

**DESAIN TANGKI MINYAK KELAPA SAWIT MENTAH BERKAPASITAS 8.449 KL
MENGUNAKAN METODE ONE-FOOT****Ahmad Royhan Firdausi Wirahman¹, Mohammad Miftachul Munir^{2*}, Pranowo Sidi¹**¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik
Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia*Email: m.munir@ppns.ac.id**Abstrak**

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam perekonomian Indonesia, baik sebagai komoditas domestik maupun ekspor. Penyimpanan minyak kelapa sawit mentah (CPO) yang aman dan efisien menjadi faktor utama dalam menjaga kualitas produk selama proses distribusi dan pengolahan. Penelitian ini berfokus pada perancangan tangki penyimpanan CPO dengan menggunakan *One-Foot Method* untuk menghitung ketebalan pelat pada bagian *shell*, *roof*, *bottom*, dan *annular bottom* berdasarkan tekanan hidrostatik. Desain tangki dilakukan menggunakan *software* Fusion 360, sedangkan analisis kekuatan struktur, meliputi distribusi tegangan dan deformasi, dilakukan dengan *Finite Element Method* (FEM). Tangki yang dirancang bertipe *vertical fixed cone roof* dengan kapasitas 8.449 kL menggunakan material ASTM A36. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketebalan minimum *shell course* 1–5 adalah 14 mm, 14 mm, 12,7 mm, 12,7 mm, dan 9 mm, sementara *course* 6–10 adalah 8 mm. Untuk bagian *roof* dan *bottom* ditetapkan ketebalan 8 mm dengan mempertimbangkan tekanan hidrostatik, *corrosion allowance*, dan ketersediaan material. Hasil analisis stabilitas menunjukkan tangki mampu menahan beban angin dan momen guling tanpa memerlukan *anchorage* tambahan. Tegangan maksimum yang diperoleh adalah 161,295 MPa, masih 2,83% di bawah nilai *allowable stress* 166 MPa, dengan deformasi maksimum sebesar 5,812 mm. Dengan demikian, tangki hasil rancangan ini aman, stabil, dan layak digunakan untuk penyimpanan CPO.

Kata kunci: API 650, desain produk, metode *one-foot*, tangki penyimpanan, *vertical fixed cone roof***Abstract**

The palm oil industry is a strategic sector that plays an important role in the Indonesian economy, both as a domestic commodity and for export. Safe and efficient storage of crude palm oil (CPO) is a key factor in maintaining product quality during distribution and processing. This study focuses on the design of a CPO storage tank using the *One-Foot Method* to calculate the plate thickness of the shell, roof, bottom, and annular bottom based on hydrostatic pressure. The tank design was performed using Fusion 360 software, while the structural strength analysis, including stress distribution and deformation, was performed using the *Finite Element Method* (FEM). The designed tank is a *vertical fixed cone roof* type with a capacity of 8,449 kL using ASTM A36 material. The calculation results show that the minimum shell thickness for courses 1–5 is 14 mm, 14 mm, 12.7 mm, 12.7 mm, and 9 mm, respectively, while for courses 6–10 is 8 mm. For the roof and bottom, a thickness of 8 mm was set by considering hydrostatic pressure, *corrosion allowance*, and material availability. The stability analysis results showed that the tank was able to withstand wind loads and overturning moments without requiring additional *anchorage*. The maximum stress obtained was 161.295 MPa, still 2.83% below the allowable stress of 166 MPa, with a maximum deformation of 5,812 mm. Therefore, the designed tank is safe, stable, and suitable for use in CPO storage.

Keywords: API 650, design product, one-foot method, storage tank, *vertical fixed cone roof*

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia, memberikan kontribusi signifikan terhadap pendapatan nasional dan penyerapan tenaga kerja. Sebagai salah satu produsen minyak kelapa sawit mentah (*Crude Palm Oil/CPO*) terbesar di dunia, Indonesia memerlukan fasilitas penyimpanan yang andal dan efisien untuk menjaga kualitas CPO selama proses penyimpanan, distribusi, dan pengolahan lebih lanjut. Penyimpanan yang tidak tepat dapat menyebabkan kontaminasi, oksidasi, dan penurunan mutu minyak, yang berdampak pada berkurangnya kualitas dan nilai jual produk (Atmadja, 2024). Oleh karena itu, perancangan tangki penyimpanan tidak hanya harus memperhatikan kapasitas, tetapi juga keamanan struktural, ketahanan, dan kepatuhan terhadap standar yang berlaku.

