

Analisis Kekuatan Pondasi Tangki *Fame* Biodiesel pada Proyek PT.X di Gresik

Irawan Agustiar¹, Ikhtisholiah², Subali³

^{1 2 3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gresik

Email: ¹irawan.civil@gmail.com, ²iis.lia89@gmail.com, ³subali.kasturi@gmail.com

Abstract

In the current era of globalization, many countries are competing to open themselves as wide as possible, so that investors can be interested in investing. It is an extraordinary gift in this country, where oil palm plants thrive on the islands of Sumatra, Kalimantan, Sulawesi to Papua, which can be a renewable energy power today and in the future. Where energy from fossil fuels will one day run out, while biodiesel can still exist by cultivating oil palm plants continuously. This is truly an extraordinary breakthrough for all nations in the world, because this energy can be renewed. Ease of bureaucracy is created so that investors continue to develop and build factories that process derivatives from vegetable oil, into fuel oil known as fame (fatty acid methyl ester) biodiesel. The increasing demand for fame in the national and international markets has prompted the company to establish processing plants and tanks as a place to store fame liquid. The Fame Biodiesel Tank is a temporary storage place for liquid oil or bulk oil for companies before being distributed to gas stations or to end users. The importance of this storage tank is to store daily products so that the tank capacity is made quite large 5000 kL, this requires an analysis of the strength of the foundation so that the tank is safe when in use. In the discussion of the design, the calculated loads are dead load 5,957.57 kg/m², live load 22,555.22 kg/m², wind load 240,249.24 kg/m, earthquake overturning moment 8,207,090 kg.m, and combined loads. This data was then analyzed using the standard SNI-1726-2012 and API 650 (American Petroleum Institute) followed by analysis using the Staad Pro Advanced software, the design strength of the pile bearing capacity was 95 ton/point, using a concrete plate thickness of 60 cm thick, with iron BJTD reinforcement with a diameter of 16 mm with an axle spacing of 150 mm. Application of standards SNI-1726-2012 and API 650 (American Petroleum Institute) and calculations using Staad Pro Advanced software, so that calculations are faster and more accurate so that the construction of tank buildings built on foundations using pile foundations is really strong and can withstand load of the oil liquid to the maximum according to its capacity. It was concluded in this study that with a tank diameter of 19.26 meters and a height of 22.5 meters, the maximum moment $M_x = 2.998$ MT.m, $M_y = 189.171$ MT.m, pile bearing capacity 95 ton/point, 85 points @ 22 meters. In the process of changing the liquid product in the tank from fame biodiesel liquid (density 0.88) to crude palm kernel oil (density 0.9156), or with refined bleached deodorized palm kernel oil (density 0.9160), the condition the tank is still safe and the fluid can be replaced.

Keywords: analysis, biodiesel, foundation, pile, staad pro, spun, tank.

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi saat ini, banyak negara berlomba-lomba membuka diri seluas-luasnya agar para *investor* tertarik berinvestasi. Kemudahan birokrasi diciptakan dalam mengurus perijinan usaha sehingga hal ini dapat membuat *investor* lebih tertarik untuk berinvestasi, demikian juga adanya kepastian hukum dan jaminan keamanan dari pemerintah. Iklim investasi yang baik akan menciptakan lonjakan investasi, baik dari *investor* asing dan lokal maupun pemerintah sendiri yang bersifat *joint venture*. Investasi ini berupa proyek kawasan industri baru, pembuatan jalan tol baru, jalur kereta api cepat, bandar udara internasional, pelabuhan laut internasional, dan lainnya. Banyaknya investasi dan proyek tersebut sudah pasti akan mendatangkan pergerakan ekonomi dan meningkatkan daya beli di masyarakat. Jika daya beli masyarakat tinggi maka *investor* akan tertarik untuk membuat pabrik atau perusahaan yang dibutuhkan oleh masyarakat seperti perusahaan *retail*, pabrik makanan kemasan, pabrik barang mewah, pabrik elektronik, pabrik mobil, serta pabrik pengolahan bahan bakar minyak untuk kendaraan.

Perusahaan PT. X, berdiri bertepatan dengan pembukaan Olimpiade XXIX di Beijing pada tahun 2008, merupakan perusahaan yang telah menginvestasikan dana triliunan rupiah ke Indonesia untuk pembangunan pabrik pengolahan minyak sawit CPO (*crude palm oil*) dan turunannya. Turunan tersebut diubah menjadi minyak *edible* maupun *non edible*. PT. X juga sedang giat dalam implementasi menjadi *bioenergy plant* dan terus mengembangkan pabrik yang mengolah turunan dari minyak nabati menjadi bahan bakar minyak, yang dikenal dengan *fame (fatty acid metil ester)* biodiesel. Suatu anugerah yang luar biasa di negeri ini, dimana tanaman sawit tumbuh dengan subur di pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi hingga Papua. Hal ini dapat menjadi kekuatan energi terbarukan di masa kini dan yang akan datang. Energi bahan bakar *renewable* bisa terus ada dengan membudidayakan tanaman sawit secara terus menerus, di satu sisi energi bahan bakar dari fosil suatu saat akan habis.

Dengan peningkatan jumlah penduduk dan meningkatnya kemakmuran (*prosperity increase*) dari masyarakat menengah ke atas, maka banyak kebutuhan energi juga meningkat seperti halnya gaya hidup dengan membeli kendaraan. Kebutuhan bahan bakar kendaraan otomatis juga meningkat. Hal ini perlu dibarengi dengan pembangunan pabrik pengolahan biodiesel dan tangki untuk menimbun bahan bakar minyak dengan volume yang cukup besar. Perencanaan tangki timbun khususnya pondasi tangki *fame* biodiesel ini akan penulis kupas dalam penelitian ini. Tangki *fame* biodiesel merupakan tempat penyimpanan minyak cair atau minyak curah (*bulk oil*) bagi perusahaan sebelum didistribusikan ke SPBU dan *end user*.

Tangki timbun merupakan tempat untuk menyimpan atau menumpuk produk yang digunakan oleh perusahaan. Saat ini cukup banyak perusahaan yang membangun tangki timbun di masing-masing kilang/pabrik. Fungsi tangki timbun pada PT. X ialah untuk mengumpulkan produk minyak secara harian dari pabrik pengolahan sebelum disalurkan ke *pump house* dan bangunan *filling*. Setelah itu didistribusikan dengan truk tangki ke SPBU (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum) dan juga diekspor dengan kapal *tanker* menuju negara konsumen biodiesel. Begitu pentingnya tangki timbun ini untuk menyimpan produk sehingga dengan kapasitas tangki yang cukup besar dan bervariasi sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Baik tangki kapasitas kecil maupun besar harus dipastikan aman, sehingga perlu dihitung kekuatan struktur tangki dan pondasinya. Pondasi menjadi sangat penting dalam suatu konstruksi, jika pondasi tidak kuat maka konstruksi yang dibangun di atasnya menjadi tidak aman dan dapat menimbulkan kerugian materi yang cukup besar. Hal ini harus dihindari karena dapat menyebabkan efek yang tidak baik bagi perusahaan.

