

**ANALISIS STRUKTUR STRUT BALANCE
TERHADAP PEMBEBANAN ANGIN PADA MODEL UJI
INDONESIA TSUNAMI EARLY WARNING SYSTEM OCEAN BOTTOM UNIT**

Ilham Akbar A.S.¹, Wijaya Indra Surya², Gunawan Wijiatmoko³

^{1,2,3}Balai Besar Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika, dan Aeroakustika (BBTA3) – Badan Pengkajian dan
Penerapan Teknologi (BPPT)

e-mail :¹ilham.akbar@bppt.go.id,²wijaya.indra@bppt.go.id,³gunawan.wijiatmoko@bppt.go.id,

ABSTRACT

Ocean Bottom Unit (OBU) is an equipment for the Indonesian Tsunami Early Warning System (INA-TEWS), which was developed by Agency for Assessment and Application of technology (BPPT) as a replacement for the Buoys. Unlike the Buoys that operate at sea level, the OBU works on the seabed, so it requires placement from surface to sea floor. Due to its unique shape, varying depths and waves, it is necessary to conduct research during the release of this OBU. One of the simulations of this OBU release can be done using a wind tunnel facility, where the forces and moments generated by this wind speed are measured using a balance. For that, an extension strut is needed that connects the balance with the test model. To ensure that strut is safe when used, it is necessary to analyze the value of the safety factor. The method used to analyze is the finite element method.

From the results of calculations and numerical analysis, the implementation of wind loading at a speed of 20 m / s is safe for the test conditions. This is because at this speed, the value of the safety factor of the strut balance is greater than 1. Based on the von Mises stress, the safety factor is 8,35, while based on the reaction force of the Y axis direction, the safety factor is 2,26. Thus, the maximum recommended wind speed for aerodynamic testing of the INA-TEWS OBU test model at ILST is 20 m / s, so that the structure of the test model and test equipment are in safe conditions.

Keywords : Finite Element Method, Safety Factor, von Mises Stress, Wind Tunnel

INTISARI

Ocean Bottom Unit (OBU) adalah peralatan Sistem Peringatan Dini Tsunami Indonesia (INA-TEWS, Indonesia Tsunami Early Warning System), yang dikembangkan sebagai pengganti perangkat Buoys oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Berbeda dengan Buoys yang beroperasi di permukaan laut, maka OBU bekerja di dasar laut sehingga perlu penempatan dari permukaan ke dasar laut. Karena bentuknya yang unik, serta juga kedalaman dan ombak yang bervariasi maka perlu dilakukan penelitian saat pelepasan OBU ini. Salah satu simulasi pelepasan OBU ini dapat dilakukan dengan menggunakan fasilitas terowongan angin, di mana gaya dan momen yang ditimbulkan oleh angin berkecepatan ini, diukur menggunakan balance. Untuk itu, diperlukan extension strut yang menghubungkan balance dengan model uji. Untuk menjamin strut aman saat

digunakan, maka perlu dianalisis nilai faktor keamanannya. Metode yang digunakan untuk menganalisis adalah metode elemen hingga.

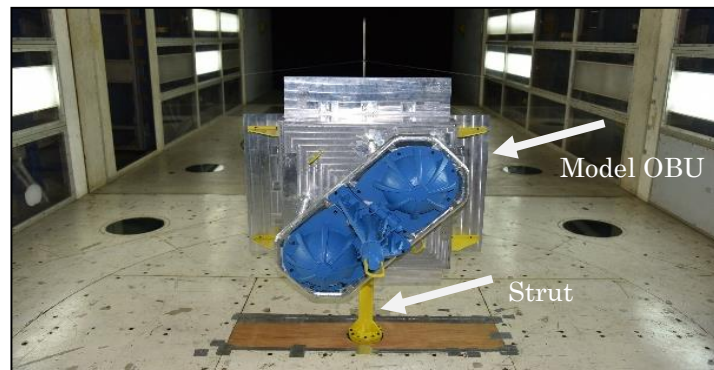
Dari hasil perhitungan dan analisis numerik, maka implementasi pembebanan angin pada kecepatan 20 m/s sudah aman terhadap kondisi pengujian. Hal ini disebabkan pada kecepatan tersebut, nilai faktor keamanan dari strut balance sudah lebih dari 1. Berdasarkan tegangan von Mises, diperoleh faktor keamanan = 8,35, sedangkan berdasarkan gaya reaksi arah sumbu Y, diperoleh faktor keamanan = 2,26. Dengan demikian, kecepatan angin maksimum yang direkomendasikan pada pengujian aerodinamik terhadap model uji INA-TEWS OBU di ILST adalah 20 m/s, sehingga struktur model uji dan peralatan uji dalam kondisi yang aman.