Tangki vertikal dengan atap *fixed cone roof* banyak digunakan dalam industri kelapa sawit karena efisiensi penyimpanannya yang tinggi, kebutuhan lahan yang relatif kecil, serta kemampuannya melindungi cairan yang disimpan dari kontaminasi lingkungan (Wasono, 2019). Untuk memastikan tangki mampu menahan tekanan hidrostatik dari CPO yang disimpan serta beban luar seperti angin, perancangan harus mengacu pada standar *American Petroleum Institute* (API) 650 yang memuat panduan pemilihan material, perhitungan ketebalan pelat, dan stabilitas struktur (American Petroleum Institute 650, 2018).

Penelitian ini menjawab permasalahan bagaimana mendesain tangki vertikal yang sesuai dengan standar API 650 dengan menerapkan *One-Foot Method* untuk menentukan ketebalan pelat yang dibutuhkan, serta mempertimbangkan aspek struktural guna menghasilkan desain tangki yang aman, efisien, dan ekonomis.

TINJAUAN PUSTAKA

API 650 adalah standar internasional untuk perancangan tangki silinder vertikal bertekanan rendah yang mencakup perhitungan ketebalan pelat, perlakuan terhadap beban internal dan eksternal, dan pengujian struktural. Metode satu kaki dan metode titik desain bervariasi adalah dua metode utama untuk menghitung ketebalan pelat.

Baja karbon rendah ASTM A36 memiliki kekuatan tarik 400 MPa dan tegangan luluh 250 MPa. Jika dipadukan dengan pelindung seperti cat epoksi atau galvanisasi, baja ini lebih baik untuk las dan tahan korosi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Baihaqi et al. (2020), ASTM A36 dapat digunakan di wilayah pesisir jika dilapisi dengan pelindung anti korosi.

Fixed cone roof tetap biasanya digunakan untuk menyimpan cairan yang tidak mudah menguap, seperti air. Dibandingkan dengan atap *dome* atau *floating roof*, itu melindungi dari hujan, debu, dan tekanan angin, dan membutuhkan biaya konstruksi yang lebih rendah.

METODE

Untuk merancang *storage tank* dibutuhkan beberapa tahapan metode penelitian seperti:

- (1) Langkah awal dalam mengumpulkan data dan informasi penting untuk desain tangki adalah menemukan masalah, membuat tujuan penelitian, dan menetapkan batasan ruang lingkup desain. Selain itu, peneliti melakukan penelitian lapangan

dengan melihat data teknis seperti *layout* peralatan dan kertas data. Mereka juga melihat literatur tentang desain dan analisis tangki berdasarkan standar API 650.

- (2) Data yang digunakan terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer meliputi informasi dimensi tangki, kecepatan angin, dan zona gempa. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari sumber tertulis seperti *equipment layout*, spesifikasi material, dan ketentuan minimum ketebalan dari standar API 650 edisi 2018.
- (3) Data yang telah dikumpulkan diolah untuk merancang tangki secara sistematis. Proses ini mencakup analisis dimensi dan pemilihan material, perhitungan ketebalan minimum untuk bagian *shell*, *bottom*, *annular*, *roof*, dan *manhole* menggunakan metode *One-Foot*, serta penentuan ketebalan aktual. Selain itu, dilakukan pula analisis stabilitas terhadap beban angin dan gempa. Desain akhir kemudian divisualisasikan dalam bentuk model 3D menggunakan *software* Fusion 360 lalu dilakukan FEA pada desain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Perhitungan Minimum Thickness pada Shell

Ketebalan *shell* dihitung menggunakan *One-Foot Method* (API 650, Sec. 5.6.3.2):

$$t_d = \frac{4,9D(H-0,3)G}{S_d} + CA \dots \dots \dots (1)$$

$$t_t = \frac{4,9D(H-0,3)}{S_t} \dots \dots \dots (2)$$

Di mana:

