mendapatkan total *cells* adalah 600000.



**Gambar 4.4** *Meshing*

Kemudian kita bisa melihat dari *Minimum Orthogonal Quality*, penelitian ini mendapatkan nilai 0.18918, jika dilihat dari toleransinya bahwa nilai tersebut dapat diterima, bahkan mendekati baik. seperti gambar di bawah ini yang dipaparkan oleh Ansys itu sendiri.



**Gambar 4.5** *Mesh Metrics Spectrum*

(Sumber: Ansys.com)

5. Kualitas *meshing* telah diverifikasi mendapatkan hasil yang cukup akurat untuk melakukan simulasi, sehingga kita bisa melakukan pengaturan selanjutnya, dimana pada tahapan ini dilakukan dengan metode waktu *Steady* metode ini diasumsikan bahwa aliran konstan

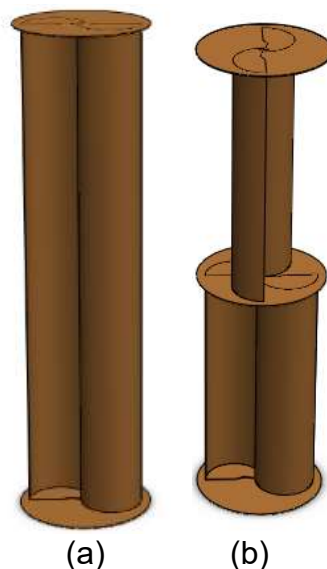


terhadap waktu, sehingga cukup untuk hanya mengetahui performa dari kedua jenis rotor. Mengatur fluida supaya cocok dengan arus laut yaitu dengan *Density* 1025 (kg/m<sup>3</sup>) dan Viskositas 0.00085 (kg/m-s) dengan suhu 28°C, dengan mengabaikan material dari rotor.

6. *Decision*, dapat dilihat apakah pada tahapan dijalankannya simulasi apakah terjadi *error* atau berjalan lancar, seluruh simulasi yang telah dilakukan berjalan dengan baik, sehingga dapat dilanjutkan.
7. Hasil simulasi ditampilkan dari *report definitions* dengan hasil Force (N) dan Torsi, juga dapat dilihat total dari Force (N) dan Torsi (Nm) sesuai dengan bidang yang kita pilih, kita juga dapat memberikan visualisasi arus atau *velocity* dengan bantuan *colours*.
8. Selesai.

#### 4.3 Hasil Perbandingan Tingkat Rotor Konvensional

Penelitian ini adalah mengetahui karakteristik terkait rotor savonius yang akhir-akhir ini populer, dengan bantuan CFD, dimana peneliti pada tahap ini melakukan simulasi dengan membandingkan perbedaan tingkat bilah rotor, dimana rotor yang memiliki satu tingkat hanya memiliki dua buah bilah, dan rotor yang memiliki dua tingkat akan memiliki empat buah bilah, seperti pada gambar di bawah ini:



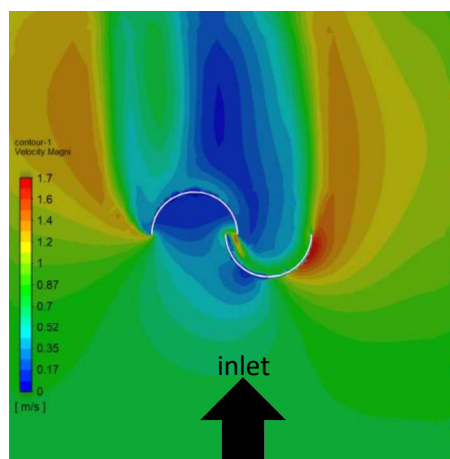
**Gambar 4.6** (a) Rotor Satu Tingkat (b) Rotor Dua Tingkat

Simulasi ini dilakukan dengan mencari tahu terlebih dahulu mana yang terbaik dari dua tingkat dan satu tingkat, dengan percobaan menggunakan bentuk konvensional dengan *Overlap Ratio* pertama yaitu 0.15 dan sudut 0 derajat, dengan begitu mendapatkan hasil simulasi Force (N) dan Torsi (Nm) dari *report* lokal dan total secara langsung seperti berikut berikut:

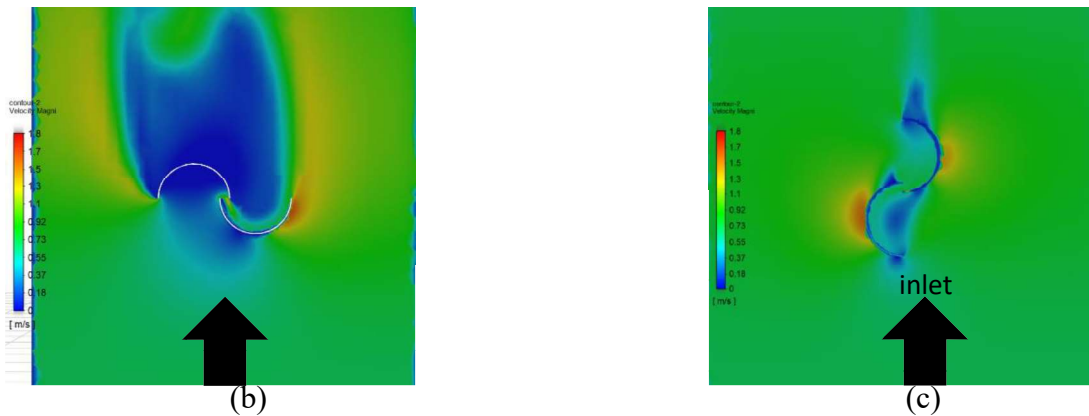
**Tabel 4.5** Hasil Perbandingan Satu Tingkat Rotor Konvensional

