

EVALUASI SISA UMUR DAN STRUKTUR TANGKI PENIMBUN BERDASARKAN DATA PERCEPATAN TANAH PADA DAERAH RAWAN GEMPA

Fajar Syuhada, Zulfikar Djauhari, Reni Suryanita
 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
 Kampus Bina Widya Km 12,5, Simpang Baru, 28293, Pekanbaru, Indonesia.
 e_mail : fajarsyuhada@gmail.com

Abstrak — Dalam studi kasus ini membahas mengenai tangki penimbun yang digunakan untuk menampung fluida. Seiring dengan berjalannya waktu, tangki penimbun mengalami penurunan daya tahan sehingga perlu dilakukan perawatan untuk kelayakannya. Peninjauan dilakukan berdasarkan ketebalan aktual inspeksi (tahun 2017) dari pelat dinding dan roof (atap) yang kemudian dibandingkan dengan ketebalan inspeksi periode sebelumnya (tahun 2006). Dari peninjauan tersebut didapatkan laju korosi beserta sisa umur operasinya. Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa ketebalan aktual dari keempat pelat dinding dan roof memiliki nilai diatas ketebalan minimum yang dipersyaratkan, sehingga masih layak untuk dioperasikan dengan sisa umur ≥ 19 tahun untuk semua shell dan roof dengan umur tertinggi pada shell #4 yaitu 185 tahun dan terendah pada shell#1 yaitu 19 tahun. Kemudian berdasarkan analisis respon strukturnya, tangki penimbun masih memiliki nilai tegangan yang lebih rendah dari tegangan yang diijinkan, baik pada lokasi aktual yaitu Kabupaten Siak serta lokasi uji yaitu Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat.

Kata kunci : Tangki Penimbun, Ketebalan, Laju Korosi, Penilaian Sisa Umur, Respon Struktur.

Abstract — In this case study discusses the storage tank used to collect fluid. Over time, the storage tank has decreased its durability so needs to be taken for its feasibility. The review is based on the actual thickness in 2017 of the wall plate and roof which is then compared to the thickness in 2006. From this review the corrosion rate and the remaining service life are obtained. From the calculation results, it's found that the actual thickness has a value above the minimum thickness required, so it's still feasible to operate. The highest corrosion rate is on shell#1 (0,1136 mm/year), while the smallest corrosion rate is on shell#4 (0,0100 mm/year). Based on the thickness and corrosion rate, the remaining age ≥ 19 years were obtained for all shell and the roof with the highest age in shell#4 (185 years) and the lowest in shell#1 (19 years). Then based on the structural response analysis, the storage tank still has a stress value lower than the allowable stress, both at the actual location, namely Siak Regency and the test locations, namely Aceh, North Sumatra and West Sumatra.

Keywords: Storage Tank, Thickness, Corrosion Rate, Remaining Life Assessment, Structure Response.

I. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi merupakan salah satu sektor strategis dalam perkembangan ekonomi setiap negara. Dalam industri tersebut banyak peralatan-peralatan yang digunakan sebagai sarana produksinya. Contoh umumnya yaitu tangki penimbun, bejana bertekanan, peralatan putar, dan lain sebagainya. Peralatan-peralatan tersebut tentu memiliki umur layan yang sudah didesain untuk beberapa tahun lamanya. Dalam rentang waktu penggunaannya, tak sedikit peralatan yang harus dilakukan perbaikan berkala sehingga tetap terjaga walaupun umur desainnya masih panjang. Namun, untuk peralatan fasilitas

perminyakan yang sudah beroperasi cukup lama dapat dilakukan evaluasi kembali kelayakannya.

Dalam tesis ini penulis membahas mengenai tangki penimbun. Banyak tangki penimbun yang telah beroperasi melebihi usia desainnya, sehingga perlu dilakukan evaluasi kembali mengenai kelayakannya. Dengan seiring berjalannya waktu, tangki penimbun akan mengalami korosi pada pelatnya akibat fluida maupun lingkungan sekitarnya sehingga dapat menipiskan pelat tersebut dan akan membahayakan jika tidak diperhatikan keamanannya.

Sebagai langkah awal, penulis melakukan pengumpulan data teknis dari tangki penimbun tersebut. Kemudian setelah terkumpul, penulis melakukan evaluasi kelayakan berupa sisa umur tangki penimbun. Sisa umur ini didapat berdasarkan nilai ketebalan aktual yang didapat. Oleh karena itu, selain sisa umurnya struktur tangki penimbun juga harus diperhatikan karena saat beroperasi tangki menerima beberapa beban sehingga dapat mempengaruhi struktur bangunannya tersebut. Evaluasi untuk struktur ini berkaitan dengan adanya beban gempa. Dalam tesis ini penulis mengambil studi kasus pada tangki penimbun yang berada di lokasi Kabupaten Siak, Riau. Pada lokasi ini, nilai kerawanan terhadap gempa cenderung rendah, sehingga tangki penimbun jarang menerima beban gempa. Setiap daerah memiliki tingkat percepatan tanah yang berbeda-beda. Dengan diketahui bahwa lokasi Kabupaten Siak cenderung rawan gempa rendah, maka Penulis melakukan evaluasi tangki penimbun tersebut dengan menerapkannya pada beberapa lokasi rawan gempa di Pulau Sumatera, yang mana evaluasi hanya dilakukan pada komponen *shell*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tangki Penimbun (*Storage Tank*)

Tangki digolongkan sebagai struktur bukan bangunan. Meskipun demikian, tangki tetap harus direncanakan dengan baik terutama untuk menahan gaya gempa yang mungkin terjadi. Tangki penimbun secara umum merupakan wadah yang digunakan untuk menyimpan fluida, baik berupa udara, gas, ataupun minyak. Tangki terdiri dari tipe yang berbeda berdasarkan jenis material konstruksi, tipe penyimpanan dan bahkan lokasi penyimpanan. Setiap jenis tangki tersebut didasarkan pada peraturan dan metodologi perencanaan yang berbeda-beda.