Penelitian ini menggunakan standar SNI-1726-2012 dan API 650 (*American Standart Institute*) serta perhitungan analisis menggunakan *software Staad Pro Advanced*. *Staad pro advanced* digunakan agar perhitungan lebih cepat dan teliti, sehingga konstruksi bangunan tangki yang dibangun di atas pondasi tiang pancang benar-benar aman dan mampu menahan beban dari cairan minyak secara maksimal sesuai dengan kapasitasnya. Perencanaan pondasi tangki di PT.X menggunakan tangki tegak di atas pondasi dengan diameter: 19,26 meter, tinggi 22,50 meter. Perhitungan kekuatan berdasar beban internal (berupa beban mati dan beban hidup) dan beban eksternal (berupa beban angin dan gempa).

Kapasitas daya dukung tiang pancang

Kapasitas *ultimate* tiang pancang adalah kemampuan tiang dalam mendukung beban bangunan konstruksi di atasnya yang dituliskan dalam persamaan [1].

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

$$Q_u = A_b \cdot F_b + A_s \cdot F_s - W_p$$

$$F_b = q_a = \frac{1}{2} (q_{c1} + q_{c2})$$

$$F_s = q_f$$

dimana:

$$Q_u = \text{tahanan ultimate (kg/cm}^2\text{)}$$

$$Q_b = \text{tahanan ujung (kg/cm}^2\text{)}$$

$$A_b = \text{luas ujung bawah tiang pancang (cm}^2\text{)}$$

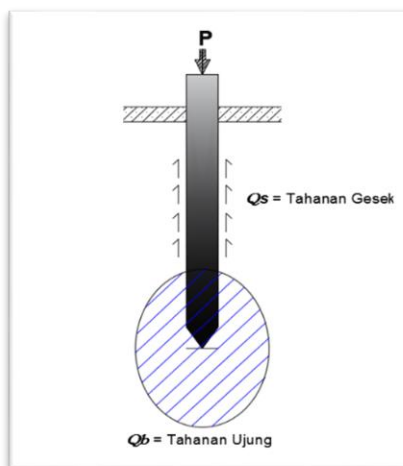
$$A_s = \text{luas selimut tiang (cm}^2\text{)}$$

$$F_b = \text{tahanan ujung satuan tiang (kg/cm}^2\text{)}$$

$$F_s = \text{tahanan gesek satuan tiang (kg/cm}^2\text{)}$$

$$q_f = \text{tahanan gesek sisi konus (kg/cm}^2\text{)}$$

W_p = berat tiang (kg)

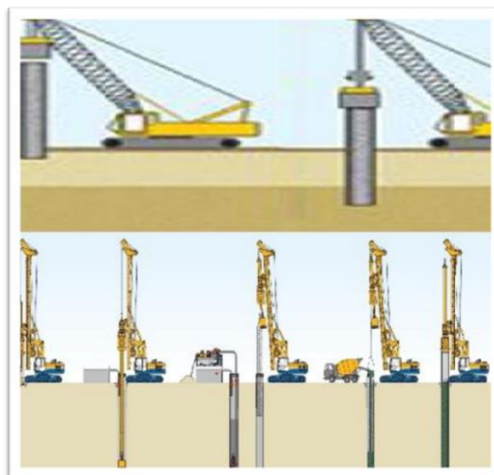


Gambar 1. Tahanan ujung dan tahanan gesek pada sisi tiang pancang

Dalam beberapa tahun terakhir, manusia makin menyadari bahwa penggunaan tiang pancang dapat mengurangi penurunan pondasi tanpa mengorbankan keselamatan dan kinerja pondasi. Pondasi seperti itu menggunakan rakit dan tiang pancang, dan selanjutnya disebut sebagai rakit susun atau rakit bertumpuk [2].

Pondasi dangkal umumnya lebih ekonomis daripada pondasi dalam. Akan tetapi kita harus menyelidiki dahulu apakah dimungkinkan untuk memakai pondasi dangkal. Jika tanah di bawah pondasi relatif lemah dan daya dukungnya rendah, maka pondasi dangkal tidak dapat dipakai. Jika pondasi dangkal tidak dapat dipakai, maka kita menggunakan pondasi dalam. Salah satu pondasi dalam ialah tiang pancang. Tiang pancang dibuat berdampingan (berkelompok) agar dapat memikul gaya tarik atau beban lateral yang bekerja pada struktur atas. Selain itu, tiang pancang berkelompok dapat memainkan peran aktif dalam mengompresi tanah [3].

Tiang pancang dapat terbuat dari kayu, bambu, maupun beton. Tiang pancang dari beton merupakan bahan tiang pancang yang paling banyak digunakan di dunia. Tiang pancang beton tersebut dibuat dengan berbagai teknik. Secara umum terdapat dua teknik, yaitu: a) *driven pile* disiapkan di suatu tempat kemudian diangkut ke area pengolahan dan dipalu ke tanah, dan b) *driven pile* ditumpuk di area pengolahan kemudian dipalu ke tanah.

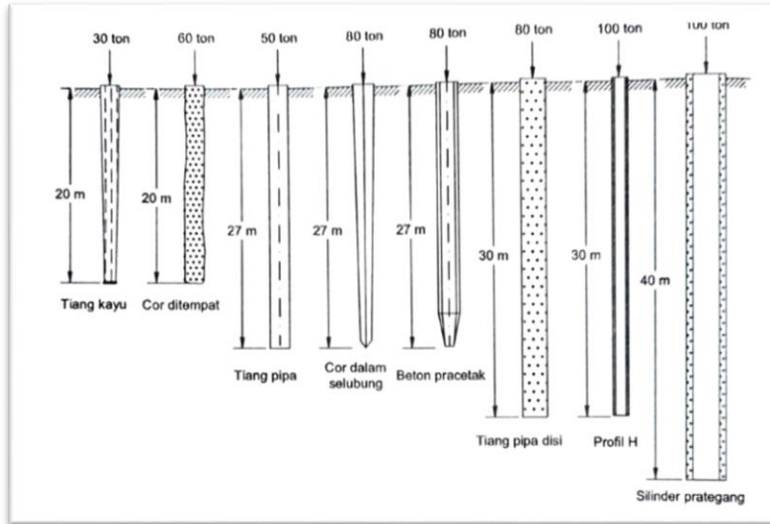


Gambar 2. Tiang pancang beton, [3]

Sistem pondasi

Pemilihan jenis pondasi tergantung dari beban yang bekerja, kondisi tanah pondasi, dan biaya pembuatan pondasi. Ketiga faktor ini dibandingkan terhadap biaya struktur di atasnya. Pemilihan pondasi dalam disesuaikan dengan besarnya beban, kondisi lokasi/lingkungan, dan lapisan tanah.