Kata kunci : Faktor Keamanan, Metode Elemen Hingga, Tegangan von Mises, Terowongan Angin

1. PENDAHULUAN

Balai Besar Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika, dan Aeroakustika (BBTA3) merupakan satuan kerja yang berada di bawah Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, yang mempunyai fasilitas uji aerodinamika berupa terowongan angin *Indonesia Low Speed Tunnel (ILST)*. Dengan fasilitas uji ini, BBTA3 turut membantu kegiatan pengkajian yang dilakukan oleh BPPT, salah satunya dalam sektor kebencanaan tsunami. Kegiatan yang dilakukan antara lain, membantu dalam pengkajian dan penerapan teknologi *Indonesia Tsunami Early Warning System (INA-TEWS)* dalam rancang bangun *Ocean Bottom Unit (OBU)*. Di dalam terowongan angin ini, gaya dan momen yang terjadi pada model uji *OBU*, diukur dengan menggunakan *balance*. Gaya dan momen ini menunjukkan karakteristik aerodinamika dari *OBU*. Oleh karena *balance* yang digunakan mempunyai kapasitas maksimum terhadap gaya dan momennya, maka diperlukan analisis awal untuk memprediksi gaya dan momen yang akan terjadi pada model uji akibat beban angin selama pengujian. Dengan analisis ini, maka akan diperoleh besarnya beban maksimum yang akan terjadi pada saat pengujian. Beban maksimum yang akan terjadi, tentu tidak boleh melebihi kapasitas dari *balance*. Karena beban maksimum ini berhubungan dengan kecepatan angin, maka perlu dihitung dan ditentukan kecepatan angin maksimum yang diijinkan sehingga beban angin yang terjadi tidak melebihi dari kapasitas *balance*.

Model uji *OBU* diletakkan di atas lantai dalam seksi uji dari terowongan angin, sedangkan *balance* terletak di bawah seksi uji tersebut. Untuk menghubungkan model uji *OBU* dengan *balance*, digunakan *balance strut*. *Strut* ini selain berfungsi “memegang” model uji, juga berfungsi menghantarkan gaya dan momen yang diterima model uji ke *balance* untuk diukur. Oleh karena itu, strut yang digunakan harus mampu menahan beban angin yang diberikan. Dengan demikian pada saat perancangan, harus dilakukan analisis terlebih dahulu terhadap nilai faktor keamanan atau *safety factor*-nya. Untuk menjamin keamanan terhadap *balance* sebagai alat ukur, model uji *OBU* dan juga peralatan uji *ILST*, strut ini harus mempunyai nilai *safety factor* lebih dari 1. Model uji *OBU* yang terpasang di dalam seksi uji *ILST* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Model uji *INA-TEWS OBU* dan *strut* terpasang di dalam seksi uji

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk analisis struktur terhadap *strut* adalah dengan metode numerik, yaitu elemen hingga. Metode perhitungan analitik juga dilakukan untuk mendapatkan pembebanan angin (*wind load*) yang terjadi terhadap model uji. Pada akhir analisis akan didapatkan gaya reaksi pada tumpuan dari *strut* yang akan merepresentasikan prediksi gaya yang akan terjadi selama pengujian. Tegangan (*stress*) dan perpindahan (*displacement*) juga akan didapatkan untuk mengetahui *safety factor* dari *strut* setelah dibebani oleh beban angin. Sebelum dilakukan analisis dengan metode elemen hingga, maka dilakukan analisis deskriptif, yang dimulai dengan studi literatur terhadap keilmuan terkait dan pengkajian pada analisis yang telah dilakukan sebelumnya. Pada proses awal ini dilakukan studi mengenai data model uji berupa geometri dan pengaplikasian wahana di kondisi sebenarnya yang kemudian dialihkan ke kondisi uji. Hal ini penting dikarenakan *INA-TEWS OBU* akan diaplikasikan di media air, sedangkan media pengujian terowongan angin adalah angin atau udara. Analisis mengenai perbedaan fasa telah dilakukan dan dikaji sebelumnya, di mana terdapat 3 (tiga) variasi kecepatan angin yaitu: 10 m/s, 20 m/s, dan 30 m/s. Dari ketiga macam kecepatan ini, nanti akan ditentukan kecepatan mana yang menjadi kecepatan angin pada pengujian.