B. Jenis-jenis Tangki Penimbun

Tangki penimbun minyak terdiri dari beberapa jenis berdasarkan letaknya dan bentuk atapnya. Berikut adalah beberapa jenis tangki berdasarkan letaknya, yaitu:

1. *Aboveground Tank*, yaitu tangki penimbun yang terletak di atas permukaan tanah. Tangki penimbun jenis ini bisa berada dalam posisi horizontal (melebar) maupun dalam posisi vertikal (tegak).

2. *Underground Tank*, yaitu tangki penimbun yang terletak di bawah permukaan tanah.

Berikut adalah beberapa jenis tangki berdasarkan bentuk atapnya, yaitu:

1. *Fixed Roof Tank*, yang mana terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *Cone Roof* dan *Dome Roof*.
2. *Floating Roof Tank*, yaitu jenis tangki yang biasanya digunakan untuk menyimpan minyak mentah dan premium.

C. Pelat Dinding (*Shell Plate*)

Ketebalan pelat dinding yang digunakan sebaiknya lebih besar dari ketebalan pelat dinding rencana, termasuk penambahan korosi atau ketebalan berdasarkan test hidrostatis (Yusuf dkk, 2015). Dalam hal kelayakan operasinya, ketebalan pelat dinding yang digunakan tidak boleh kurang dari ketebalan pelat dinding yang dipersyaratkan.

D. Beban Akibat Gempa

Faktor utama yang merusakkan struktur tangki penimbun akibat getaran adalah intensitas dan durasi gempa yang terjadi. Gaya dan tegangan yang terjadi selama gempa pada struktur adalah transien, tegangan dinamik alami, dan tegangan kompleks. Untuk menyederhanakan prosedur desain komponen vertikal, pergerakan gempa biasanya diabaikan dengan asumsi pada arah vertikal struktur memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan pergerakan gempa.

E. Respon Spektrum Desain

Menurut SNI 1726-2012, respon spektra desain ditentukan dengan parameter respon ragam yang disesuaikan dengan klasifikasi situs dimana bangunan tersebut akan dibangun dan ditentukan berdasarkan parameter SS (parameter percepatan batuan dasar periode pendek) dan S1 (parameter percepatan batuan dasar periode 1 detik).

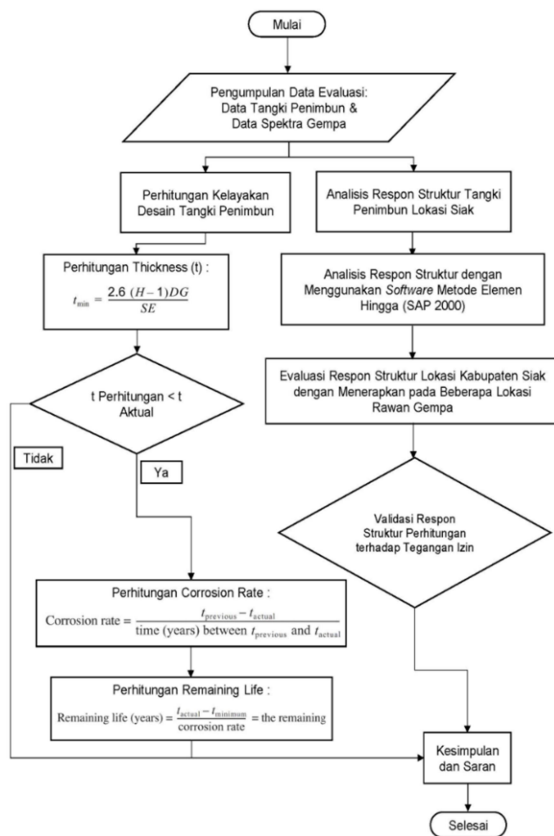
F. Penelitian Terdahulu

Salah satu penelitian yang berhubungan yaitu penelitian milik Fathoni (2011) dengan judul "Studi Perilaku Tangki Minyak Pelat Baja Terhadap Beban Internal dan Beban Seismik". Dalam penelitian tersebut membahas cara mendesain tangki minyak pelat baja sesuai dengan peraturan API 650 10th Edition "*Welded Steel Tank for Oil Storage*" terutama untuk bagian dinding tangki. Kemudian menerapkan beban gempa pada tangki hingga perilaku tangki berupa gaya dalam yang dialami oleh dinding

tangki akibat beban internal dan beban gempa tersebut. Dalam penelitian tersebut dilakukan variasi perbandingan diameter dan tinggi tangki serta perbedaan wilayah gempa, namun pada volume yang dijaga tetap sebesar 150.000 Barrel. Dari variasi tersebut akan didapatkan variasi yang paling efektif dari sudut pandang penelitian serta seberapa besar pengaruh beban gempa pada dinding tangki.

III. METODE PENELITIAN

Metodologi adalah sekumpulan peraturan, kegiatan, dan prosedur yang digunakan untuk menganalisis teoritis mengenai suatu cara atau metode. Penelitian merupakan suatu penyelidikan yang sistematis untuk meningkatkan sejumlah pengetahuan. Pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah pendekatan seperti pada gambar 1 yang dilakukan untuk mendapatkan hasil penelitian yang telah dirumuskan dalam tujuan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Ketebalan (*Thickness*)

Ketebalan suatu tangki penimbun merupakan salah satu faktor pertimbangan untuk kelayakan penggunaannya. Dalam hal ini, salah satu indikasi yang dapat terjadi pada pelat tangki yaitu korosi. Korosi merupakan penyebab utama

deterioration pada steel tank. Jika indikasi korosi ditemukan, maka pengukuran ketebalan merupakan langkah inspeksi yang perlu dilakukan untuk mengetahui laju korosi yang terjadi.