Klasifikasi tiang ,berdasarkan metode pelaksanaan, umumnya dibagi menjadi 3 jenis yaitu tiang pancang, tiang bor, dan kaisan. Tiang pancang (*driven pile*) yaitu tiang yang dipasang dengan cara membuat bahan berbentuk bulat atau bujur sangkar memanjang yang dicetak lebih dahulu dan kemudian dipancang atau ditekan ke dalam tanah. Tiang bor (*drilled shaft*) yaitu tiang yang dipasang dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, sampai kedalaman tertentu, kemudian tulangan baja dimasukkan ke dalam lubang bor dan kemudian diisi/dicor dengan beton. Kaisan (*caisson*) yaitu tiang berbentuk kotak atau silinder yang telah dicetak terlebih dahulu, kemudian dimasukkan ke dalam tanah pada kedalaman tertentu, dan kemudian diisi beton.[1]



Gambar 3. Panjang dan beban maksimum dari berbagai macam tipe tiang

Pondasi tiang pancang

Jika lapisan tanah padat dicapai pada elevasi yang dalam, maka pondasi tiang pancang dapat dipertimbangkan untuk digunakan. Pondasi jenis ini juga dapat digunakan untuk menopang bangunan dengan cara menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan bertingkat tinggi, yang dipengaruhi oleh gaya balik angin dan beban seismik [1]. Pondasi tiang pancang pada penelitian ini terbuat dari beton bertulang yang dicetak dan dicor di pabrik dengan bentuk bulat.



Gambar 4. Aktivitas pemancangan tiang pancang pondasi tangki fame

Faktor keamanan tiang pancang

Untuk memprediksi penurunan yang berlebihan pada tiang, maka daya dukung *ultimate* tiang dibagi dengan faktor keamanan (*Tomlinson, 1977*), yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_a = Q_u / SF$$

dimana:

$$Q_a = \text{daya dukung ijin tiang (kg/cm}^2\text{)}$$

$$Q_u = \text{daya dukung ultimate tiang (kg/cm}^2\text{)}$$

$$SF = \text{safety factor}$$

Jumlah tiang dalam satu kelompok

Gabungan daya dukung ujung dan gesekan tiang pancang (*combined end-bearing dan friction pile*) merupakan suatu kondisi dimana daya dukung dihasilkan dari gabungan tahanan *end tip* di ujung tiang dan daya lekat adhesif pada permukaan selubung tiang.[4]. Dalam menahan beban konstruksi gedung, pada umumnya tiang pancang bekerja sebagai kelompok tiang [8]. Rumus menentukan banyaknya tiang pancang dalam kelompok (*pile group*) adalah

$$n = \Sigma v / Q_a$$

dimana:

n = banyaknya tiang pancang dalam kelompok

Q_a = daya dukung ijin satu tiang (kg)

Σv = jumlah total beban normal (kg)

Jarak pondasi tiang dalam satu kelompok

Agar efektifitas kelompok tiang dapat tercapai serta tidak menimbulkan penurunan berlebihan pada kelompok tiang, Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L mensyaratkan jarak minimum antar tiang sebesar.

$$s = 2,5.d$$

dimana:

s = jarak minimum sumbu tiang (m)

d = diameter atau lebar tiang (m)

Beban aksial pada *pile cap*

Beban aksial pada *pile cap* adalah jumlah total dari beban vertikal yang diterima oleh *pile cap* dan konstruksi di atasnya yang dinotasikan dengan Σv .

Perhitungan kontrol beban aksial

Perhitungan dilakukan untuk memastikan agar syarat : $P_u \leq Q_a$, terpenuhi yang dituliskan dengan persamaan:

$$P_u = (\Sigma V / n) \pm (M_y.x / n_x \Sigma x^2) \pm (M_x.y / n_y \Sigma y^2)$$

dimana:

P_u = gaya aksial maksimum yang dapat diterima oleh kelompok tiang (kN)

ΣV = jumlah total beban vertikal (kN)

M_y = jumlah momen terhadap sumbu y (kN.m)

M_x = jumlah momen terhadap sumbu x (kN.m)

n = jumlah tiang dalam kelompok

n_y = jumlah tiang arah sumbu y

n_x = jumlah tiang arah sumbu x

x, y = berturut-turut, jarak searah sumbu x dan y dari pusat berat kelompok tiang ketiang nomor $-i$

Σx^2 = jumlah kuadrat dari jarak tiap-tiap tiang ke pusat kelompok tiang arah sumbu x (m^2)

Σy^2 = jumlah kuadrat dari jarak tiap-tiap tiang ke pusat kelompok tiang arah sumbu y (m^2)

Gaya lateral adalah gaya yang bekerja pada *pile cap* dengan arah horisontal. Berdasarkan analisa gaya lateral, tiang pancang dibedakan menurut model ikatannya pada *pile cap*.

$$h_{umaks} = h_{ux}^2 + h_{uy}^2$$

$$h_{ux} = h_x / n$$

$$h_{uy} = h_y / n$$

dimana:

h_{umaks} = gaya lateral maksimum (kN)

h_{ux} = gaya lateral arah sumbu x pada tiang (kN)

h_{uy} = gaya lateral arah sumbu y pada tiang (kN)

Data tanah

Melalui beberapa rangkaian kegiatan penyelidikan tanah, didapatkan stratifikasi dan nilai perlawanan lapisan tanah pada lokasi proyek.

Tabel 1 Stratifikasi dan perlawanan tanah

Lapisan	Kedalaman (m)	Jenis tanah	q _c (kg/cm ²)	N-SPT (bpf)	Kepadatan
1	0,0-5,0	<i>limestone</i>		11	renggang-cukup padat
2	5,0-8,0	lempung	10	4	lembek
3	8,0-12,0	lempung	30	9	kaku
4	12,0-16,0	lempung	45	12	kaku
5	16,0-30,0	lempung	60	16	amat kaku

Beton bertulang

Beton bertulang adalah beton yang luas dan jumlah batang bajanya tidak kurang dari nilai minimum (dengan atau tanpa prategang) yang direncanakan. Hal ini berdasarkan asumsi bahwa dua material bekerja sama untuk menahan gaya kerja. Beton memiliki kemampuan yang tinggi dalam menahan beban tekan, tetapi lemah dalam menahan gaya tarik. Jika tegangan tarik yang diakibatkan oleh beban luar melebihi kuat tarik beton, maka beton tersebut mengalami retak. Besi beton atau baja tulangan (*reinforcing bar* disingkat *rebar*) adalah batang baja yang berbentuk menyerupai jala baja yang digunakan sebagai alat penekan pada beton bertulang dan struktur batu bertulang untuk memperkuat dan membantu beton di bawah tekanan. Beton menjadi kuat terhadap tekanan, tetapi lemah terhadap tarikan. Besi beton secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik struktur beton. Besi beton bekerja saling melengkapi dengan beton karena beton kuat terhadap tekanan namun lemah terhadap tarikan dan besi beton sangat kuat terhadap tarikan. Kombinasi keduanya kemudian menghasilkan struktur beton bertulang (*reinforcement concrete*). Jenis besi beton yang paling sering digunakan adalah baja karbon berlapis *stainless steel*, serat kaca, serat karbon, dan serat basalt.

Secara umum, terdapat dua jenis besi beton yang diwakili dengan kode BjTD dan BjTP. Arti kode besi beton tersebut menandakan perbedaan spesifikasi dan fungsinya. BjTD (Baja Tulang *Deform*) adalah jenis besi beton bertekstur kasar. Sedangkan BjTP (Baja Tulang Polos) adalah jenis besi beton bertekstur polos.