- t_d : ketebalan pelat *shell* desain (mm)
- t_t : ketebalan pelat *shell hydrostatic test* (mm)
- H : tinggi cairan dari dasar ke titik perhitungan (m)
- D : diameter tangki (m)
- G : berat jenis cairan (g/mL) = 0,917 untuk CPO
- S_d : tekanan yang diizinkan untuk kondisi desain (MPa)
- S_t : tekanan yang diizinkan untuk kondisi *hydrostatic test* (MPa)
- CA : *corrosion allowance* (mm)
- T650 : ketebalan pelat *shell* dari t_d atau t_t diambil yang lebih besar.

Tabel 1. Ketebalan *Shell per Course*

Perhitungan <i>Shell Course</i>	H (m)	Td (mm)	Tt (mm)	T650 (mm)	T Pelat Aktual (mm)
1	18,29	13,75	12,7	13,75	14
2	16,461	12,52	11,23	12,52	14
3	14,632	12,26	9,96	12,26	12,7
4	12,803	10,01	8,69	10,01	12,7
5	10,974	8,77	7,42	8,77	9
6	9,145	7,52	6,14	8	8
7	7,316	6,27	4,87	8	8
8	5,487	5,03	3,6	8	8
9	2,658	3,78	2,33	8	8
10	1,829	2,54	1,06	8	8

Sumber: Hasil Perhitungan *One-Foot Method*

Dalam desain ini, perhitungan *shell course* pertama menggunakan *One-Foot Method* seperti pada Tabel 1 menghasilkan ketebalan minimum 13,75 mm (termasuk CA 1,5 mm) yang kemudian disesuaikan menjadi 14 mm berdasarkan ketersediaan pelat di pasaran. Namun, untuk *shell plate*, API 650 memperbolehkan penggunaan ketebalan yang lebih tebal jika memenuhi syarat kekuatan dan ketahanan terhadap korosi.

(B) Perhitungan Minimal Thickness pada Bottom

Pelat yang akan dipasang pada *bottom*, berdasarkan pada API 650 Section 5.4.1 *thickness bottom* (Tb) tidak boleh kurang dari 6 mm. jadi minimum *thickness* pada *bottom* adalah 6 mm dan ditambahkan dengan CA, CA untuk *bottom* sendiri adalah 2 karena tekanan yang terjadi pada pelat *bottom* akan lebih besar jadi untuk nilai CA nya lebih besar dari pada *shell* dan *roof*.

$$T_{bottom} = t_{min, API} + CA \dots\dots\dots(3)$$

$$T_{bottom} = 6 + 2 = 8 \text{ mm}$$

(C) Perhitungan Minimal Thickness pada Annular Bottom

Ketebalan pelat pada *annular bottom* mengacu pada *standard* API 650 serta ditambahkan CA. Langkah awal yaitu mengetahui tebal pelat pada *shell course* 1 yaitu:

Td aktual : 14 mm

Produk stress : 160 MPa

Hydrostatic test : 171 MPa

Setelah mengetahui produk stress dan *hydrostatic test* maka diambil hasil terbesar yaitu *hydrostatic test*.

Tabel 2. Ketebalan Pelat pada Annular Bottom

Plate Thickness of First Shell Course (mm)	Stress in First Shell Course (MPa)			
	< 190	< 210	< 220	<250
t < 19	6	6	7	9
19 < t < 25	6	7	10	11
25 < t < 32	6	9	12	14
32 < t < 40	8	11	14	17

Sumber: (American Petroleum Institute 650, 2018)

Diketahui *plate thickness* pada Tabel 2 sebesar 14 mm dan *stress first shell course* < 190 maka *thickness annular bottom* sebesar 6 mm. selanjutnya hasil dari *thickness* ditambah dengan CA.