Secara teoritik, merujuk kepada API 653 tahun 2014 point 4.3.3.1 dinyatakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung ketebalan minimum pelat tangki seperti yang terlihat pada Persamaan 2.1. Berikut adalah persamaan tersebut, yaitu:

$$t_{min} = \frac{2.6 (H - 1)DG}{SE} \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan,

- t_{min} = ketebalan minimum yang dipersyaratkan
- H = ketinggian tangki penimbun dari dasar tangki
- D = diameter tangki penimbun
- G = berat jenis tertinggi dari fluida tangki
- S = tegangan maksimum yang diijinkan
- E = efisiensi sambungan las (radiografi)

B. Laju Korosi (*Corrosion Rate*)

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/tahun (standar internasional) atau mill/year (standar British). Dalam studi kasus ini, laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari Standar API RP 575 point 6.2 seperti yang terlihat pada Persamaan 2.2, yaitu sebagai berikut:

$$Corrosion\ rate = \frac{t_{previous} - t_{actual}}{time\ (years)\ between\ t_{previous}\ and\ t_{actual}} \dots (2.2)$$

dengan,

- *Corrosion Rate* = laju korosi pelat tangki
- $t_{previous}$ = ketebalan pada pemeriksaan sebelumnya
- t_{actual} = ketebalan pada pemeriksaan saat ini
- *Time between $t_{previous}$ and t_{actual}* = jangka waktu antara pemeriksaan sebelumnya dan saat ini

C. Penilaian Sisa Umur (*Remaining Life Assesstment*)

Remaining life assesstment adalah usaha untuk mengukur serta memprediksi sisa umur suatu peralatan seperti tangki penimbun. Dengan

mengetahui sisa umurnya, maka teknisi dapat merencanakan penggantian atau perbaikan terhadap peralatan tersebut.

Faktor yang dapat mempengaruhi sisa umur dari tangki penimbun yaitu ketebalannya. Ketika tangki tersebut dalam kurun waktu sekian tahun mengalami penurunan ketebalan yang signifikan, maka sisa umur tangki tersebut akan berkurang secara signifikan pula. Penyebab dari menipisnya ketebalan tersebut yaitu terletak pada laju korosinya (*corrosion rate*). Laju korosi yang terlalu cepat juga dapat diakibatkan oleh jenis fluida yang terdapat di dalam tangki penimbun tersebut. Untuk perhitungan sisa umur dari tangki penimbun ini, digunakan persamaan berdasarkan Standard API RP 575 point 6.2 seperti yang terlihat pada Persamaan 2.3. Perhitungan sisa umur ini didapatkan setelah dilakukan analisis terhadap laju korosi. Berikut adalah persamaan untuk menghitung sisa umur tangki penimbun, yaitu:

$$\text{Remaining life (years)} = \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{corrosion rate}} = \text{the remaining} \dots (2.3)$$

dengan,

- *Remaining Life* = sisa umur peralatan (tahun)
- *t actual* = ketebalan pada pemeriksaan saat ini
- *t minimum* = ketebalan minimum yang dipersyaratkan
- *Corrosion Rate* = laju korosi pelat tangki

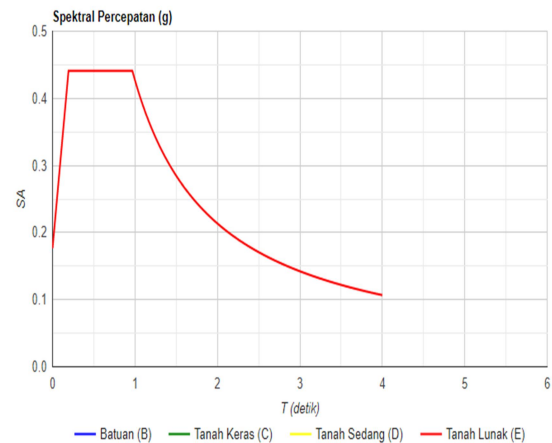
D. Analisis Respon Struktur Tangki Penimbun terhadap Gempa

Analisis dilakukan berdasarkan lokasi aktual dari data tangki penimbun. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan *software* emelen hingga SAP 2000. Dari analisis tersebut akan didapatkan respon struktur berupa tegangan. Tegangan yang dianalisis yaitu tegangan yang timbul pada pelat *shell*. Setelah dilakukan analisis pada tangki penimbun dengan lokasi aktual, yaitu Kabupaten Siak yang mana merupakan lokasi dengan kondisi parameter tanah lunak dan rawan gempa ringan, kemudian penulis melakukan analisis tangki penimbun tersebut dengan menerapkannya pada beberapa lokasi rawan gempa di Pulau Sumatera. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon struktur berupa tegangan pada pelat *shell* ketika tangki penimbun diterapkan pada lokasi dengan tingkat percepatan tanah yang berbeda-beda.

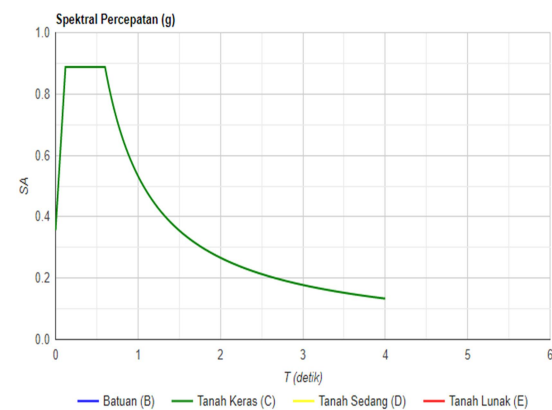
Data percepatan tanah Kabupaten Siak dan beberapa lokasi rawan gempa di Pulau Sumatera diperoleh dari *website* desain spektra Indonesia yaitu <https://puskim.pu.go.id/>. Berikut adalah tabel 1 mengenai koordinat lokasi aktual dan pengujian, beserta gambar grafik percepatan tanah untuk tiap lokasinya, yaitu:

Tabel 1. Data Koordinat Lokasi Aktual dan Lokasi Uji (sumber : <https://puskim.pu.go.id/>)