Karakteristik fisik besi beton antara lain a) ukuran nominal merupakan ukuran sesuai yang ditetapkan, b) toleransi merupakan besarnya penyimpangan yang diizinkan dari ukuran nominal, c) diameter dalam merupakan ukuran diameter tanpa sirip pada baja tulangan beton sirip, d) sirip melintang merupakan setiap sirip yang terdapat pada permukaan batang baja tulangan beton yang melintang terhadap sudut batang baja tulangan beton.

Tipe beban

Beban adalah gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada dalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi [7]. Struktur bangunan dikatakan aman dan stabil apabila mampu menahan beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban gempa yang bekerja pada bangunan tersebut. Beban-beban yang bekerja pada struktur dihitung menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. Struktur bangunan harus dirancang dengan menggunakan kombinasi pembebanan untuk metode *ultimate* atau kombinasi tegangan ijin. Suatu perencanaan pondasi dan struktur baja harus memenuhi standar pembebanan sebagai berikut:

- 1,4D
- 1,2D + 1,6L + 0,5L(L atau H)
- 1,2D + 1,6(L atau H) + (γ_i L₁ atau 0,8W)
- 1,2D+1,3W + Y_eL + 0,5(L atau H) ρQ_e
- 1,2D ± 1,0E + γL
- 0,9D ± (1.3W atau 1.0E)

dimana:

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

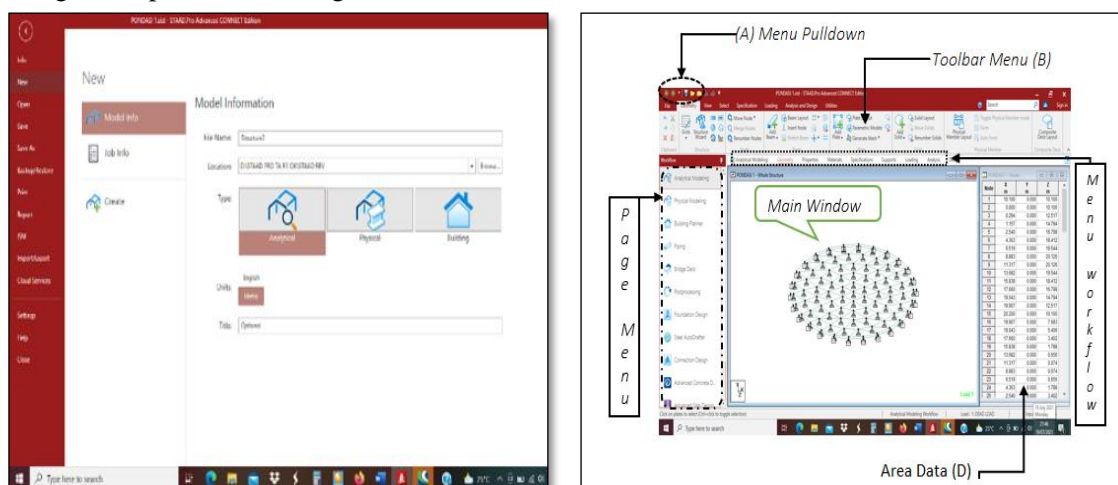
L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk beban kejut.

H = beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air hujan.

W = beban angin.

E = beban gempa.

Dalam penelitian ini data pembebanan yang digunakan adalah beban kombinasi dari beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Untuk beban gempa dan angin akan kita gunakan beban yang paling besar sebagai beban desain. Pengolahan data beban menggunakan *software* *Staad Pro Advanced* [9] dengan tampilan awal sebagai berikut:



Gambar 5. Gambar tampilan awal *Staad Pro Advanced* dan *Graphic User Interface* dari *Staad Pro Advanced*

2. Metode

Data primer yang dipakai dalam penelitian ini adalah: (a) dimensi tangki, (b) dimensi pondasi tangki plat beton bertulang, (c) dimensi/*design* tiang pancang (*spun pile*), (d) bentuk dan massa konstruksi tangki.

Data sekunder yang dipakai dalam penelitian ini adalah: (a) *as build drawing* tangki yang diperoleh dari PT.X, (b) data mengenai kondisi peta lahan penelitian dari google, (c) SNI 1726:2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, (d) API 650 by *American Petroleum Institute: Technical Standards and Commentaries*.

Teknik analisis data dalam penelitian ini adalah memasukkan beban gabungan dalam aplikasi *Staad Pro Advanced*. Beban pada struktur tersebut meliputi beban mati (D), beban hidup (L), beban angin (W) dan beban seismik (E). Beban dinamik seismik menggunakan program analisis spektrum respon (*response spectrum analysis*) berdasarkan SNI 1726: 2012 [6].

Beban seismik diolah dari koordinat tangki menggunakan peta zona gempa Indonesia 2010 (Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman). Data yang diperlukan untuk menyiapkan spektrum respons adalah parameter percepatan batuan dasar (S_s dan S_1), parameter kategori lokasi, faktor amplifikasi dan parameter percepatan spektral desain. Kurva spektrum respon akan menampilkan deviasi relatif maksimum (S_d), kecepatan relatif maksimum (S_v) dan percepatan total maksimum (S_a) [10]. Data ini digunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang. Untuk data *overtuning moment* pondasi tangki, menggunakan referensi API 650 (*Ref.E.3.1 STD 650 American Petroleum Institute*) [5]. Selanjutnya data *overtuning moment* digunakan untuk data kombinasi yang diinput dalam *Staad Pro Advanced* dan menghasilkan momen X maksimum (M_x) dan momen Y maksimum (M_y). M_x digunakan untuk perhitungan tulangan lentur murni.

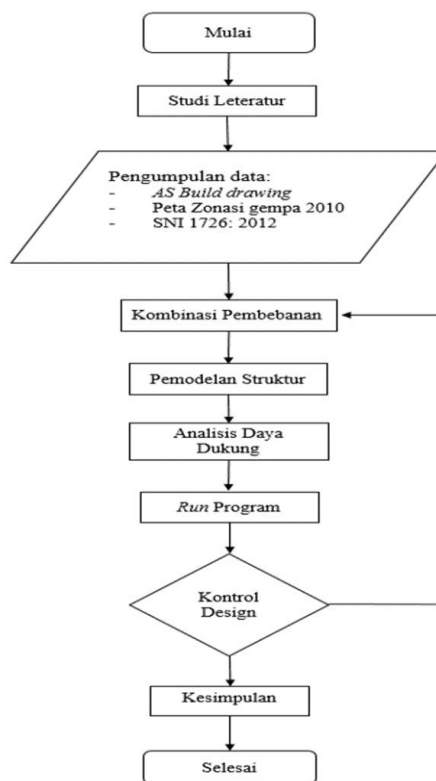
Penelitian ini berlokasi di Kawasan Industri PT. X. di Desa Indro, Kecamatan Kebomas, Kabupaten Gresik, Jawa Timur.



Gambar 6. Lokasi penelitian

Tahapan dalam penelitian ini, mulai perencanaan, pelaksanaan, hingga pembuatan laporan, dilaksanakan selama 5 bulan, mulai pada bulan Januari 2021 hingga bulan Mei 2021.

Peneliti membuat diagram alir tahapan perencanaan agar penelitian ini terarah dan dapat menghasilkan kesimpulan yang tepat.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa daya dukung tiang pancang

Analisis daya dukung tiang pancang pada tangki kapasitas 5.000 kL dengan desain daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan 85 titik tiang *spun pile* dia. 400 mm x 22 meter.

Diameter tangki (OD) = 19,26 m

Tinggi tangki (h) = 22,5 m

Dari perhitungan SNI gempa 03-1726-2012 [6], didapat nilai: $F_x = 1.635 \text{ ton}$; $F_y = 491 \text{ ton}$

$$M_x \cdot Y_i = F_x \cdot \frac{h}{2} = 1.635 \text{ ton} \cdot \frac{22,5 \text{ m}}{2} = 1.635 \text{ ton} \cdot 11,25 \text{ m} = 18.394 \text{ ton.m}$$

$$M_y \cdot X_i = F_y \cdot \frac{h}{2} = 491 \text{ ton} \cdot \frac{22,5 \text{ m}}{2} = 491 \text{ ton} \cdot 11,25 \text{ m} = 5.518 \text{ ton.m}$$

Tabel 2. Data koordinat titik tiang pancang

Tiang pancang		X	Y	X ²	Y ²
1	k1	0,000	0,000	0,00	0,00
2	k2	0,000	2,000	0,00	4,00
3	k3	1,732	1,000	3,00	1,00
4	k4	1,732	1,000	3,00	1,00
5	k5	0,000	-2,000	0,00	4,00
6	k6	-1,732	-1,000	3,00	1,00
7	k7	-1,732	1,000	3,00	1,00
8	k8	0,000	4,000	0,00	16,00
9	k9	2,000	3,464	4,00	12,00
10	k10	3,464	2,000	12,00	4,00
11	k11	4,000	0,000	16,00	0,00
12	k12	-3,464	-2,000	12,00	4,00
13	k13	2,000	-3,464	4,00	12,00
14	k14	0,000	-4,000	0,00	16,00
15	k15	-2,000	-3,464	4,00	12,00
16	k16	-3,464	-2,000	12,00	4,00
17	k17	-4,000	0,000	16,00	0,00
18	k18	-3,464	2,000	12,00	4,00
19	k19	-2,000	3,464	4,00	12,00
20	k20	0,000	6,000	0,00	36,00
21	k21	2,052	5,638	4,21	31,79
22	k22	3,856	4,596	14,87	21,12
23	k23	5,196	3,000	27,00	9,00
24	k24	5,908	1,041	34,90	1,08
25	k25	5,908	-1,041	34,90	1,08
26	k26	5,196	-3,000	27,00	9,00
27	k27	3,856	-4,596	14,87	21,12
28	k28	2,052	-5,638	4,21	31,79
29	k29	0,000	-6,000	0,00	36,00
30	k30	-2,052	-5,638	4,21	31,79
31	k31	-3,856	-4,596	14,87	21,12
32	k32	-5,196	-3,000	27,00	9,00
33	k33	-5,908	-1,041	34,90	1,08
34	k34	-5,908	1,041	34,90	1,08
35	k35	-5,196	3,000	27,00	9,00
36	k36	-3,856	4,596	14,87	21,12
37	k37	-2,052	5,638	4,21	31,79
38	k38	0,000	8,000	0,00	64,00
39	k39	2,253	7,675	5,08	58,91
40	k40	4,325	6,730	18,71	45,29
41	k41	6,046	5,239	36,55	27,45
42	k42	7,277	3,323	52,95	11,04
43	k43	7,918	1,138	62,69	1,30
44	k44	7,918	-1,138	62,69	1,30
45	k45	7,277	-3,323	52,95	11,04
46	k46	6,046	-5,238	36,55	27,44
47	k47	4,325	-6,730	18,71	45,29
48	k48	2,253	-7,675	5,08	58,91
49	k49	0,000	-8,000	0,00	64,00
50	k50	-2,253	-7,675	5,08	58,91
51	k51	-4,325	-6,730	18,71	45,29
52	k52	-6,046	-5,238	36,55	27,44
53	k53	-7,277	-3,323	52,95	11,04
54	k54	-7,918	-1,138	62,69	1,30
55	k55	-7,918	1,138	62,69	1,30
56	k56	-7,277	3,323	52,95	11,04

57	k57	-6,046	5,238	36,55	27,44
58	k58	-4,325	6,730	18,71	45,29
59	k59	-2,253	7,675	5,08	58,91
60	k60	0,000	9,630	0,00	92,74
61	k61	2,304	9,350	5,31	87,42
62	k62	4,475	8,526	20,03	72,69
63	k63	6,385	7,208	40,77	51,96
64	k64	7,925	5,470	62,81	29,92
65	k65	9,004	3,414	81,07	11,66
66	k66	9,560	1,160	91,39	1,35
67	k67	9,560	-1,160	91,39	1,35
68	k68	9,004	-3,414	81,07	11,66
69	k69	7,925	-5,470	62,81	29,92
70	k70	6,385	-7,208	40,77	51,96
71	k71	4,475	-8,526	20,03	72,69
72	k72	2,304	-9,350	5,31	87,42
73	k73	0,000	-9,630	0,00	92,74
74	k74	-2,304	-9,350	5,31	87,42
75	k75	-4,475	-8,526	20,03	72,69
76	k76	-6,385	-7,208	40,77	51,96
77	k77	-7,925	-5,470	62,81	29,92
78	k78	-9,004	-3,414	81,07	11,66
79	k79	-9,560	-1,160	91,39	1,35
80	k80	-9,560	1,160	91,39	1,35
81	k81	-9,004	3,414	81,07	11,66
82	k82	-7,925	5,470	62,81	29,92
83	k83	-6,385	7,208	40,77	51,96
84	k84	-4,475	8,526	20,03	72,69
85	k85	-2,304	9,350	5,31	87,42
				ΣX ²	ΣY ²
				2.341,36	2.341,32

$$Q = \frac{\sum V}{N} \pm \frac{M_y + X_i}{\sum X^2} \pm \frac{M_x + Y_i}{\sum Y^2}$$

$$Q = \frac{7.178,13}{85} \pm \frac{5.518,15}{2.341,36} \pm \frac{18.393,84}{2.341,32}$$

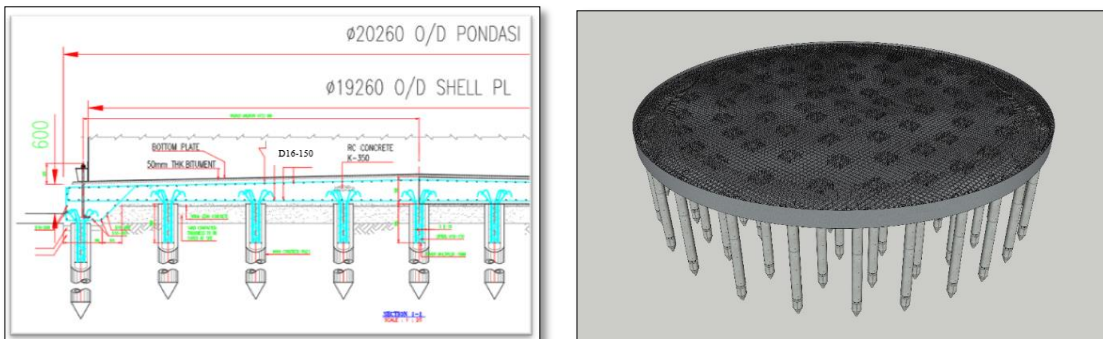
$$Q = 84,45 + 2,36 + 7,86$$

$$Q = 94,66 \text{ ton.} \rightarrow \text{dibulatkan } 95 \text{ ton.}$$

Jadi diperlukan tiang pancang yang memiliki daya dukung tanah = 95 ton/titik.