Overlap 0,15						
No	Tingkat	Sudut	Paddle	Force (N)	Torsi (Nm)	Total Torsi
1	Satu	0'	1	-7.32	-14.59	-10.404
			2	174.92	4.19	
2	Dua	0'	1	-69.45	-5.53	-10.9
			2	10.56	-0.87	
			3	-3.48	-4.9	
			4	75.88	0.4	

Hasil tabel di atas menunjukkan bahwa untuk melakukan kinerja yang baik dalam penggunaannya nanti untuk turbin arus laut, didapatkan yang terbaik adalah untuk totor dua tingkat yang mendapatkan torsi 10.92 Nm, dengan negatif mengartikan arah putar rotor yaitu searah jarum jam (Tahir et al., 2016), sesuai pula dengan penelitian yang dilakukan oleh (O. B. Yaakob et al., 2013) bahwa dalam mendapatkan torsi terbaik dari jumlah tingkat rotor adalah dua tingkat dengan negatif mengartikan berlawanan dengan arah masuknya tekanan atau gaya (Ansys, 2009).



(a)



**Gambar 4.7** (a) Aliran Savonius 1 tingkat (b) Aliran Savonius 2 Tingkat bagian Bawah (c) Aliran Savonius 2 Tingkat bagian.Atas

Hasil yang telah didapatkan juga bisa kita visualisasikan dengan bantuan *contours* dari ansys, dimana pada aplikasi ini difungsikan untuk melihat aliran fluida atau arus laut yang melewati atau kontak terhadap *mesh* tertentu, dapat dilihat bahwa gambar di atas (a) merupakan tingkat satu, hal ini dapat disimpulkan akan ada arus terbangun atau tertahan dalam satu rotor dengan dimensi yang sama, berbeda dengan (b) dan (c) dimana ada yang melakukan penahanan ada juga yang membuang arus jika memang tidak diperlukan, perlu diingat bahwa penelitian ini disimulasikan rotor secara diam, sehingga dianggap sebagai dinding dan opsi pada *meshing* yaitu *no boundary layers* sehingga dibelakang *paddle* tidak ada turbulensi, akan dijelaskan lebih lanjut di sub bab selanjutnya.

Beralih pada fokus utama yaitu membandingkan dan mencari tahu terkait pembaharuan rotor savonius yaitu memiliki bentuk dengan berdasarkan *Bezier Curve*, dimana telah dipopulerkan salah satunya oleh (Zemamou et al., 2020) dimana pada penelitiannya untuk turbin angin turbin bezier savonius ini memiliki keunggulan.

#### 4.4 Hasil Perbandingan Bezier dengan Konvensional

Perbandingan selanjutnya yaitu perbandingan utama atau mencari karakteristik dan efisiensi terbaik khususnya pada torsi untuk dibuat menjadi

turbin arust laut, pada penelitian ini yaitu dibandingkan antara bentuk savonius *Bezier Curve* dengan Konvensional atau setengah lingkaran, manakah yang terbaik diantara keduanya, dilakukan juga variasi *Overlap* untuk menguatkan peneletian.

*Overlap* yang digunakan divariasikan menjadi tiga, yaitu 0.15, 0.18, dan juga 0.21 dimana *Overlap* ini disesuaikan pada *base* setiap rotor atau bilah, sehingga terdapat celah yang difungsikan untuk mengeluarkan arus yang terjebak didalam bilah-bilah, nilai dimensi dari ketiga *Overlap* didapatkan dari perhitungan sesuai rumus, seperti berikut:

$$\beta = \frac{e}{d}$$

dimana:

$\beta$  = Rasio *Overlap*

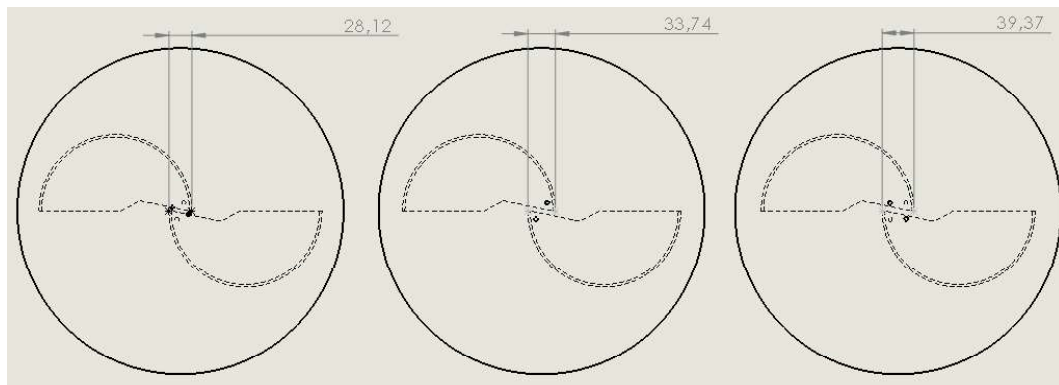
$e$  = *Overlap* antara *Paddle*

$d$  = Diameter *Paddle*

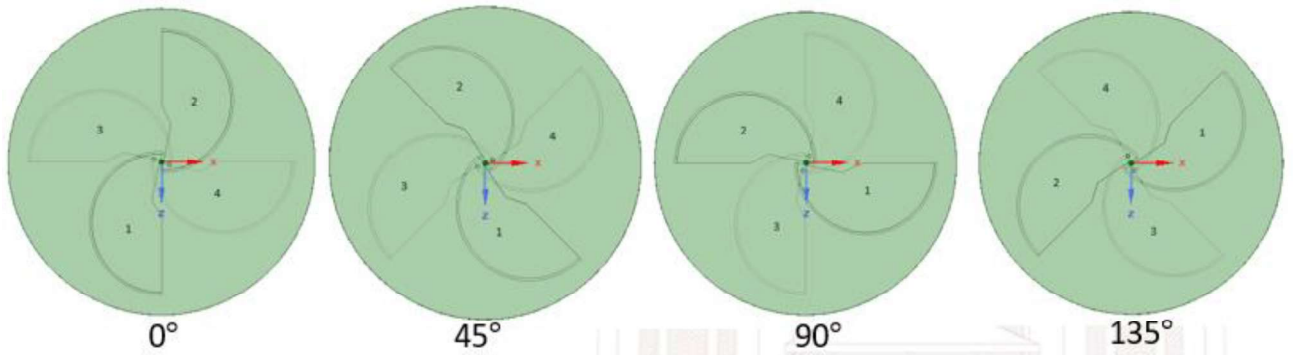
**Tabel 4.6** Dimensi *Overlap*

No	Variasi <i>Overlap</i> ( $\beta$ )	Dimensi <i>Overlap</i> (e)
1.	0.15	28.12 mm
2.	0.18	33.75 mm
3.	0.21	39.37 mm

bentuk dari ketiga *Overlap* seperti berikut:



**Gambar 4.8** Variasi *Overlap*



**Gambar 4.9** *Paddle* Sesuai Sudut

*Paddle* dari berbagai sudut dapat divisualisasikan seperti di atas, dengan *paddle* 1 dan 2 berada di bagian atas rotor, 3 dan 4 berada di bagian bawah rotor dua tingkat.

#### 4.2.1 Perbandingan *Overlap* 0.15

Berikut adalah hasil dari simulasi CFD yang dilakukan pada variasi *Overlap* 0.15, dimana bentuk perbedaan celah dapat dilihat pada gambar sub bab di atas, didapatkan beberapa variasi seperti pada tabel di bawa ini:

**Tabel 4.7** Hasil Simulasi *Overlap* 0.15

<b><i>Overlap</i> 0,15</b>						
<b>No</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Sudut</b>	<b>Paddle</b>	<b>Force (N)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>	<b>Total Torsi</b>
1	Bezier	0'	1	-50.78	-5.65	-11.63
			2	28.25	-2.08	
			3	85.57	2.34	
			4	-3.92	-6.24	
2	Konvensional	0'	1	-69.45	-5.53	-10.9
			2	10.56	-0.87	
			3	-3.48	-4.9	
			4	75.88	0.4	
3	Bezier	45'	1	2.36	1.28	-12.31
			2	23.68	-3.52	
			3	94.85	-5.61	
			4	-41.70	-4.46	
4	Konvensional	45'	1	16.22	3.24	-13.72

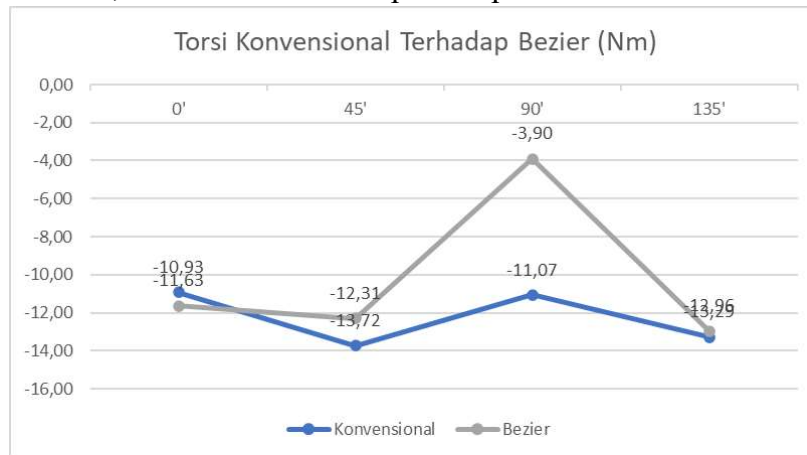
			2	42.75	-5.45	
			3	-59.58	-6.49	
			4	108.87	-5.02	
5	Bezier	90'	1	85.80	2.77	-3.90
			2	-3.87	-6.69	
			3	24.88	-2.76	
			4	-24.19	2.77	
6	Konvensional	90'	1	-20.37	-5.40	-11.07
			2	-8.74	-1.00	
			3	-61.24	-4.94	
			4	-4.44	0.27	
7	Bezier	135'	1	131.68	-7.84	-12.96
			2	-32.19	-3.41	
			3	38.55	4.17	
			4	53.58	-5.87	
8	Konvensional	135'	1	135.03	-8.03	-13.29
			2	-33.07	-3.51	
			3	39.57	4.28	
			4	54.96	-6.02	

Dapat dilihat bahwa dalam melakukan simulasi rotor savonius ada berbagai macam variasi, diantara rasio *Overlap* yang telah dibahas juga ada sudut, untuk menyimpulkan berbagai macam kemungkinan dari beberapa bilah mendapatkan tekanan dari arus laut tersebut, dari data tersebut pula telah didapatkan berbagai hasil gaya dan torsi yang didapatkan dari beberapa sudut arus laut, dimana arus masuk tetap sama.

Menariknya berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (Zemamou et al., 2020) dimana pada penelitiannya menjelaskan bahwa bilah dari rotor savonius berbasis bezier lebih baik dibandingkan dengan konvensional atau setengah lingkaran, yang mereka lakukan pada turbin angin.

Penelitian yang kami lakukan mendapatkan hasil yang berbeda dari penelitian tersebut, menggambarkan dan menyimpulkan dari data yang didapatkan untuk variasi *Overlap* 0.15 bahwa nilai yang terbaik dan lebih tinggi dari torsi (Nm) adalah tetap pada jenis konvensional yaitu

bilah rotor yang memiliki bentuk setengah lingkaran, walaupun tidak semua sudut, namun tidak menutup kesimpulan tersebut.



**Gambar 4.10** Diagram Torsi Konvensional Terhadap Bezier (Nm)

Torsi yang didapatkan oleh savonius berbasis konvensional atau berbentuk setengah lingkaran pun sama, mendapatkan nilai yang lebih baik, dibandingkan dengan savonius berbasis *Bezier Curve*, bahkan dalam keseluruhan total bilah konvensional mendapatkan torsi yang lebih baik, menandakan bahwa rotor jenis ini lebih baik.

Melihat dari dari berbagai variasi sudut rotor yang didapatkan dari kedua jenis, yaitu rotor savonius berbasis bezier dan juga konvensional di atas, dengan variasi 0°, 45°, 90° dan 135° di atas bahwa sudut rotor yang mendapatkan nilai terbaik adalah 45° dan 135°, dimana pada konvensional berbeda tipis, yaitu 45° yang memiliki nilai terbaik, namun pada bezier yaitu pada nilai 135°, namun hasil ini tetap menjelaskan bahwa fakta sudut terbaik adalah 135°.

Dari hasil sudut terbaik di atas, peneliti melakukan penelitian selanjutnya yaitu variasi rasio *Overlap* 0.18 dan 0.21 untuk menguatkan hasil dari jenis bilah terbaik, menggunakan sudut yang mendapatkan nilai terbaik yaitu 135° saja.

#### 4.2.2 Perbandingan *Overlap* 0.18

Perbandingan selanjutnya adalah dari rasio *Overlap* 0.18, dimana pada simulasi ini dilakukan hanya pada sudut 135° saja, yaitu sudut

yang memiliki hasil terbaik, diambil dari kesimpulan rasio variasi 0.15, dipaparkan dengan tabel di bawah ini.

**Tabel 4.8** Hasil Simulasi *Overlap* 0.18

<b>Overlap 0,18</b>						
No	Bentuk	Sudut	Paddle	Force (N)	Torsi (Nm)	R. Torsi
9	Bezier	135'	1	77.38	-3.46	-8.04
			2	-51.14	-2.68	
			3	12.58	1.02	
			4	28.31	-2.91	
10	Konvensional	135'	1	26.22	-1.88	-11.18
			2	-62.78	-5.81	
			3	6.38	1.35	
			4	23.33	-3.20	

Dapat dilihat bahwa pada tahap simulasi ini pun menariknya bahwa savonius berbentuk konvensional atau setengah lingkaran memiliki nilai atau hasil yang lebih baik dibandingkan dengan Bezier, dari segi torsi, yaitu mendapatkan nilai 9.53 Nm dengan arah searah jarum jam.

#### 4.2.3 Perbandingan *Overlap* 0.21

Perbandingan terakhir adalah dari rasio *Overlap* 0.21, dimana pada simulasi ini dilakukan hanya pada sudut 135° saja, yaitu sudut yang memiliki hasil terbaik, diambil dari kesimpulan rasio variasi 0.15, dipaparkan dengan tabel di bawah ini.

**Tabel 4.9** Hasil Simulasi *Overlap* 0,21

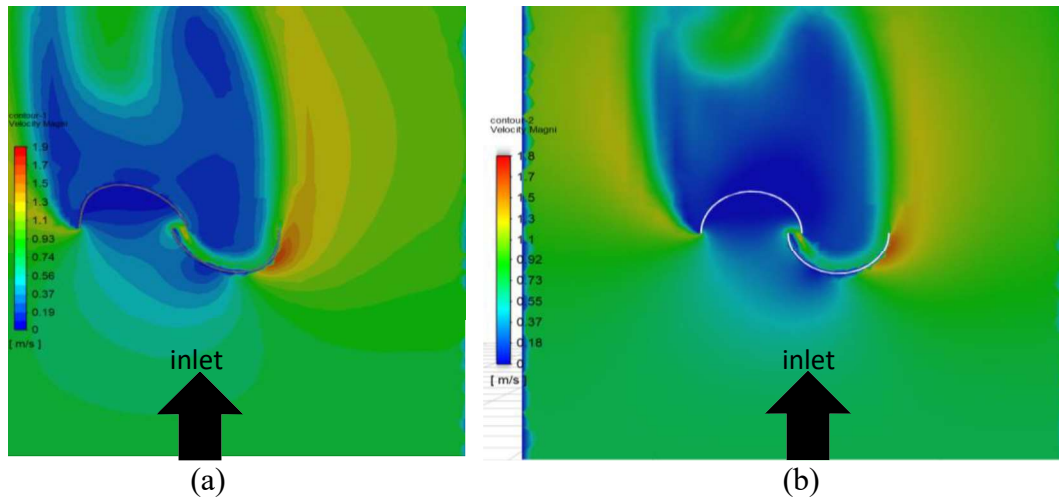
<b>Overlap 0,21</b>						
No	Bentuk	Sudut	Paddle	Force (N)	Torsi (Nm)	Total Torsi
9	Bezier	135'	1	2.48	-0.02	-6.12
			2	-41.19	-4.04	
			3	29.17	2.70	
			4	46.61	-4.75	
10	Konvensional	135'	1	18.82	-1.82	-9.19
			2	-53.43	-5.37	
			3	13.45	1.21	
			4	32.47	-3.20	



Terlihat kembali hasil yang didapatkan dari simulasi rasio ini mendapatkan nilai terbaik dari segi torsi (Nm) didapatkan oleh jenis konvensional dengan hasil 9.19 Nm serah jarum jam.

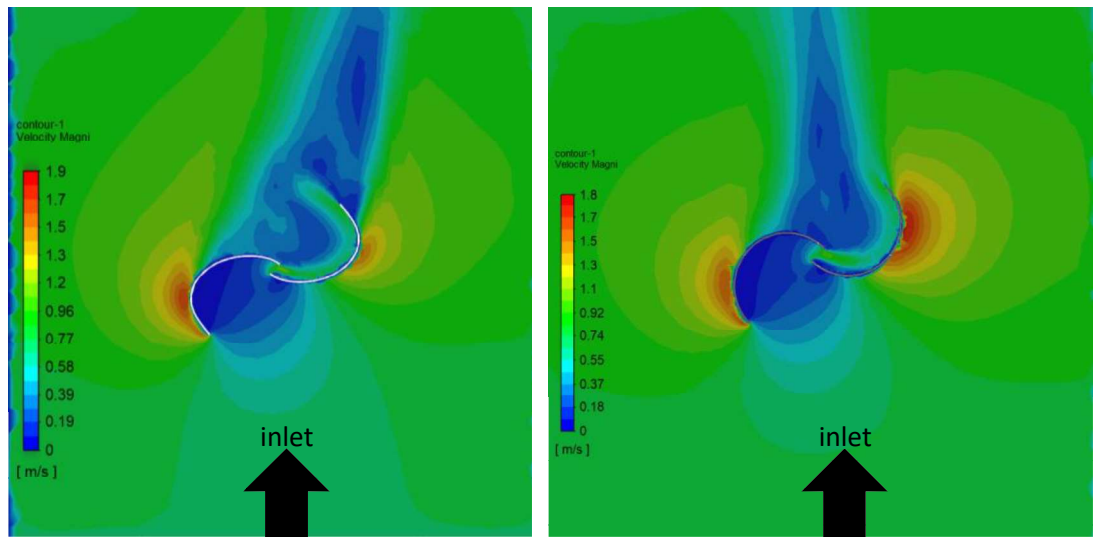
#### 4.5 Hasil Perbandingan Sudut dengan *Contours*

Tahap selanjutnya kita bisa menganalisa atau membahas terkait sudut dari bilah-bilah yang diterima ketika dilakukanya simulasi, dimana pada setiap sudut mendapatkan perlakuan dan karakteristik sendiri, contohnya dalam mengelola arus yang diterima dan arus yang dibuang, dalam hal ini kita dapat melakukan visualisasinya dengan menggunakan *Contours*, seperti beberapa gambar di bawah ini.



**Gambar 4.11** (a) 0° Bezier (b) 0° Konvensional

Gambar di atas mevisualisasikan dari sudut 0° dari jenis Bezier dan juga Konvensional dimana arus atau *velocity* yang dialami atau diterima dari bilah rotor tersebut, dapat terlihat bahwa sedikit sekali perbedaan dari bentuk ataupun warna yang tertera pada kedua gambar tersebut, namun jika kita lihat pada aliran masuk bentuk dari gambar (a) memiliki lebaran arus rendah yang lebih kecil, sehingga memungkinkan mendapatkan gaya yang lebih baik, karena buangan dari arus yang cepat pula dapat dilihat dari celah bilah.

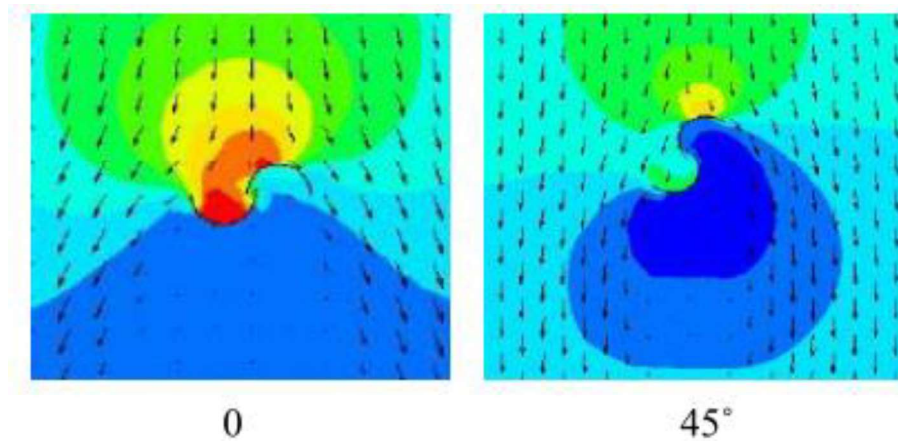


(a)

(b)

**Gambar 4.12** (a) 45° Bezier (b) 45° Konvensional

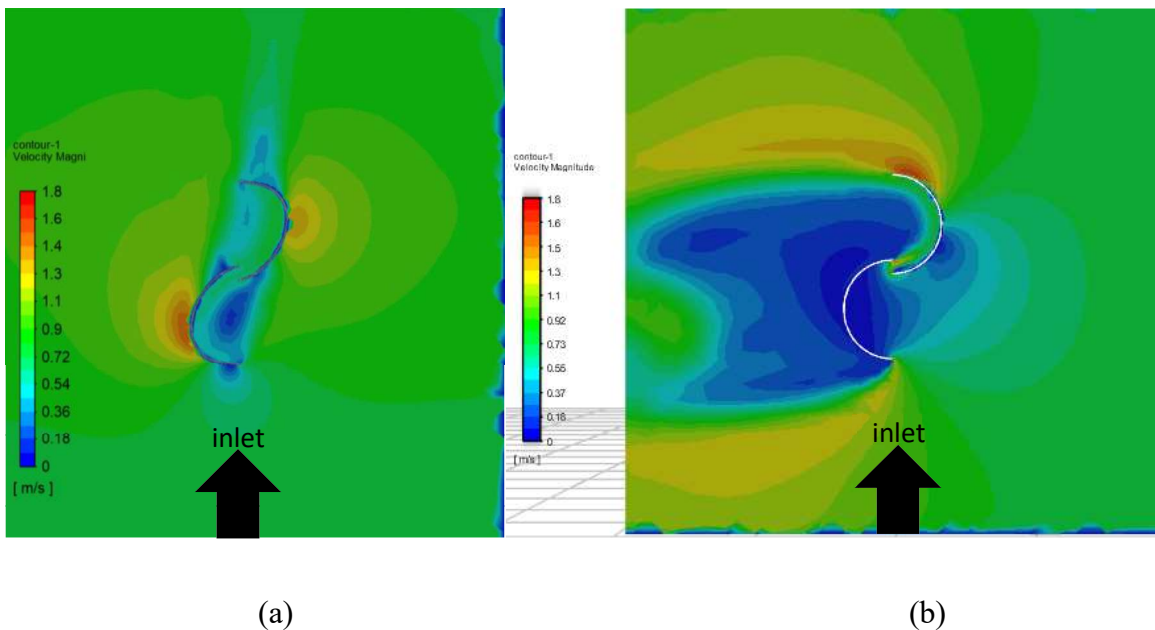
Terlihat dari gambar di atas, kedua gambar tersebut memiliki arah arus rendah yang berbeda, pada gambar (a) arah arus rendah yaitu sedikit ke kanan, dikarenakan bentuk itu sendiri, sedangkan gambar (b) seperti menahan seluruh aliran yang masuk, sehingga memungkinkan memiliki atau mendapatkan gaya yang diterima lebih baik. Untuk melakukan validasi pada hasil aliran, dapat dilihat pada penelitian (O. Bin Yaakob et al., 2010) pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.13** Validasi Penelitian

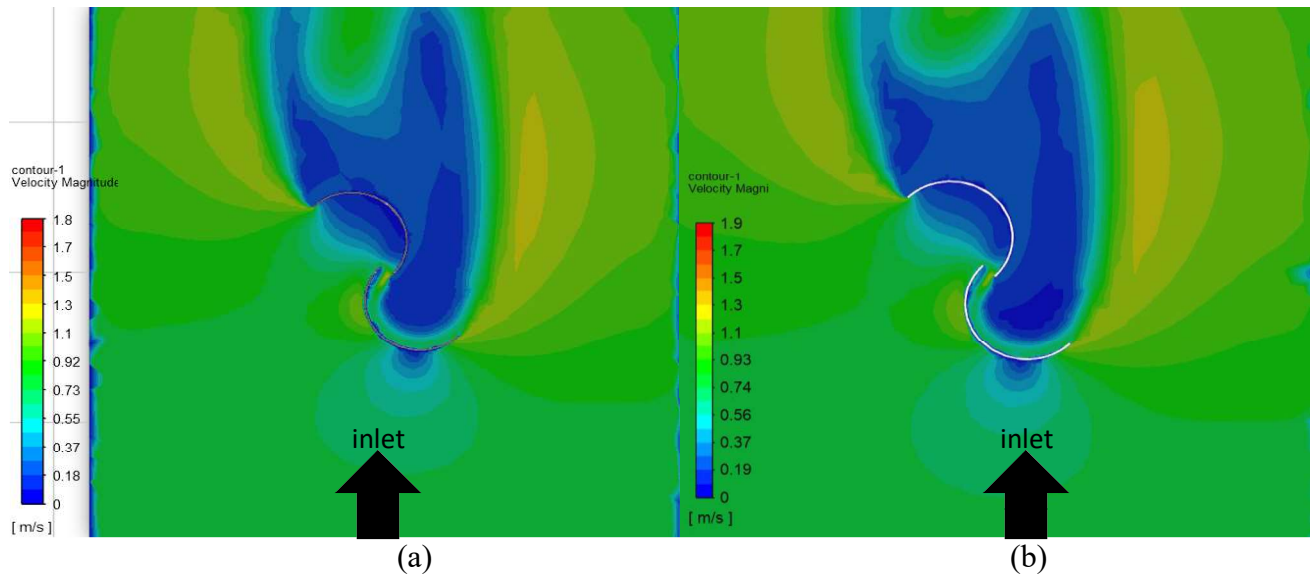
(Sumber: (O. Bin Yaakob et al., 2010))

Dapat dilihat bahwa hasil gambar *contour* memiliki kesamaan yaitu tidak adanya turbulensi, dengan atau arus yang berada di belakang *paddle* mendapatkan arus mendekati 0 m/s, dikarenakan penelitian ini mensimulasikanya dalam keadaan diam dan juga *no boundary layers* sehingga tidak terdapat turbulensi, dikarenakan fungsi dari penelitian ini mengetahui torsi yang didapatkan oleh *paddle* rotor, sehingga tidak perlu mendapatkan secara aktualnya dalam bergerak, rotor yang disimulasikan dalam keadaan diam pun dapat dijadikan sebagai referensi pengujian, sehingga mendapatkan karakteristik dari rotor tersebut.



**Gambar 4.14** (a) 90° Bezier (b) 90° Konvensional

Gambar di atas merupakan hasil visualisasi dari *velocity* atau kecepatan arus di sekitar rotor, dapat terlihat pada sudut yang sama terdapat perbedaan yang signifikan yang dialami atau respon dari kedua jenis rotor tersebut, pada gambar (a) memiliki arus rendah di sekitar rotor yang lebih sedikit, hal ini mengartikan sedikit arus yang tertahan sehingga mengakibatkan gaya yang kecil, juga dapat dilihat bahwa aliran masuk tidak bervariasi dan memiliki arus yang tidak begitu cepat, dibandingkan dengan gambar (b) terdapat arus yang tertahan dan arus yang masuk dengan kecepatan tinggi pada rotor aliran masuk.



**Gambar 4.15** (a) 135° Bezier (b) 135° Konvensional

Kedua gambar di atas tidak terlalu berbeda satu sama lain, padahal memiliki bentuk yang berbeda, pun sama dengan hasilnya, dapat dilihat dari rasio 0,15 dengan sudut yang sama, kedua jenis rotor tersebut, mendapatkan perbedaan 1 nilai saja dari gaya yang diterima kedua jenis bilah tersebut. Hal ini mengartikan bahwa sudut ini pada kedua jenis rotor tidak terlalu berpengaruh sehingga ketika dibandingkan dengan hasil yang didapatkan berbeda, tetap gambar (b) memiliki nilai yang lebih baik.

#### 4.6 Kinerja Rotor Savonius Bezier

Kinerja Rotor savonius dikenal dengan beberapa istilah antaranya lain yang paling sering kita temukan adalah, Koefisien Torsi ( $C_t$ ), Koefisien Daya ( $C_p$ ). Istilah ini dapat ditemukan jika pada penelitian atau pengujian mendapatkan *tip speed ratio* (TSR) dan  $C_t$  ditemukan. Rumus tersebut diantara lain (Suprayogi, 2010):

$$C_t = \frac{4 \cdot T}{(\rho \cdot V_m^2 \cdot D_m^2 \cdot H)}$$

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{V_m}$$

$$C_p = C_t \cdot \lambda$$

Dimana:

$T$  = Torsi (Nm)

$\rho$  = 1025 (kg/m<sup>3</sup>)

$V_m$  = Kecepatan Aliran (m/s)

$D_m$  = Diameter Rotor (m)

$r$  = Jari-jari (m)

$H$  = Tinggir Rotor (1,5)

$\omega$  = Kecepatan Sudut (rad/s)

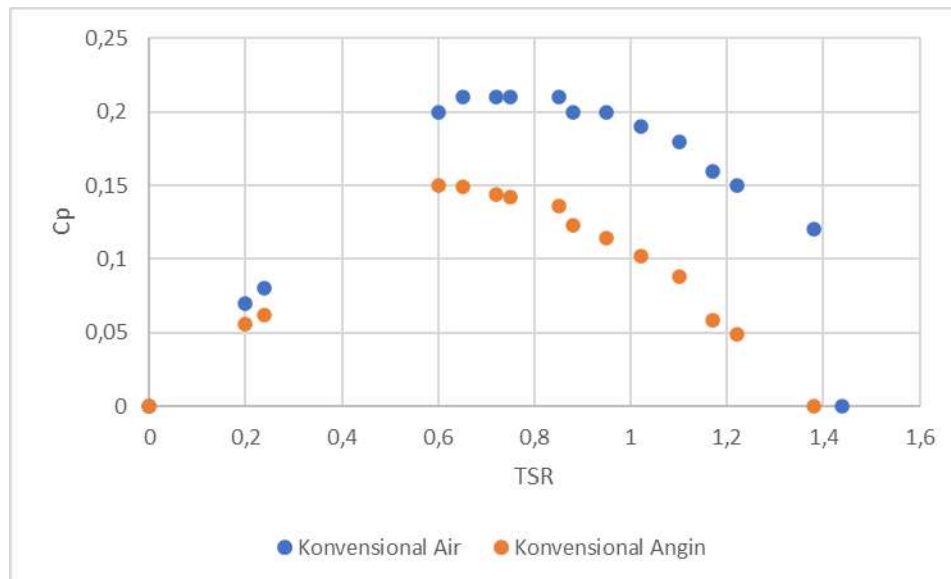
Simulasi CFD tidak dapat memberikan kecepatan rotor atau RPM sehingga TSR tidak dapat ditentukan, simulasi juga hanya memberikan satu nilai torsi saja, sehingga koefisien torsi tidak dapat ditentukan, untuk mendapatkan nilai akhir perbandingan yaitu koefisien daya ( $C_p$ ). Sehingga untuk mendapatkan hal tersebut kita bisa mengambil data untuk disesuaikan kembali dari penelitian (Sarkar & Bhattacharyya, 2012), sehingga mendapatkan beberapa data tabel dan grafik berikut:

**Tabel 4.10** Kinerja Rotor Konvensional Angin (Sarkar & Bhattacharyya, 2012)

NO	Tip Speed Ratio	$C_t$	$\omega$	RPM	$T_{sw}$	$C_p$
1	0	0.17	0	0	0.26	0
2	0.2	0.28	0.18	1.73	0.43	0.056
3	0.24	0.26	0.22	2.08	0.4	0.0624
4	0.6	0.25	0.54	5.20	0.38	0.15
5	0.65	0.23	0.59	5.63	0.35	0.1495
6	0.72	0.2	0.65	6.24	0.3	0.144
7	0.75	0.19	0.68	6.50	0.29	0.1425
8	0.85	0.16	0.77	7.36	0.24	0.136
9	0.88	0.14	0.8	7.62	0.21	0.1232
10	0.95	0.12	0.86	8.23	0.18	0.114
11	1.02	0.1	0.92	8.84	0.15	0.102
12	1.1	0.08	1.00	9.53	0.12	0.088
13	1.17	0.05	1.06	10.14	0.08	0.0585
14	1.22	0.04	1.11	10.57	0.06	0.0488
15	1.38	0	1.25	11.95	0	0

**Tabel 4.11** Kinerja Rotor Konvensional Air (Suprayogi, 2010)

No	Tip Speed Ratio	RPM	$T_{sim}$	$C_t$	$C_p$
1	0	0	0.387	0.25	0
2	0.2	1.73	0.56	0.37	0.07
3	0.24	2.08	0.53	0.35	0.08
4	0.6	5.20	0.51	0.34	0.2
5	0.65	5.63	0.48	0.32	0.21
6	0.72	6.24	0.43	0.29	0.21
7	0.75	6.50	0.42	0.28	0.21
8	0.85	7.36	0.37	0.25	0.21
9	0.88	7.62	0.34	0.23	0.2
10	0.95	8.23	0.31	0.21	0.2
11	1.02	8.84	0.28	0.19	0.19
12	1.10	9.53	0.25	0.17	0.18
13	1.17	10.14	0.21	0.14	0.16
14	1.22	10.57	0.19	0.13	0.15
15	1.38	11.95	0.13	0.09	0.12
16	1.44	12.47	0	0	0



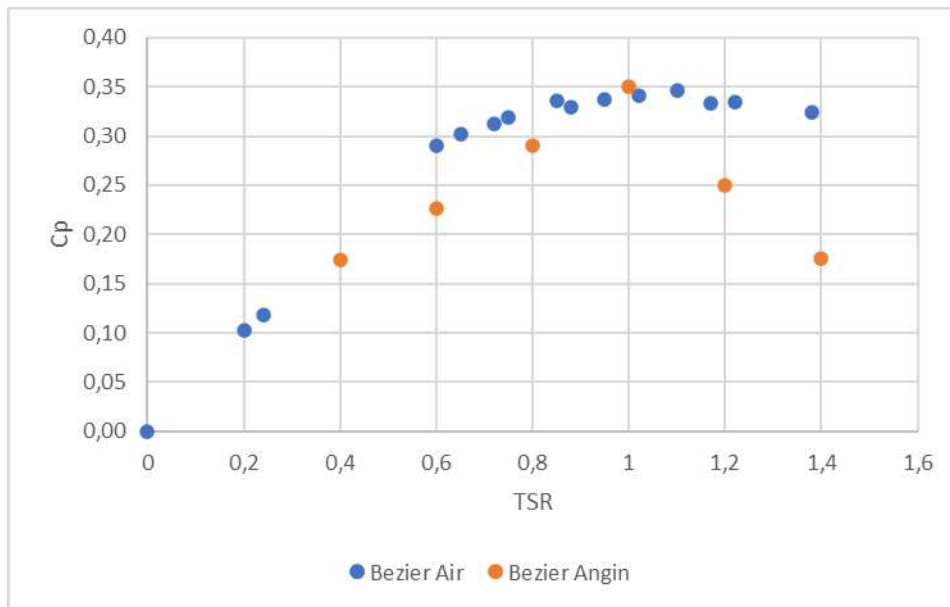
**Gambar 4.16** Komparasi Rotor Konvensional Air dan Angin

**Tabel 4.12** Kinerja Rotor Bezier Angin (Zemamou et al., 2020)

No	Tip Speed Ratio	Cp
1	0.4	0.174
2	0.6	0.226
3	0.8	0.29
4	1	0.35
5	1.2	0.25
6	1.4	0.176

**Tabel 4.13** Kinerja Rotor Bezier Air

No	Tip Speed Ratio	RPM	<i>Tsim</i>	Ct	Cp
1	0	0.00	12.960	0.40	0.00
2	0.2	7.85	16.49	0.51	0.10
3	0.24	9.42	15.84	0.49	0.12
4	0.6	23.54	15.52	0.48	0.29
5	0.65	25.50	14.88	0.46	0.30
6	0.72	28.25	13.92	0.43	0.31
7	0.75	29.43	13.60	0.42	0.32
8	0.85	33.35	12.64	0.39	0.34
9	0.88	34.53	12.00	0.37	0.33
10	0.95	37.27	11.36	0.35	0.34
11	1.02	40.02	10.72	0.33	0.34
12	1.1	43.16	10.08	0.31	0.35
13	1.17	45.91	9.11	0.28	0.33
14	1.22	47.87	8.79	0.27	0.33
15	1.38	54.15	7.51	0.23	0.32



**Gambar 4.17** Kinera Rotor Konvensional Angin

Kita dapat lihat bahwa pada kedua jenis rotor ini memiliki beberapa karakteristik sama walaupun dengan media yang berbeda, yaitu pada angin dan air. Contoh pada konvensional dengan media angin dan air, rata-rata nilai yang tertinggi dari  $C_p$  adalah 0.2 dan dibawahnya, sedangkan nilai  $C_p$  yang dimiliki oleh rotor bezier yaitu rata-rata nilai maksimalnya adalah 0.35 pun dengan nilai TSR yang rata-rata sama, yaitu pada nilai 1.

Dari hal ini dapat dikatakan bahwa rotor bezier ini layak untuk tetap dilanjutkan untuk dilakukan penelitian, karena tren ini memungkinkan mendapatkan nilai yang lebih besar atau efisien. Hal ini juga mengartikan bahwa simulasi yang kami lakukan pada penelitian ini mengalami hasil yang sama atau dapat divalidasi menggunakan beberapa pada penelitian di atas.