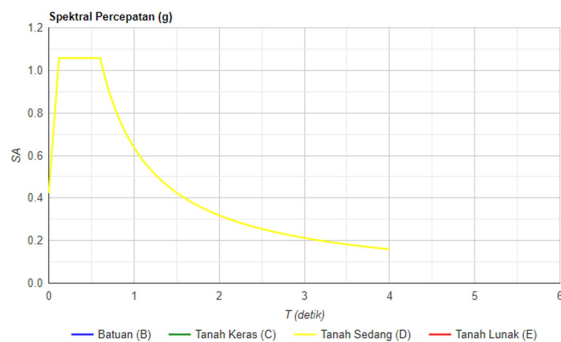
No.	Lokasi	Lintang	Bujur
1	Kabupaten Siak	0.6793155336519089	102.02205637848908
2	Aceh	5.0558731808731805	95.95624497960948
3	Sumatera Utara	2.4675155925155927	98.69784161826495
4	Sumatera Barat	-0.6239820846905539	100.61360626693111



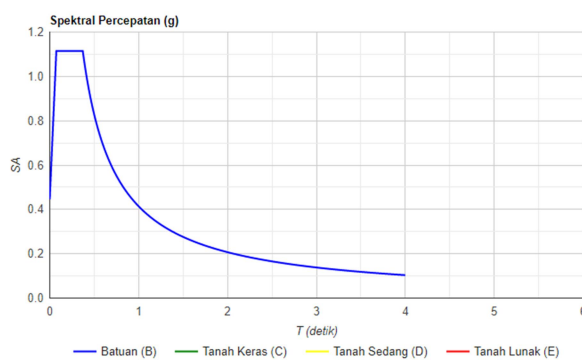
Gambar 2. Grafik Percepatan Tanah Lokasi Kabupaten Siak – Tanah Lunak (SE) (sumber : <https://puskim.pu.go.id/>)



Gambar 3. Grafik Percepatan Tanah Lokasi Aceh – Tanah Keras (SC) (sumber : <https://puskim.pu.go.id/>)



Gambar 4. Grafik Percepatan Tanah Lokasi Sumatera Utara – Tanah Sedang (SD) (sumber : <https://puskim.pu.go.id/>)



Gambar 5. Grafik Percepatan Tanah Lokasi Sumatera Barat – Batuan (SB) (sumber : <https://puskim.pu.go.id/>)

E. Permodelan

Permodelan tangki penimbun dibantu dengan menggunakan *software* elemen hingga SAP 2000. Pada *software* SAP 2000 ini telah disediakan *template* umum untuk tangki bentuk silindris yang mana sama dengan pembahasan penelitian ini. Kemudian dengan memasukkan data tangki berupa diameter dan tinggi dari tangki penimbun, maka model secara umum sudah dapat terbentuk.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Teknis Tangki Penimbun

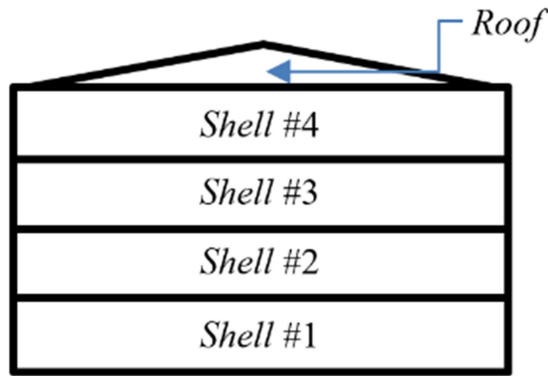
Dalam studi kasus ini, data tangki penimbun yang digunakan adalah tangki penimbun milik BOB PT. Bumi Siak Pusako – Pertamina Hulu seperti yang terlihat pada Gambar 6. Perusahaan ini merupakan perusahaan perminyakan yang berlokasi di Kabupaten Siak, Riau. Pada penelitian ini, pelat dinding tangki dibagi menjadi empat (4) *shell*, yaitu *shell* #1 di tingkat paling bawah, *shell* #2 di atasnya, dan seterusnya, seperti yang terlihat pada gambar 7. Berikut adalah data teknik dari tangki penimbun

yang menjadi pembahasan pada studi kasus ini, yaitu:

- Nomor Tangki : T-2 / ST-1
- Pemilik : BOB PT. Bumi Siak Pusako - Pertamina Hulu
- Lokasi : GS Zamrud, Siak - Riau
- Pabrik Pembuat : PT. Meta Epsi Engineering
- Tahun Pembuatan : 1994
- Tipe : *Fixed Cone Roof*
- Deskripsi : *Crude Oil Shipping Tank*
- *Service* : *Crude Oil*
- Dimensi : 10688 mm (D) x 7315 mm (H)
35,06 ft (D) x 23,99 ft (H)
- Jarak Antar Shell : 6 ft
- Tekanan Desain : Atm & 4" H₂O
- Temperatur Desain : 76,7 °C
- Berat Jenis : 1,02
- Efisiensi Sambungan Las : Spot (E = 0,85)
- Material *Shell* : SS41 / A-36
- Material *Roof* : SS41 / A-36
- Tegangan yang diijinkan pada *Shell* (S) :
 - *Shell* #1 & #2 : 24900 psi / (Sumber: API 653) (1750,64 kg/cm²)
 - *Shell* #3 & #4 : 27400 psi (Sumber: API 653) (1926,41 kg/cm²)
- Ketebalan Aktual Pelat *Shell* :
 - *Shell* #1 : 4,75 mm
 - *Shell* #2 : 4,38 mm
 - *Shell* #3 : 4,44 mm
 - *Shell* #4 : 4,39 mm
- Ketebalan Pemeriksaan Sebelumnya (*Shell*) :
 - *Shell* #1 : 6,00 mm
 - *Shell* #2 : 4,50 mm
 - *Shell* #3 : 4,60 mm
 - *Shell* #4 : 4,50 mm
- Ketebalan Aktual *Roof* : 5,51 mm
- Tahun Pemeriksaan Aktual : 2017
- Tahun Pemeriksaan Sebelumnya : 2006
- Jangka Waktu Pemeriksaan : 11 Tahun