Rencana typical pondasi

Gambar pondasi tangki yang direncanakan adalah sebagai berikut.



Gambar 8. Rencana pondasi tangki dan view pondasi

Perkiraan tegangan pada dasar pondasi akibat beban yang bekerja

Beban tegangan pada dasar pondasi tangki:

- a. Zona pembebanan keliling pondasi
 - Berat *roof, rafter + shell plate* tangki + orang = 140.270,75 kg
 - Area zona keliling pondasi = 31,05 m²
 - Beban yang bekerja = 4.517,57 kg/m²
- b. Zona merata seluruh pondasi
 - Berat pondasi = 464.414,77 kg
 - Area zona seluruh pondasi = 322,51 m²
 - Beban yang bekerja = 1.440,00 kg/m²
- c. Zona tengah pondasi
 - Isi tangki (asumsi air) + *bottom plate* tangki = 6.573.944,71 kg
 - Area zona tengah pondasi = 291,46 m²
 - Beban yang bekerja = 22.555,22 kg/m²
- d. Zona gempa
 - Momen *overtuning* = 8.207.090 kg.m
 - RM = momen *overtuning* / (D - (1/3 r)) = 511.345,18 kg
 - Area gempa = 202,40 m²
 - q zona gempa = RM/area gempa = 2.526,38 kg/m²
- e. Zona angin
 - Diameter tangki (D) = 19,26 m
 - Tinggi tangki (t) = 22,50 m
 - q angin = 61,60 kg/m²
 - P angin = q angin x D x t x 0,8 = 21.355,49 kg
 - Momen angin = P angin x (tinggi tangki/2) = 240.249,24 kg.m
 - Momen *overtuning* akibat gempa > Momen akibat angin
8.207.090,00 kg.m > 240.249,24 kg.m

Sehingga desain pondasi tangki menggunakan momen *overtuning* gempa.

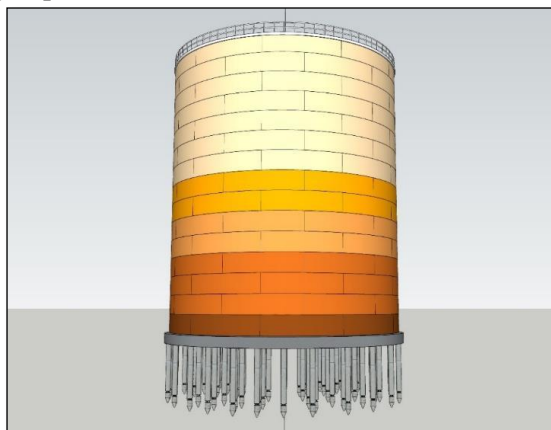
f. Kriteria faktor keamanan (*factors of safety*) desain pondasi.

Kriteria faktor keamanan digunakan sesuai dengan B.2.2 buku STD 650, *American Petroleum Institute*[5] adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Kondisi beban dan faktor keamanan

Kondisi Beban	Faktor Keamanan
a. Untuk kondisi beban operasional normal (<i>normal operating conditions</i>)	2,00 s/d 3,00
b. Untuk kondisi beban tes hidrostatis (<i>during hydrostatic test</i>)	1,50 s/d 2,25
c. Untuk kondisi beban operasional normal + max gempa (<i>normal+ seismic</i>)	1,50 s/d 2,25

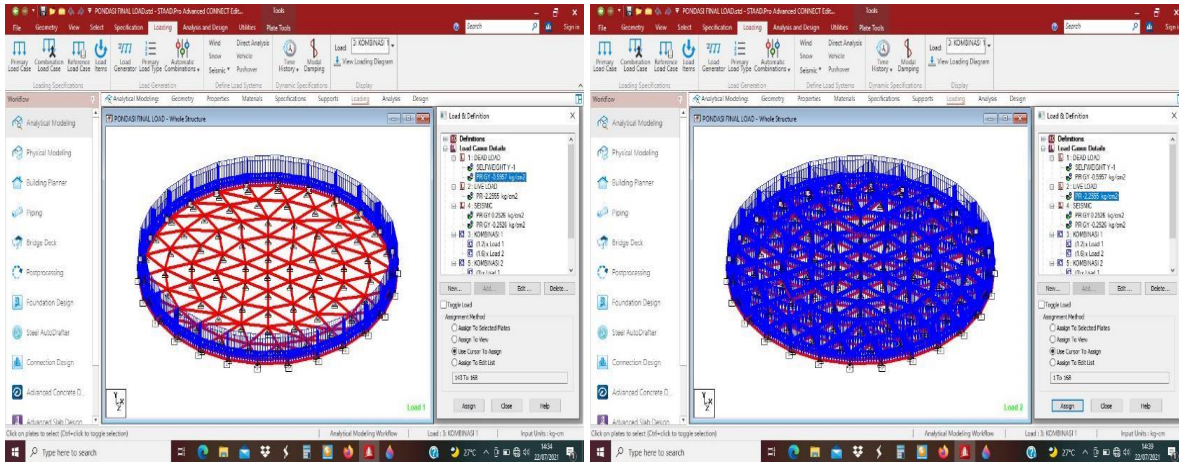
Dalam penelitian ini faktor keamanan yang diambil peneliti adalah untuk kondisi beban operasional normal dan maksimum gempa (*normal+seismic*) = 2.



Gambar 9. View pondasi dan konstruksi tangki

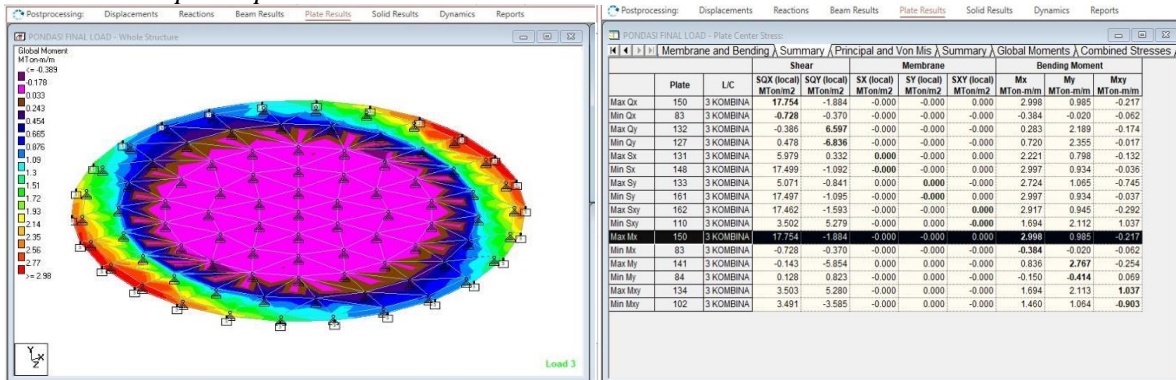
Pemodelan dan pembebanan *staad pro advanced*. [9]

Perhitungan penulangan pondasi menggunakan beban yang diterima *pile cap*. Perhitungan menggunakan software dapat dilihat sebagai berikut:



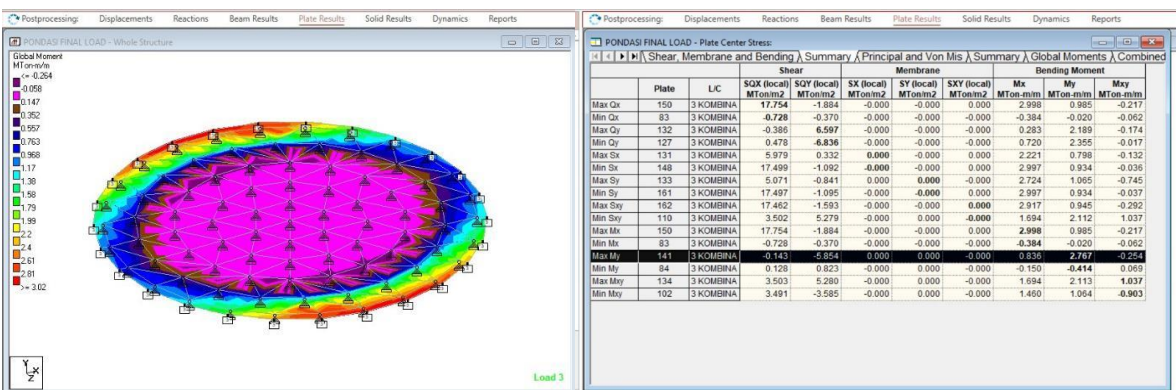
Gambar 10. Pemodelan pembebanan (a. dead load dan b. live load)

Hasil analisa *pile cap*



Gambar 11. Kontur momen arah X dan momen X maksimum (M_x)

Momen X maksimum (M_x) yang didapat dari perhitungan = 2,998 Mton.m



Gambar 12. Kontur momen arah Y dan momen Y maksimum (M_y)

Momen Y maksimum (M_y) yang didapat dari perhitungan = 2,767 Mton.m

Perhitungan penulangan *pile cap*

Perhitungan penulangan *pile cap* sesuai langkah-langkah sebagai berikut:

1. Parameter perencanaan

- a. Mutu baja (F_y) besi ulir U39 = 390 MPa = 3.900 kg/cm²
- b. Mutu beton (f_c') = 350 kg/cm²

- c. Untuk plat beton, $p_{min} = 0,00200$. [11]
- d. Untuk plat beton, $p_{max} = 0,031$
- e. Panjang beton diasumsikan 100 cm
- f. Tebal pondasi 60 cm, diambil rata-rata

2. Perencanaan

$M_u = 2,998 \text{ ton.m} = 299.800 \text{ kg.cm}$ (didapat dari hasil analisa Staad Pro Advanced)

$M_n = M_u / 0,80$

$M_n = 299.800 / 0,80$

$M_n = 374.750 \text{ kg.cm}$

$R_n = M_n / (b \times d^2)$

$R_n = 374.750 / (100 \times 60^2)$

$R_n = 1,0410 \text{ kg/m}^2$

$m = f_y / (0,85 \times f_c')$

$m = 3.900 / (0,85 \times 350)$

$m = 13,11$

$$\rho_{analisa} = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right]$$

$$\rho_{analisa} = \frac{1}{13,11} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,11 \times 1,0410}{3900}} \right]$$

$\rho_{analisa} = 0,0003$

$\rho_{analisa} < \rho_{min}$, jadi kita memakai nilai $\rho_{min} = 0,0020$

$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$

$A_s \text{ perlu} = 0,0020 \times 100 \times 60$

$A_s \text{ perlu} = 12 \text{ cm}^2$

Rencana awal digunakan tulangan *deform* diameter 16 mm

$A_s \text{ tulangan deform diameter 16 mm}$

$= 2,01 \text{ cm}^2$

Jadi untuk memenuhi $A_s \text{ perlu}$ digunakan jumlah tulangan

$= 6 \text{ buah (n)}$

Sehingga $A_s \text{ aktual}$

$= 2,01 \times 6 = 12,07 \text{ cm}^2$

Kontrol $A_s \text{ terpasang} > \text{tulangan dibutuhkan}$

Kontrol $12,07 \text{ cm}^2 > 12 \text{ cm}^2$, sehingga tulangan *deform* diameter 16 mm bisa dipakai.

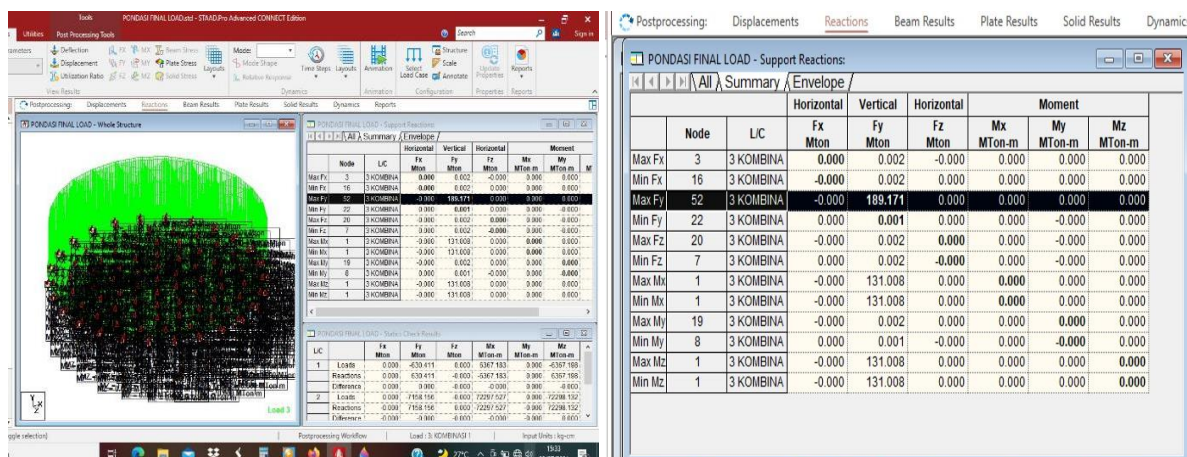
Sedangkan jarak antar tulangan (s) = $b/n = 100 / 6$

$= 16,66 \text{ cm}$

Dari perhitungan diatas, direkomendasikan menggunakan tulangan rangkap diameter D 16 mm dengan jarak 167 mm.

3. Hasil analisa perletakan

Dari hasil analisis pembenanan dengan *software Staad Pro Advances*, diperoleh hasil perletakan untuk analisa tiang pancang (*spun pile*):



Gambar 13. Hasil analisa perletakan (axis) dan vertical reaction (F_y)

Axial Y maksimum (M_y) = 189,171 Mton.m.

Untuk kondisi beban operasional normal dan maksimum gempa (*normal + seismic*), menggunakan *safety factor* = 2 (dari tabel 3).

Maka diperoleh hasil analisis daya dukung tiang (DDT) pancang berdasarkan *Staad Pro Advanced* adalah:

$$DDT = \frac{\text{gaya axial Y maksimum}}{\text{safety factor}}$$

$$DDT = \frac{189,171}{2}$$

DDT = 94,59 ton → dibulatkan 95 ton/titik.

(hasil ini sama dengan analisis daya dukung tiang pancang menggunakan SNI 1726:2012).

Pergantian cairan produk pada tangki

Dalam kegiatan operasional perusahaan, kadang terjadi peralihan fungsi dari tangki, untuk itu perlu di cek ulang dengan cara memastikan densitas cairan yang akan ditukar tidak melebihi densitas cairan desain. Densitas (berat jenis) minyak adalah massa minyak per satuan volume pada suhu tertentu. Berat jenis minyak sangat dipengaruhi oleh kejenuhan komponen asam lemaknya, nilainya akan turun dengan semakin kecilnya berat molekul komponen asam lemaknya.

Pada tangki *fame* biodiesel, berat jenis cairan desain awal = 0,88 diganti dengan produk cairan CPKO (*Crude Palm Kernel Oil*), dengan berat jenis cairan = 0,9156, maka tangki akan aman. Demikian juga apabila cairan dirubah ke produk RBD-PKOL (*Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil*), dengan berat jenis cairan = 0,9160, maka tangki masih aman, dengan faktor keamanan 1,09. Konstruksi tangki aman jika beban desain (1) > beban aktual. (0,9160).

Tabel 4. Berat jenis beberapa jenis cairan olahan minyak sawit

Temperatur (°C)	CPKO	CPKL	CPKS	RBD-PKO	RBD-PKOL	RBD-PKS	PKFAD
21	0,9184	0,9188	0,9188	0,9188	0,9188	0,9188	
22	0,9177	0,9181	0,9181	0,9181	0,9181	0,9181	
23	0,9170	0,9174	0,9174	0,9174	0,9174	0,9174	
24	0,9163	0,9167	0,9167	0,9167	0,9167	0,9167	
25	0,9156	0,9160	0,9160	0,9160	0,9160	0,9160	
26	0,9149	0,9153	0,9153	0,9153	0,9153	0,9153	
27	0,9142	0,9146	0,9146	0,9146	0,9146	0,9146	
28	0,9135	0,9139	0,9139	0,9139	0,9139	0,9139	
29	0,9128	0,9132	0,9132	0,9132	0,9132	0,9132	
30	0,9121	0,9125	0,9125	0,9125	0,9125	0,9125	
31	0,9114	0,9118	0,9118	0,9118	0,9117	0,9117	
32	0,9107	0,9111	0,9111	0,9111	0,9110	0,9110	
33	0,9100	0,9104	0,9104	0,9104	0,9103	0,9103	
34	0,9094	0,9096	0,9096	0,9096	0,9096	0,9096	
35	0,9087	0,9089	0,9089	0,9089	0,9089	0,9089	0,8894
36	0,9080	0,9082	0,9082	0,9082	0,9082	0,9082	0,8886
37	0,9073	0,9075	0,9075	0,9075	0,9075	0,9075	0,8878
38	0,9066	0,9068	0,9068	0,9068	0,9068	0,9068	0,8870
39	0,9059	0,9061	0,9061	0,9061	0,9061	0,9061	0,8863
40	0,9052	0,9054	0,9054	0,9054	0,9054	0,9054	0,8855
41	0,9045	0,9047	0,9047	0,9047	0,9047	0,9047	0,8847
42	0,9039	0,9040	0,9040	0,9040	0,9040	0,9040	0,8840
43	0,9032	0,9033	0,9033	0,9033	0,9033	0,9033	0,8832
44	0,9025	0,9026	0,9026	0,9026	0,9026	0,9026	0,8824
45	0,9018	0,9019	0,9019	0,9019	0,9019	0,9019	0,8816
46	0,9011	0,9012	0,9012	0,9012	0,9012	0,9012	0,8809
47	0,9004	0,9004	0,9004	0,9005	0,9005	0,9005	0,8801
48	0,8997	0,8997	0,8997	0,8998	0,8998	0,8998	0,8793
49	0,8990	0,8990	0,8990	0,8991	0,8991	0,8991	0,8786
50	0,8983	0,8983	0,8983	0,8984	0,8984	0,8984	0,8778

4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini adalah:

1. Kekuatan struktur pondasi tangki *fame* dengan beban *full capacity* 5.000 kL terhadap beban kombinasi berdasarkan SNI 1726:2012 dan API 650 menunjukkan bahwa gambar desain awal konstruksi pondasi tidak aman (jarak tulangan 200 mm *center per center*), faktor *ratio* 0,84. Oleh karena itu dilakukan redesain dengan penyesuaian jarak tulangan menjadi 150 mm *center per center* sehingga konstruksi pondasi menjadi aman untuk dilaksanakan, dimana luas tulangan aktual > luas tulangan desain dengan faktor rasio menjadi 1,17. Analisis momen maksimal dari *Staad Pro Advanced* (M_x) diperoleh sebesar 2,998 Mton.m.
2. Hasil analisis daya dukung pondasi tiang pancang sebesar 95ton per titik dengan jumlah 85 titik menggunakan *spun pile* dia.400 mm x 22 meter menunjukkan bahwa desain tiang pancang mampu mendukung semua beban pondasi, beban struktur dan beban cairan produk 5.000kL. Daya dukung tiang pancang realisasi di *site* diperoleh 147,5 ton per titik, sehingga daya dukung aktual > dari daya dukung desain dengan rasio 1,55.
3. Kondisi tangki masih aman dan dapat dilakukan pergantian produk cairan dari cairan *fame* biodiesel (berat jenis 0,88) ke cairan *crude palm kernel oil* (berat jenis 0,9156) atau ke cairan *refined bleached deodorized palm kernel oil* (berat jenis 0,9160) dengan rasio 1,09.

Referensi

- [1] Hardiyanto HC. (2020). Analisis dan perancangan Pondasi II. Edisi 5, Gajah mada University.
- [2] Poulos, H. G. (2001). Piled raft foundations: design and applications. *Géotechnique*, 51(2), 95–113. <https://doi.org/10.1680/geot.2001.51.2.95>
- [3] Baran Toprak, Ozer Sevim, Ermedin Totic, I. K. (2018). The Functions of Pile Types and Piles Used in Construction. September, 34–36.
- [4] Jaiswal, M. (2017). Design Implementation of Pile Foundation. 58. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/131153/Jaiswal_Manish.
- [5] API 650 by American Petroleum Institute: Technical Standards and commentaries
- [6] Badan Standarisasi Nasional. SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- [7] Badan Standarisasi Nasional. SNI 1727-2013: Beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain.
- [8] Bowles, J. E. (2005). Analisis Dan Desain Pondasi II. Erlangga, Jakarta, 2, 474.
- [9] Budi Satiawan. (2016). STAAD.Pro and STAAD.foundation, Engineering Training For Oil and Gas Project (ETOG), modul internal, Jakarta
- [10] Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman. (2011). Desain Spektra Indonesia. (Internet). (diakses pada 15 Juli 2021). Tersedia pada: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain/_spektra_indonesia_2011/
- [11] Badan Standarisasi Nasional. SNI 2847-2013: *Persyaratan beton stuktural untuk bangunan gedung*.