Langkah berikutnya adalah menyiapkan model *CAD* (*Computer Aided Design*) dari *strut* sebagai komponen yang akan dianalisis. Dalam melakukan analisis numerik, model *CAD* tidak dianalisis secara menyeluruh, namun dilakukan secara terpisah. Dengan melakukan perhitungan analitik seperti ini, pemodelan numerik dapat lebih disederhanakan, sehingga dapat mempermudah dan mempersingkat proses analisis numerik. Setelah pemodelan telah disiapkan, proses berikutnya adalah melakukan analisis numerik dengan perangkat lunak metode elemen hingga. Pada proses ini gaya dan momen yang telah dihitung secara analitik terpisah akan diaplikasikan bersamaan dengan kondisi batas yang disesuaikan dengan kondisi sebenarnya selama pengujian. Setelah hasil didapatkan, proses berikutnya adalah analisis hasil numerik dan penyajian hasil analisis. Hasil analisis akan dibandingkan dengan batasan yang telah didapatkan selama studi literatur berupa kekuatan lentur (*Yield Tensile Strength*) dan kemampuan *balance*. Menurut (*Baljeu, 1988*), kapasitas *balance* adalah seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1. Perbandingan ini akan menghasilkan nilai *safety factor*. Secara umum, prosedur yang dilakukan adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Tabel 1. Kapasitas *balance*

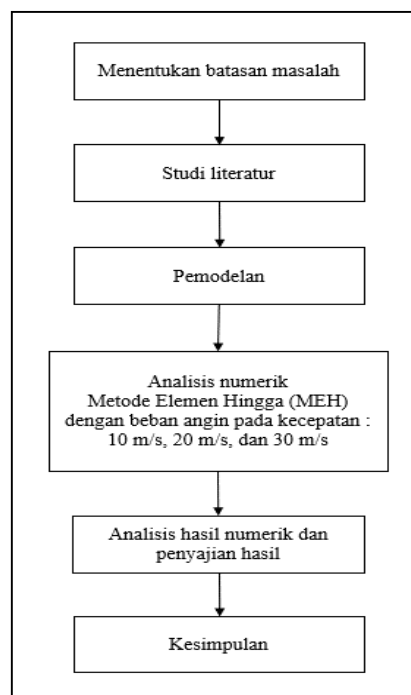
K1 (<i>Normal Force</i>)	± 9000	N
K2 (<i>Drag</i>)	± 1200	N
K3 (<i>Pitching Moment</i>)	± 1700	Nm
K4 (<i>Side Force</i>)	± 3000	N
K5 (<i>Yawing Moment</i>)	± 1250	Nm
K6 (<i>Rolling Moment</i>)	± 1250	Nm

2.1 Material

Material yang digunakan untuk strut adalah *common steel*. Untuk meningkatkan *confident level* dalam melakukan analisis numerik, maka properti material untuk *modulus of elasticity* dan *shear modulus* diturunkan sebesar 10%. Berdasarkan MatWeb – Material Property Data (2020), properti material yang digunakan dalam analisis numerik pada perangkat lunak metode elemen hingga ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

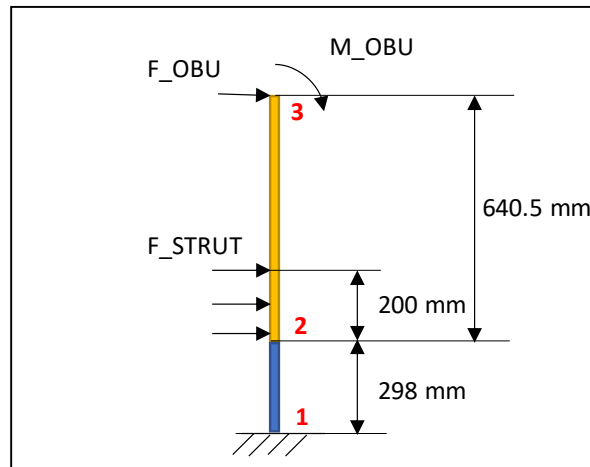
Tabel 2. Properti material *strut*

<i>Modulus of Elasticity</i>	180	GPa
<i>Shear Modulus</i>	72	GPa
<i>Poisson Ratio</i>	0,25	
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	420	MPa
<i>Tensile Strength, Yield</i>	350	MPa



Gambar 2. Diagram alur prosedur analisis

2.2 Kondisi batas dan pembebanan



Gambar 3. Sketsa pembebanan angin pada model uji dan strut

Pembebanan yang terjadi pada pengujian ini adalah beban angin (*wind load*), yang menunjukkan besarnya gaya hambat dari model uji. Pada Gambar 3 ditunjukkan sketsa dari struktur dan pengaplikasian pembebanan, di mana F_{OBU} dan M_{OBU} masing-masing adalah gaya dan momen dari model uji sedangkan F_{STRUT} adalah gaya yang diterima strut akibat beban angin. Poin “1” menunjukkan tempat diaplikasikannya tumpuan, poin “2” adalah sambungan antara *central strut* dan *extension strut*. Sepanjang 200 mm dari point 2, merupakan daerah terpaparnya angin, sehingga timbul gaya hambat. Poin 3 merupakan daerah dipasangnya model uji, di mana pada daerah tersebut terdapat gaya hambat dan momen akibat berat model uji.

Menurut (Pozrikidis, 2017) dan (Childress, 2008), besarnya nilai gaya hambat dari model uji ini, diperoleh dengan menggunakan Persamaan (1) berikut.

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_D \quad (1)$$

di mana

- D : Gaya hambat,
- ρ : Massa jenis, kg/m^3
- v : Kecepatan angin, m/s
- S : Luas penampang, m^2
- C_D : Koefisien gaya hambat (*non dimensionless*)

Dengan kondisi batas yang dapat dilihat pada Tabel 3, maka dapat dihitung besarnya beban angin yang diterima model uji (F_{OBU}), beban angin yang diterima strut. Pemilihan nilai $C_{D_{\text{OBU}}} = 2$ dan $C_{D_{\text{Strut}}} = 1,17$ diambil berdasarkan (Hoerner, 1965).

Tabel 3. Kondisi batas model uji

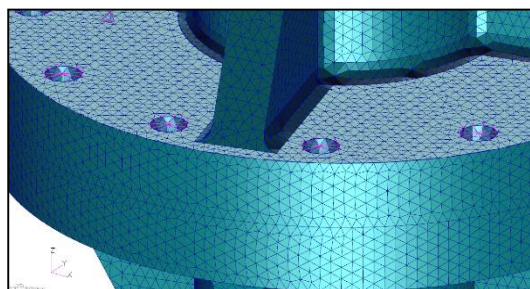
Properti	Nilai	Satuan
ρ	1,225	kg/ ³
S_{OBU}	0,810	m ²
$S_{Ext.Strut}$ (Terpapar)	0,011	m ²
C_{D_OBU}	2	
C_{D_Strut}	1,17	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