Gambar 6. Tangki Penimbun Milik BOB PT. Bumi Siak Pusako (sumber : dokumentasi PT Biro Klasifikasi Indonesia)



Gambar 7. Pembagian Posisi Shell dan Roof

B. Perhitungan Ketebalan Shell dan Roof

Pada pembahasan tangki penimbun, terdapat perhitungan kelayakan berupa ketebalan yang dipersyaratkan agar tangki layak untuk dioperasikan seperti yang telah diuraikan pada materi penelitian diawal. Berikut adalah perhitungan ketebalan dinding pelat tangki penimbun pada shell #1, shell #2, shell #3, dan shell #4 yaitu :

- Ketebalan Pelat Shell #1 :

$$t_{min} = \frac{2,6 (H - 1)DG}{SE}$$

$$= \frac{2,6 (23,99 - 1) 35,06 * 1,02}{(24900) (0,85)}$$

$$= \frac{2137,59}{21165}$$

$$= 0,100 \text{ in (2,565 mm)}$$
- Ketebalan Pelat Shell #2 :

$$t_{min} = \frac{2,6 (H - 1)DG}{SE}$$

$$= \frac{2,6 (17,99 - 1) 35,06 * 1,02}{(24900) (0,85)}$$

$$= \frac{1579,715}{21165}$$

$$= 0,074 \text{ in (1,895 mm)}$$
- Ketebalan Pelat Shell #3 :

$$t_{min} = \frac{2,6 (H - 1)DG}{SE}$$

$$= \frac{2,6 (11,99 - 1) 35,06 * 1,02}{(27400) (0,85)}$$

$$= \frac{1021,84}{23290}$$

$$= 0,043 \text{ in (1,113 mm)}$$

- Ketebalan Pelat Shell #4 :

$$t_{min} = \frac{2,6 (H - 1)DG}{SE}$$

$$= \frac{2,6 (5,99 - 1) 35,06 * 1,02}{(27400) (0,85)}$$

$$= \frac{463,96}{23290}$$

$$= 0,019 \text{ in (0,505 mm)}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa semua pelat shell layak untuk dioperasikan dikarenakan ketebalan aktualnya lebih besar dari ketebalan yang dipersyaratkan (minimum). Namun berdasarkan API 653 paragraf 4.3.3.1, untuk pelat shell ketebalan minimum tidak boleh kurang dari 0,1 inci atau 2,54 mm sehingga hasil perhitungan juga masih dalam kategori layak dioperasikan.

Untuk bagian roof atau atap dari tangki penimbun, evaluasi ketebalan minimum yang dipersyaratkan mengacu pada standar API 653. Pada bagian roof ketebalan minimum yang dipersyaratkan yaitu tidak boleh kurang dari 0,09 inci atau 2,286 mm. Tangki penimbun dalam studi kasus ini memiliki ketebalan aktual roof sebesar 5,51 mm sehingga ketebalan aktual ini masih dalam kondisi layak beroperasi.

Berikut adalah tabel 2 mengenai ringkasan hasil perhitungan ketebalan, yaitu:

Tabel 2. Perbandingan t aktual dan t minimum

Shell	T aktual (mm)	T minimum (mm)	Keterangan
1	4,75	2,565	Layak dioperasikan
2	4,38	1,895	Layak dioperasikan
3	4,44	1,113	Layak dioperasikan
4	4,39	0,505	Layak dioperasikan
Roof	5,51	2,286	Layak dioperasikan

C. Perhitungan Laju Korosi (Corrosion Rate)

Untuk perhitungan laju korosi tangki penimbun digunakan rumus berdasarkan persamaan dari Standar API RP 575 seperti yang sudah diuraikan pada materi penelitian diawal. Berikut adalah perhitungan laju korosi tangki penimbun pada shell #1, shell #2, shell #3, dan shell #4 serta pada pada roof, yaitu :

- Laju Korosi Pelat Shell #1 :

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{t_{previous} - t_{actual}}{\text{time (years) between } t_{previous} \text{ and } t_{actual}}$$

$$= \frac{6 \text{ mm} - 4,75 \text{ mm}}{11 \text{ tahun}}$$

$$= 0,1136 \text{ mm/tahun}$$

- Laju Korosi Pelat *Shell* #2 :

$$\begin{aligned} \text{Corrosion Rate} &= \frac{t_{\text{previous}} - t_{\text{actual}}}{\text{time (years) between } t_{\text{previous}} \text{ and } t_{\text{actual}}} \\ &= \frac{4,5 \text{ mm} - 4,38 \text{ mm}}{11 \text{ tahun}} \\ &= 0,0109 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

- Laju Korosi Pelat *Shell* #3 :

$$\begin{aligned} \text{Corrosion Rate} &= \frac{t_{\text{previous}} - t_{\text{actual}}}{\text{time (years) between } t_{\text{previous}} \text{ and } t_{\text{actual}}} \\ &= \frac{4,6 \text{ mm} - 4,44 \text{ mm}}{11 \text{ tahun}} \\ &= 0,0145 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

- Laju Korosi Pelat *Shell* #4 :

$$\begin{aligned} \text{Corrosion Rate} &= \frac{t_{\text{previous}} - t_{\text{actual}}}{\text{time (years) between } t_{\text{previous}} \text{ and } t_{\text{actual}}} \\ &= \frac{4,5 \text{ mm} - 4,39 \text{ mm}}{11 \text{ tahun}} \\ &= 0,01 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