Corrosion Allowance = 2 mm

Thickness Annular Bottom = 6 mm + CA

= 6 mm + 2 mm

= 8 mm

(D) Perhitungan Minimal Thickness pada Roof

Berdasarkan *standard* API 650 para 5.10.2.2 dijelaskan bahwa *thickness roof* tidak boleh kurang dari 5 mm dan ditambahkan dengan CA, CA untuk *roof plate* ditetapkan 1,5 mm. Potensi korosi pada *roof* lebih rendah dan umumnya disebabkan oleh kondensasi uap dari

dalam tangki atau paparan hujan dari luar, bukan dari lingkungan cair yang korosif. Oleh karena itu, penambahan CA yang lebih kecil sudah memadai untuk memastikan umur pakai yang panjang, sekaligus mengoptimalkan penggunaan material. seperti pada perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned} Troof &= T_{min, API} + CA \dots\dots\dots(4) \\ CA &= 1,5 \text{ mm} \\ Troof &= 5 \text{ mm} + CA \\ &= 5 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} \\ &= 6,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Di mana:

$Troof$: ketebalan total *roof plate* (mm)
 $T_{min, API}$: ketebalan minimum sesuai API 650 tanpa *corrosion allowance* (mm)
 CA : *corrosion allowance* (mm)

Hasil perhitungan ketebalan *roof* berdasarkan API 650 *Section* 5.10.2.2 adalah 5 mm (minimum) + 1,5 mm (CA) = 6,5 mm. Namun, berdasarkan data ketersediaan pelat dari pemasok baja lokal seperti Gunawanstell.com, ukuran pelat komersial yang tersedia terdekat adalah 8 mm. Oleh karena itu, digunakan ketebalan 8 mm agar sesuai dengan spesifikasi pelat yang ada di pasaran dan mempermudah proses fabrikasi.

(E) Perhitungan Stabilitas Tangki

Pada perhitungan stabilitas tangki yang dihitung adalah stabilitas terhadap angin dan *overturning moment* untuk mengetahui apakah tangki membutuhkan *anchor* atau tidak.

Di mana:

$$\begin{aligned} M_{ws} + F_p (M_{pi}) &< \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR} && : \text{ untuk stabilitas terhadap angin} \\ J &< 0,785 && : \text{ untuk stabilitas terhadap } \textit{overturning moment} \end{aligned}$$

Tabel 3. Ringkasan Hasil Perhitungan Stabilitas

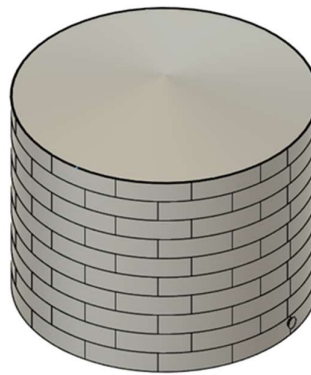
Parameter	Hasil	Batas
Stabilitas angin	1.680.276.877	5.554.152.454
Stabilitas <i>overturning</i>	0,033	0,785

Sumber: Hasil Perhitungan Stabilitas Tangki

Dari hasil pada Tabel 3 tersebut dapat dipastikan tangki stabil tanpa membutuhkan tambahan *anchorage*.

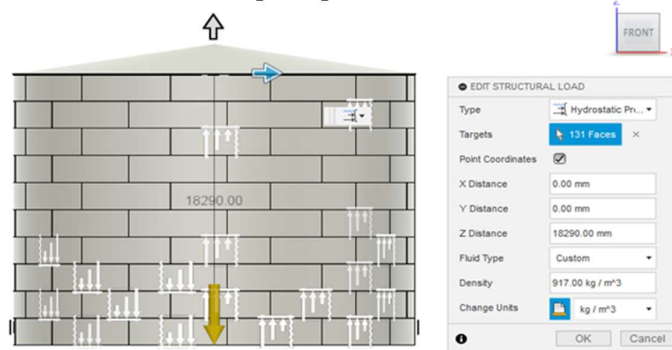
(F) *Finite Element Analysis* (FEA) Menggunakan Fusion 360

Analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis*/FEA) dilakukan menggunakan Autodesk Fusion 360 untuk memverifikasi hasil perhitungan manual ketebalan pelat tangki sesuai metode *One-Foot Method* dan standar API 650. Pemodelan 3D mencakup seluruh komponen utama (*shell, bottom, annular bottom, roof, top angle, dan manhole*) dengan dimensi aktual desain seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. 3D Modeling Storage Tank

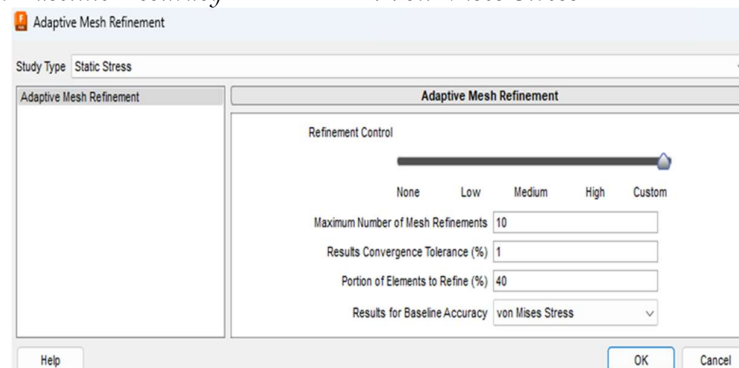
Kondisi batas ditetapkan dengan *fix support* pada bagian bawah *bottom*, *top angle*, dan *roof*. Beban yang diterapkan berupa tekanan hidrostatik CPO ($q = 917 \text{ kg/m}^3$) pada permukaan *internal shell* dan *bottom* seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hydrostatic Pressure

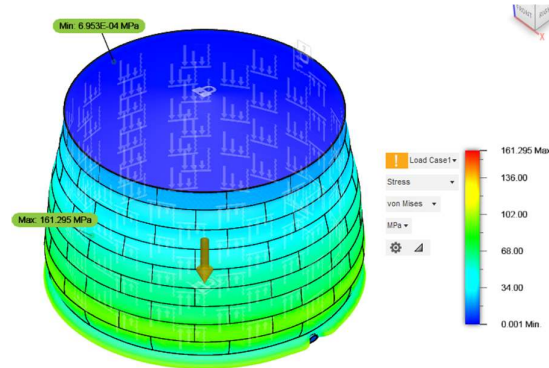
Meshing menggunakan *model-based size 10%* dilengkapi *Adaptive Mesh Refinement* untuk meningkatkan akurasi di area tegangan tinggi seperti pada Gambar 3. Pada fitur *Adaptive Mesh Refinement* menggunakan *custom* dengan keterangan:

Maximum Number of Mesh Refinement : 10 step
Result Convergence Tolerance : 1%
Portion of Elements to Refine : 40%
Result for Baseline Accuracy : Von Mises Stress

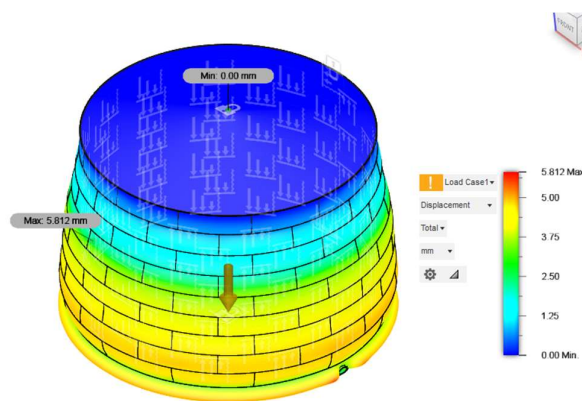


Gambar 3. Adaptive Mesh Refinement

Selanjutnya simulasikan studi lalu lihat grafik convergence plot serta hasil *mesh* yang menunjukan Hasil analisis menunjukkan tegangan maksimum *Von Mises* sebesar 161,295 MPa, di bawah batas *allowable stress* yaitu 166 MPa seperti pada Gambar 4, dan *displacement* maksimum 5,812 mm pada area *shell*, yang masih dalam batas aman operasi seperti pada Gambar 5. Uji konvergensi menghasilkan toleransi 0,183%, menandakan hasil stabil dan reliabel seperti pada Tabel 4.



Gambar 4. Hasil Simulasi *Von Mises*



Gambar 5. Hasil Simulasi *Displacement*

Tabel 4. Ringkasan Hasil FEM

Parameter	Hasil	Batas Aman
Tegangan <i>Von Mises</i> Maks.	161,295 MPa	< 166 MPa
<i>Displacement</i> Maks.	5,812 mm	Layak operasi
Toleransi Konvergensi	0,183%	≤ 1%

Sumber: Hasil Simulasi FEM

KESIMPULAN

Tangki penyimpanan CPO berkapasitas 8.449 kL tipe *vertical fixed cone roof* berhasil dirancang menggunakan metode *One-Foot* sesuai API 650 (2018). Perhitungan ketebalan minimum pada *shell*, *bottom*, *annular bottom*, dan *roof* dengan material ASTM A36 memenuhi standar, sedangkan ketebalan aktual disesuaikan dengan ketersediaan pelat di pasaran. Dari hasil perhitungan stabilitas angin, kriteria tangki stabil tanpa membutuhkan *anchorage* ($1.680.276.877 < 5.554.152.454$). Hasil perhitungan *overturning moment*, *anchorage ratio criteria*

= 0,033 < 0,785 maka tangki dinyatakan stabil tanpa menggunakan *anchorage*. Validasi FEA Fusion 360 menunjukkan tegangan maksimum (161,295 MPa < 166 MPa) dan *displacement* maksimum 5,812 mm, membuktikan desain aman dan layak. Metode ini efektif, sederhana, dan dapat menjadi acuan perancangan tangki kapasitas besar yang efisien dan sesuai standar industri.

Untuk membandingkan kinerja teoritis dengan kondisi dunia nyata, penelitian lebih lanjut harus mengintegrasikan validasi langsung melalui proses fabrikasi atau uji lapangan. Selain itu, metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk perancangan tangki penyimpanan sejenis di industri kelapa sawit dan industri cair lainnya. Selain itu, pengembangan dapat dilakukan pada elemen desain tambahan seperti pengaruh suhu, kombinasi beban operasional, atau optimalisasi penggunaan material. Semua ini tetap mengacu pada standar API 650.

REFERENSI

- American Petroleum Institute 650. (2018). Twelfth Edition, Addendum 2.
- Atmadja, G. L. (2024). *DESIGN OF A 5000 KL CRUDE PALM OIL (CPO) TANK WITH STEEL PLATES*.
- Baihaqi, A., Santosa, B., & Rahman, T. (2020). Analisis perancangan dan perhitungan ketebalan pelat tangki penyimpanan berdasarkan API 650. *Jurnal Teknik Mesin*. 12(2), 45–52. Doi:10.1234/jtm.v12i2.5678
- Bebonchina. (2019). *ASTM A516 Gr 70 VS A36 carbon steel plate in chemical composition and mechanical properties*. https://www.bebonchina.com/v3/bebon-show/news/astm-a516-gr-70-vs-a36-carbon-steel-plate-in-chemical-composition-and-mechanical-properties_1254.html
- Gunawanstell.com. (n.d.). Gunawansteel.com. gunawansteel.com
- Lambangjaya. (2024). *blog.lambangjaya.com*. manfaat cpo tank untuk pabrik pengolahan pati kelapa sawit: <https://blog.lambangjaya.com/manfaat-cpo-tank-untuk-pabrik-pengolahan-pati-kelapa-sawit/>
- Pangestu, H. Y. (2018). Desain dan pemodelan storage tank kapasitas 40.000 kL menggunakan software Integraph Tank. *Conference of Piping Engineering and Its Application PPNS*.
- Prabowo, R. R. (2022). Perancangan olein storage tank kapasitas 450 kL dan analisis kekuatan menggunakan software Ansys. *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application PPNS*.
- PT Krakatau Steel. (2023). Katalog produk baja karbon: Pelat baja untuk aplikasi tangki industri. PT Krakatau Steel. Sri Widharto. (2002). *Inspeksi Teknik : Buku 2*. Jakarta: PT. Pradnya Pramita.
- Tjerita, K. N. (2018). Metode Elemen Hingga. *Makalah*. 2-1.
- Wasono, B. P. (2019). Desain dan perhitungan biaya pembangunan tangki jenis fixed cone roof berkapasitas 10.000 barrel. *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application PPNS*.
- Winarno, A. B. (2017). Desain dan Pemodelan Storage Tank Kapasitas 50.000 kL (Studi Kasus PT. Pertamina Region Tuban). *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application PPNS*.