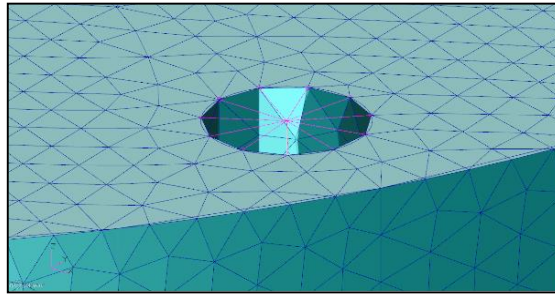
Dari kondisi batas yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan menggunakan Persamaan (1), maka diperoleh hasil perhitungan yang merupakan prediksi pembebanan. Hasil prediksi pembebanan dengan variasi kecepatan 10 m/s, 20 m/s dan 30 m/s ditunjukkan seperti pada Tabel 4. Pengaplikasian pembebanan pada perangkat lunak metode elemen hingga menggunakan jenis beban *Force* dan *Moment* untuk beban gaya hambat dan berat dari model uji OBU. Sedangkan untuk beban gaya hambat dari *strut* menggunakan jenis beban *Total Load*.. Metode *Multiple Point Constrain Rigid Body Element (MPC – RBE)* digunakan pada setiap lubang ulir untuk *strut* dan terintegrasi dengan pemodelan baut 1D. Aplikasi *MPC-RBE* dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan model baut secara *1D Beam – Rod* dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 4. Prediksi pembebanan pada berbagai variasi kecepatan

Gaya/Momen	Kecepatan angin, v [m/s]		
	10 m/s	20 m/s	30 m/s
F_{OBU} , N	99,225	396,900	893,025
F_{Strut} , N	0,788	3,153	7,095
M_{OBU} , N.m	47,500	47,500	47,500

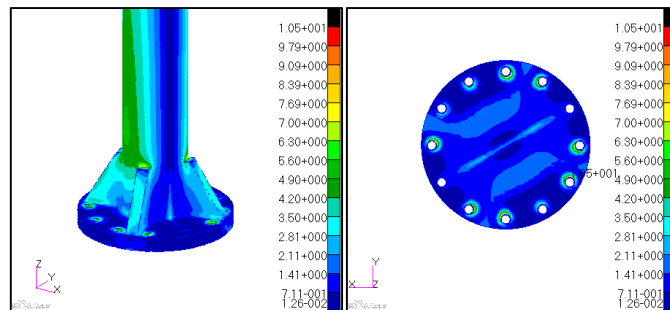


Gambar 4. Aplikasi MPC – RBE

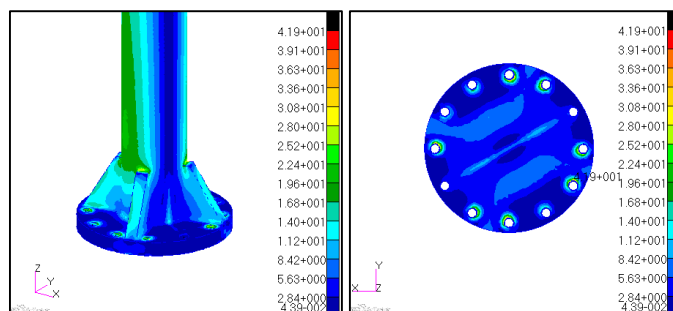


Gambar 5. Model baut secara *1D Beam - Rod*

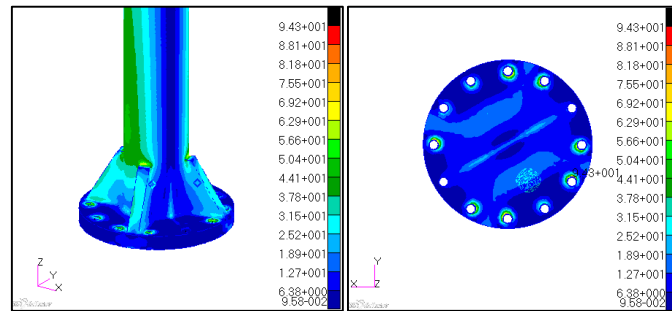
Gambar 6 sampai dengan Gambar 8 berikut menunjukkan spektrum hasil analisis numerik untuk tegangan *von Mises* pada variasi kecepatan yang berbeda, berturut-turut pada kecepatan 10 m/s, 20 m/s dan 30 m/s. Spektrum warna sebelah kanan menunjukkan nilai tegangan *von Mises* yang terjadi pada struktur, nilai tegangan akan divisualisasikan menjadi warna merah sebagai tegangan tertinggi dan biru sebagai tegangan terendah. Daerah sekitar sambungan dan *flange*, menunjukkan nilai tegangan yang relatif tinggi. Hal ini terlihat dari spektrum yang menunjukkan warna merah. Karena peningkatan kecepatan angin berbanding lurus dengan gaya hambat, maka nilai tegangan akan semakin tinggi juga apabila kecepatan bertambah. Hasil analisis numerik tegangan *von Mises* dan gaya reaksi secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 6. Spektrum hasil tegangan *von Mises* untuk beban kecepatan 10 m/s



Gambar 7. Spektrum hasil tegangan *von Mises* untuk beban kecepatan 20 m/s



Gambar 8. Spektrum hasil tegangan *von Mises* untuk beban kecepatan 30 m/s

Tabel 5. Hasil analisis tegangan *von Mises* dan gaya reaksi dengan variasi kecepatan angin

No	Properti	Kecepatan. v [m/s]		
		10	20	30
1	Tegangan maksimum, <i>von Mises</i> , [Mpa]	10,50	41,90	94,30
2	Magnitude Perpindahan, mm	0,319	1,28	2,87
3	Gaya Reaksi			
	- X, [N]	129	517	1160
	- Y, [N]	133	530	1190
	- Z, [N]	256	1020	2300
	- Magnitude, [N]	267	1070	2400

Tabel 6 menunjukkan *safety factor* yang dihitung berdasarkan analisis tegangan *von Mises* dan gaya reaksi sumbu Y. *Safety factor* berdasarkan analisis tegangan *von Mises* diperoleh dengan membagi nilai parameter batas keamanan dengan tegangan *von Mises* yang terjadi. Dalam hal ini, nilai parameter batas keamanan adalah *Yield Tensile Strength* dari material *common steel* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, yaitu sebesar 350 Mpa. Tegangan *von Mises* yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5, di mana nilainya berturut-turut adalah 10,50 MPa, 41,90 MPa dan 94,30 MPa untuk kecepatan angin 10 m/s, 20 m/s dan 30m/s.

Sedangkan *safety factor* berdasarkan analisis gaya reaksi pada sumbu Y diperoleh dengan membagi nilai dari kapasitas *balance* dengan gaya reaksi ke arah sumbu Y yang terjadi. Dalam hal ini, nilai kapasitas *balance* adalah kapasitas gaya hambat atau *drag* dari *balance* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, yaitu sebesar 1200 N. Gaya reaksi arah sumbu Y yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 5, di mana nilainya berturut-turut adalah 133 N, 530 N dan 1190 N untuk kecepatan angin 10 m/s, 20 m/s dan 30m/s.

Tabel 6. *Safety factor* menurut analisis tegangan *von Mises* dan gaya reaksi arah sumbu Y

Kecepatan, v [m/s]	Analisis			
	Tegangan von Mises, [MPa]	Safety Factor	Gaya reaksi sumbu Y, [N]	Safety Factor
10	10,50	33,33	133	9,02
20	41,90	8,35	530	2,26
30	94,30	3,71	1190	1,01

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan analisis numerik yang telah dibahas sebelumnya, maka pembebanan angin pada kecepatan 20 m/s sudah aman terhadap kondisi pengujian. Pada kecepatan tersebut, dari analisis tegangan von Mises, diperoleh faktor keamanan = 8,35, sedangkan berdasarkan gaya reaksi arah sumbu Y, diperoleh faktor keamanan = 2,26. Dengan demikian, kecepatan angin maksimum yang direkomendasikan pada pengujian aerodinamik terhadap model uji *INA-TEWS OBU* di ILST adalah 20 m/s, sehingga struktur model uji dan peralatan uji dalam kondisi yang aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Baljeu, J.F., (1988) ILST Internal Strain-Gauge Balance nr. 845, Manual, 18.
- Childress, S.(2008), *An Introduction to Theoretical Fluid Dynamics*, New York, Applied Math, 98
- Hoerner, S. F. (1965). *Fluid-Dynamic Drag*. New York: Liselotte A. Hoerner., 3-17
- MatWeb – Material Property Data, *Steels, General Properties*, diakses 16 Juni 2020 dari <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?bassnum=MS0001&ckck=1>
- Pozrikidis, C.(2017), *Fluid Dynamics: Theory, Computation, and Numerical Simulation, Third Edition*, New York, Springer, 672