- Laju Korosi Pelat *Roof* :

$$\begin{aligned} \text{Corrosion Rate} &= \frac{t_{\text{previous}} - t_{\text{actual}}}{\text{time (years) between } t_{\text{previous}} \text{ and } t_{\text{actual}}} \\ &= \frac{6 \text{ mm} - 5,51 \text{ mm}}{11 \text{ tahun}} \\ &= 0,0445 \text{ mm/tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan laju korosi ini dilakukan berdasarkan jangka waktu pemeriksaan sebelumnya hingga jadwal pemeriksaan terkini, yaitu dari 2006 hingga 2017 atau berjarak selama 11 tahun. Berikut adalah tabel 3 mengenai ringkasan hasil perhitungan laju korosi pada pelat *shell* dan *roof*, yaitu:

Tabel 3. Ringkasan Laju Korosi

Shell	Laju Korosi mm / Tahun
1	0,1136
2	0,0109
3	0,0145
4	0,0100
Roof	0,0445

D. Penilaian Sisa Umur (*Remaining Life Assesstment*)

Dalam melakukan penilaian sisa umur suatu tangki penimbun, faktor yang dibutuhkan yaitu ketebalan dari tangki tersebut dan juga laju korosinya. Hasil perhitungan ketebalan dan laju korosi telah diperoleh sebelumnya, sehingga dapat dilakukan perhitungan sisa umur tangki penimbun dengan menggunakan persamaan yang telah diuraikan pada materi penelitian diawal. Berikut adalah perhitungan sisa umur dari dinding pelat tangki penimbun pada *shell* #1, *shell* #2, *shell* #3, dan *shell* #4 serta pada bagian *roof*, yaitu :

- Sisa Umur *Shell* #1 :

$$\begin{aligned} \text{Remaining Life (years)} &= \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{corrosion rate}} \\ &= \frac{4,75 \text{ mm} - 2,567 \text{ mm}}{0,1136 \text{ mm/tahun}} \\ &= 19 \text{ tahun} \end{aligned}$$

- Sisa Umur *Shell* #2 :

$$\begin{aligned} \text{Remaining Life (years)} &= \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{corrosion rate}} \\ &= \frac{4,38 \text{ mm} - 2,54 \text{ mm}}{0,0109 \text{ mm/tahun}} \\ &= 168 \text{ tahun} \end{aligned}$$

- Sisa Umur *Shell* #3 :

$$\begin{aligned} \text{Remaining Life (years)} &= \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{corrosion rate}} \\ &= \frac{4,44 \text{ mm} - 2,54 \text{ mm}}{0,0145 \text{ mm/tahun}} \\ &= 131 \text{ tahun} \end{aligned}$$

- Sisa Umur *Shell* #4 :

$$\begin{aligned} \text{Remaining Life (years)} &= \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{corrosion rate}} \\ &= \frac{4,39 \text{ mm} - 2,54 \text{ mm}}{0,01 \text{ mm/tahun}} \\ &= 185 \text{ tahun} \end{aligned}$$

- Sisa Umur *Roof* :

$$\begin{aligned} \text{Remaining Life (years)} &= \frac{t_{\text{actual}} - t_{\text{minimum}}}{\text{corrosion rate}} \\ &= \frac{5,51 \text{ mm} - 2,286 \text{ mm}}{0,0445 \text{ mm/tahun}} \\ &= 72 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan faktor ketebalan aktual serta laju korosi dari *shell* dan *roof* didapatkan hasil sisa umur yang masih layak untuk dioperasikan dalam jangka waktu panjang. Berikut adalah tabel 4 mengenai ringkasan hasil perhitungan sisa umur pada *shell* dan *roof*, yaitu:

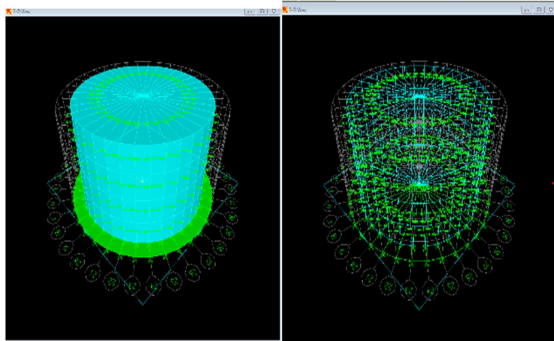
Tabel 4. Ringkasan Sisa Umur

Shell	Sisa Umur (Tahun)
1	19
2	168
3	131
4	185
Roof	72

E. Permodelan

Pada penelitian ini dilakukan permodelan struktur tangki penimbun dengan menggunakan *software* metode elemen hingga yaitu SAP 2000. Dengan memasukkan data

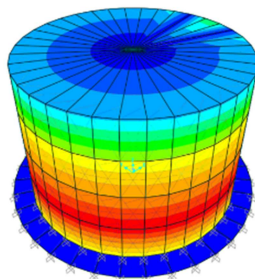
tangki berupa diameter dan tinggi dari tangki penimbun, maka model secara umum sudah dapat terbentuk. Berikut adalah gambar 3 yang merupakan permodelan pada penelitian ini, yaitu:



Gambar 8. Permodelan 3D Struktur Fill Object dan Elemen Tangki Penimbun

F. Analisis Tegangan Tangki Penimbun Lokasi Kabupaten Siak

Pada penelitian ini, penulis melakukan analisis terhadap tegangan yang ditimbulkan oleh pelat *shell* akibat adanya beban gempa. Tegangan tersebut yaitu tegan S11, S22, dan S12 yang menggambarkan perilaku pelat *shell* saat dibebani. Berikut adalah gambar 9 mengenai permodelan dari tangki penimbun pada lokasi Kabupaten Siak setelah dibebani oleh beban gempa, yaitu:



Gambar 9. Hasil Analisis Tegangan Tangki Penimbun Lokasi Kabupaten Siak

Pada gambar 4 terlihat parameter angka dengan warna yang bervariasi dimana menunjukkan kondisi pelat dinding mengalami pembebanan yang diterima oleh struktur pelat *shell*. Dari hasil analisis menggunakan *software* SAP 2000, tegangan S11 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai -291,23 kg/cm², tegangan S22 terbesar pada *shell* #3 dengan nilai -970,76 kg/cm², dan tegangan S12 terbesar pada *shell* 4 dengan nilai 337,39 kg/cm². Berikut adalah tabel 5 mengenai hasil analisis tegangan pada tangki penimbun lokasi Kabupaten Siak, yaitu:

Tabel 5. Tegangan S11, S22, dan S12 pada tangki Penimbun Lokasi Aktual Kabupaten Siak

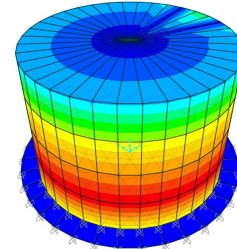
	S11 (kg/cm ²)	S22 (kg/cm ²)	S12 (kg/cm ²)
Shell #1	-49,63	-188,28	172,21
Shell #2	-51,93	-173,09	180,57
Shell #3	-291,23	-970,76	218,85
Shell #4	-156,95	495,25	337,39

F. Evaluasi Struktur Tangki Penimbun pada Lokasi Rawan Gempa

Pada penelitian ini, tangki penimbun pada lokasi Kabupaten Siak yang merupakan lokasi rawan gempa ringan akan dievaluasi dengan menerapkannya pada lokasi dengan tingkat rawan gempa lebih besar. Asumsi respon spektrum gempa dilakukan pada tiga lokasi berbeda dengan tingkat kekerasan tanah yang berbeda-beda. Ketiga lokasi tersebut yaitu Aceh, Sumatera Utara, dan Sumatera Barat.

G. Analisis Tegangan Tangki Penimbun Akibat Beban Gempa pada Lokasi Aceh

Pada penelitian ini, untuk respon spektrum lokasi Aceh menggunakan paramater tanah keras. Berikut adalah gambar 10 yang merupakan permodelan analisis tegangan lokasi Aceh, yaitu:



Gambar 10. Hasil Analisis Tegangan Tangki Penimbun Lokasi Aceh

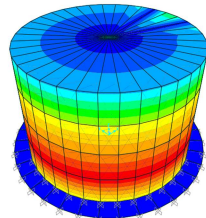
Dari hasil analisis menggunakan *software* SAP 2000, untuk lokasi Aceh tegangan S11 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai -302,91 kg/cm², tegangan S22 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai -1009,7 kg/cm², dan tegangan S12 terbesar yaitu pada *shell* #4 dengan nilai 339,29 kg/cm². Berikut tabel 6 mengenai hasil analisis tegangan pada tangki penimbun lokasi Aceh, yaitu:

Tabel 6. Tegangan S11, S22, dan S12 pada tangki Penimbun Lokasi Aceh

	S11 (kg/cm ²)	S22 (kg/cm ²)	S12 (kg/cm ²)
Shell #1	-81,11	-270,36	173,16
Shell #2	-69,51	-231,7	181,47
Shell #3	-302,91	-1009,7	221,14
Shell #4	-158,33	-527,78	339,29

H. Analisis Tegangan Tangki Penimbun Akibat Beban Gempa pada Lokasi Sumatera Utara

Pada penelitian ini, untuk respon spektrum lokasi Sumatera Utara menggunakan parameter tanah sedang. Berikut adalah gambar 11 yang merupakan permodelan analisis tegangan lokasi Sumatera Utara, yaitu:



Gambar 11. Hasil Analisis Tegangan Tangki Penimbun Lokasi Sumatera Utara

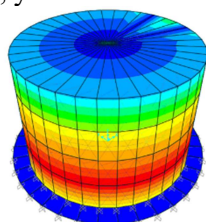
Dari hasil analisis menggunakan software SAP 2000, untuk lokasi Sumatera Utara tegangan S11 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai $-296,83 \text{ kg/cm}^2$, tegangan S22 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai $-989,44 \text{ kg/cm}^2$, dan tegangan S12 terbesar pada *shell* #4 dengan nilai $338,3 \text{ kg/cm}^2$. Berikut tabel 7 mengenai hasil analisis tegangan pada tangki penimbun lokasi Sumatera Utara, yaitu:

Tabel 7. Tegangan S11, S22, dan S12 pada tangki Penimbun Lokasi Sumatera Utara

	S11 (kg/cm^2)	S22 (kg/cm^2)	S12 (kg/cm^2)
<i>Shell</i> #1	-68,29	-227,65	172,66
<i>Shell</i> #2	-60,36	-201,2	181
<i>Shell</i> #3	-296,83	-989,44	219,95
<i>Shell</i> #4	-157,61	-525,38	338,3

I. Analisis Tegangan Tangki Penimbun Akibat Beban Gempa pada Lokasi Sumatera Barat

Pada penelitian ini, untuk respon spektrum lokasi Sumatera Barat menggunakan parameter batuan. Berikut adalah gambar 12 yang merupakan permodelan analisis tegangan lokasi Sumatera Barat, yaitu:



Gambar 12. Hasil Analisis Tegangan Tangki Penimbun Lokasi Sumatera Barat

Dari hasil analisis menggunakan software SAP 2000, untuk lokasi Sumatera Barat tegangan S11 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai $-307,14 \text{ kg/cm}^2$, tegangan S22 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai $-1023,79 \text{ kg/cm}^2$, dan tegangan S12 terbesar yaitu pada *shell* #4 dengan nilai $339,98 \text{ kg/cm}^2$. Berikut tabel 8 mengenai hasil analisis tegangan pada tangki penimbun lokasi Sumatera Barat, yaitu:

Tabel 8. Tegangan S11, S22, dan S12 pada tangki Penimbun Lokasi Sumatera Barat

	S11 (kg/cm^2)	S22 (kg/cm^2)	S12 (kg/cm^2)
<i>Shell</i> #1	-90,01	-300,06	173,5
<i>Shell</i> #2	-75,87	-252,91	181,79
<i>Shell</i> #3	-307,14	-1023,79	221,97
<i>Shell</i> #4	-158,83	-529,45	339,98

I. Evaluasi Nilai Tegangan terhadap Tegangan yang Diijinkan

Setelah didapatkan hasil tegangan dari pelat *shell* akibat adanya beban gempa dengan menggunakan software SAP 2000, selanjutnya yaitu penulis melakukan evaluasi hasil tegangan tersebut terhadap tegangan yang diijinkan dari pelat *shell* tangki penimbun tersebut. Berdasarkan data yang diperoleh dari API 653, tegangan yang diijinkan pada pelat *shell* dengan material A-36 yaitu sebesar $1750,64 \text{ kg/cm}^2$ untuk *shell* #1 dan *shell* #2 serta sebesar $1926,41 \text{ kg/cm}^2$ untuk *shell* #3 dan *shell* #4. Dari hasil analisis dengan menggunakan software SAP 2000, respon struktur yang berupa tegangan dari pelat *shell* masih memiliki nilai lebih rendah dari nilai tegangan yang diijinkan, sehingga pelat *shell* tersebut layak untuk diterapkan pada beberapa lokasi rawan gempa pada penelitian ini jika hanya ditinjau dari pelat *shell*-nya.

V. KESIMPULAN

Tangki penimbun T-2 / ST-1 yang berlokasi di Kabupaten Siak masih layak dioperasikan dalam beberapa tahun ke depan. Dari hasil perhitungan, disimpulkan bahwa ketebalan aktual dari keempat *shell* dan *roof* memiliki nilai diatas ketebalan yang dipersyaratkan sehingga menandakan bahwa masih layak untuk dioperasikan. Laju korosi yang memiliki tingkat paling tinggi yaitu pada *shell* #1 dengan nilai $0,1136 \text{ mm/tahun}$, sedangkan laju korosi terkecil yaitu pada *shell* #4 dengan nilai $0,01 \text{ mm/tahun}$. Berdasarkan ketebalan dan laju korosi tersebut, didapatkan sisa umur ≥ 19 tahun untuk semua

shell dan *roof* dengan umur tertinggi pada *shell* #4 yaitu 185 tahun dan terendah pada *shell* #1 yaitu 19 tahun.

Respon struktur yang ditimbulkan oleh tangki penimbun pada lokasi Kabupaten Siak dengan menggunakan *software* metode elemen hingga diperoleh hasil yaitu tegangan S11 terbesar pada *shell* #3 dengan nilai $-291,23 \text{ kg/cm}^2$, S22 terbesar pada *shell* #3 dengan nilai $-970,76 \text{ kg/cm}^2$, dan S12 terbesar pada *shell* #4 dengan nilai $337,39 \text{ kg/cm}^2$. Beban ini menggunakan parameter respon spektrum tanah lunak.

Respon struktur yang dihasilkan jika tangki penimbun lokasi Kabupaten Siak diterapkan pada beberapa lokasi rawan gempa di Pulau Sumatera yaitu sebagai berikut:

- a. Jika diterapkan pada lokasi Aceh (parameter tanah keras) didapatkan nilai tegangan S11 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai $-302,91 \text{ kg/cm}^2$, S22 terbesar pada *shell* #3 dengan nilai $-1009,7 \text{ kg/cm}^2$, dan S12 terbesar pada *shell* #4 dengan nilai $339,29 \text{ kg/cm}^2$.
- b. Jika diterapkan pada lokasi Sumatera Utara (parameter tanah sedang) didapatkan nilai tegangan S11 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai $-296,83 \text{ kg/cm}^2$, S22 terbesar pada *shell* #3 dengan nilai $-989,44 \text{ kg/cm}^2$, dan S12 terbesar pada *shell* #4 dengan nilai $338,3 \text{ kg/cm}^2$.
- c. Jika diterapkan pada lokasi Sumatera Barat (parameter batuan) didapatkan nilai tegangan S11 terbesar yaitu pada *shell* #3 dengan nilai $-307,14 \text{ kg/cm}^2$, S22 terbesar pada *shell* #3 dengan nilai $-1023,79 \text{ kg/cm}^2$, dan S12 terbesar pada *shell* #4 dengan nilai $339,98 \text{ kg/cm}^2$.

Dari hasil analisis, diketahui bahwa ketika tangki penimbun lokasi Kabupaten Siak diterapkan pada lokasi dengan parameter tanah sedang, tanah keras, dan batuan, maka tegangan yang diterima semakin besar. Kemudian karena hasil dari analisis tegangan tersebut masih memiliki nilai yang lebih rendah dari nilai tegangan ijin dari material plat *shell*, sehingga

dapat untuk diterapkan pada lokasi rawan gempa dari sisi pelat *shell* nya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Y. K., Arief, I. S., Amiadji, 2015, Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating, Jurnal, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- American Petroleum Institute, 2005, API 575 Second Edition, Guidelines and Methods for Inspection of Existing Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks, Washington: Energy API
- American Petroleum Institute, 2014, API 653 Fifth Edition, Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction, Washington: Energy API
- Ardiansyah, D. 2012, Analisa Respon Menara Tangki Akibat Gaya Gempa dengan Memperhitungkan Pengaruh Sloshing, Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara, Medan
- Badan Standardisasi Nasional, 2012, SNI 1726:2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Jakarta
- Fathoni, I. N, 2011, Studi Perilaku Tangki Minyak Pelat Baja Terhadap Beban Internal dan Beban Seismik, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Indonesia, Depok
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman – Kementerian Pekerjaan Umum, 2011, Desain Spektra Indonesia, <https://puskim.pu.go.id/>, diakses pada 4 Agustus 2020
- Tay, B. H. U., 2014, Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat, Gaya Geser Dasar, Perpindahan Tingkat dan Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Berdasarkan Peraturan Gempa SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012, Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Universitas Nusa Cendana, Kupang
- Yusuf, A. Damayanti, M. Kartika, Y., 2015, Peralatan Industri Proses I, Makalah, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang,