SELEKSI DESAIN ROOF TANK CSTR UNTUK PLANT BIOGAS POME SETARA 700KW

Design Selection Of CSTR Roof Tank For A 700kw Equivalent POME Biogas Plant

Ridho Dwimansyah, Trisaksono Bagus Priambodo, dan Yusnitati
Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung Energi 625 Kawasan PUSPIITEK, Tangerang Selatan
Email: ridho.dwimansyah@bppt.go.id

Diterima: 27 Agustus 2020; Diperiksa: 21 September 2020; Revisi: 6 November 2020; Disetujui: 3 Desember 2020

Abstract

Indonesia is the largest palm oil producer in the world. In the process of its processing into Crude Palm Oil (CPO), the palm oil processing industry produces various types of waste, including liquid waste known as Palm Oil Mill Effluent (POME). POME contains organic matter that is high enough so it must be processed before being discarded into the environment. During this time, POME is treated using anaerobic ponds which are quite large and produce methane gas. Methane gas has a high level of emissions, but it has potential to become an energy source if it is utilized. Therefore, BPPT in collaboration with PT. Perkebunan Nusantara 5 built a biogas production pilot plant from POME equivalent to 700kW for boiler fuel at PKS Sei Pagar, Kampar Regency, Riau Province. The process of converting POME into biogas uses Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) technology. The research aims to choose the best roof tank design for CSTR. The method used is the Pahl and Beitz method and the House of Quality. The result of the study are the best specification planning data, which is 1400 mm in diameter and the construction site position at a height of 15350 mm from the bottom of the reactor, with use an internal support column, with the best variant chosen is the fixed roof type with dome shape.

Keywords: POME, Pilot Plant, CSTR, roof tank

Abstrak

Indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Dalam proses pengolahannya menjadi Crude Palm Oil (CPO), industri pengolahan kelapa sawit menghasilkan berbagai jenis limbah, di antaranya adalah limbah cair yang dikenal sebagai Palm Oil Mill Effluent (POME). POME mengandung bahan organik yang cukup tinggi sehingga harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Selama ini, limbah POME diolah menggunakan kolam anaerobik yang cukup luas dan menghasilkan gas metana. Gas metana memiliki tingkat emisi yang tinggi, tetapi sangat berpotensi sebagai sumber energi apabila dimanfaatkan. Oleh karena itu, BPPT bekerjasama dengan PTPN 5 membangun Pilot Plant produksi biogas dari POME setara 700 kW untuk bahan bakar boiler di PKS Sei Pagar Kabupaten Kampar Provinsi Riau. Proses pengolahan POME menjadi biogas menggunakan teknologi Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). Penelitian bertujuan untuk memilih desain roof tank terbaik untuk CSTR. Metode yang digunakan adalah metode Pahl and Beitz dan House of Quality. Hasil penelitian adalah berupa data spesifikasi roof tank yang direncanakan yaitu berdiameter 1400 mm dengan konstruksi lokasi pada ketinggian 15350 mm dari dasar reaktor, yang dilengkapi support internal column, dengan tipe fixed roof bentuk dome.

Kata kunci: POME, Pilot Plant, CSTR, roof tank

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen Crude Palm Oil (CPO) terbesar di dunia, dengan nilai produksi pada tahun 2017 diestimasi mencapai 35,36 juta ton/tahun (Ahmed et al., 2015). Dalam proses produksinya, industri pengolahan sawit menghasilkan berbagai jenis limbah, salah satunya adalah limbah cair yang dikenal sebagai Palm Oil Mill Effluent (POME). Setiap satu ton

produksi CPO, dihasilkan limbah POME sebesar 2,5 – 3 ton (Rahayu et al., 2015; Vijaya et al., 2008). Satu ton tandan buah kelapa sawit menghasilkan 0,7 m³ POME. POME ini memiliki potensi energi yang tinggi. Secara alami, POME akan terdegradasi menjadi gas dengan kandungan utama (62%) gas metana (CH₄). Gas ini muncul sebagai akibat dari proses perombakan senyawa-senyawa organik secara anaerobik. Gas metana tersebut ternyata

juga memiliki tingkat emisi yang tinggi. UNFCCC, badan PBB yang menangani perubahan iklim, mencatat gas metana memiliki nilai GWP (*Global Warming Potential*) 21 kali jika dibandingkan dengan gas karbon (CO_2) (Hindarto et al., 2018; Sudarman, 2010). Di sisi lain, gas metana ini juga memiliki tingkat energi yang cukup tinggi. Gas metana ini memiliki nilai kalor 50,1 MJ/kg. Jika densitas metana 0,717 kg/m³ maka 1 m³ gas metana akan memiliki energi setara dengan 35,9 MJ atau sekitar 10 kWh. Jika kandungan gas metana adalah 62% dalam biogas, maka 1 m³ biogas akan memiliki tingkat energi sebesar 6,2 kWh (Safrizal, 2015). Melihat potensi tersebut sangat disayangkan jika gas-gas yang dihasilkan dari penguraian biomassa tersebut dibiarkan begitu saja. Untuk dapat memanfaatkan potensi biogas tersebut, terdapat beberapa teknologi yang dapat diterapkan.

PT. Perkebunan Nusantara V Persero yang bergerak di bidang perkebunan sawit dan memproduksi CPO telah bekerjasama dengan BPPT untuk pemanfaatan limbah cair *POME* dari proses pengolahan sawit untuk menghasilkan biogas. Biogas yang terdiri dari utamanya gas metana ini dapat digunakan baik sebagai bahan bakar pembangkit listrik maupun untuk substitusi bahan bakar boiler. Melalui proyek biogas *POME*, PTPN5 (Persero) mempunyai solusi untuk mengatasi pencemaran lingkungan yang mana awalnya limbah *POME* merupakan beban bagi lingkungan, kini dapat dikonversi menjadi bahan bakar. Selain itu secara tidak langsung PTPN5 (Persero) mampu berperan serta dalam pengurangan emisi gas rumah kaca.

Dengan beberapa pertimbangan teknis maupun nilai strategis penyediaan energi untuk industri PKS dan kawasan sekitarnya, BPPT telah melakukan inovasi teknologi dalam pemanfaatan *POME* menjadi bahan bakar pembangkit listrik dengan dibangunnya unit instalasi PLTBg setara 700 kW di lokasi PKS PTPN5 di Terantam, Propinsi Riau. *Ground breaking* pembangunan PLTBg tanggal 30 Mei 2017 langsung di lokasi PKS Terantam di Kecamatan Tapung Hulu, Kampar, Riau. Setelah berhasil dengan project pembangunan unit biogas dari *POME* di Terantam, BPPT dan PTPN 5 melanjutkan kerjasamanya dalam pembangunan pabrik biogas di lokasi PKS PTPN5 di Sei Pagar, Riau. Konversi *POME* menjadi biogas di lokasi ini menggunakan teknologi *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR).

Untuk pemanfaatan *POME* sebagai bahan bakar, umumnya teknologi yang dipakai adalah reaktor biogas dari tipe *Covered Lagoon* (CAL) dan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). BPPT menggunakan teknologi *Covered Lagoon* (CAL) pada project biogas *POME* yang berlokasi di PKS PTPN5 Terantam, Riau. Pada project biogas *POME* yang akan dibangun di lokasi PKS PTPN5 di Sei Pagar, Riau, akan digunakan teknologi CSTR. Teknologi CSTR dinilai lebih unggul

dibandingkan *Covered Lagoon* (CAL) dengan mempertimbangkan berbagai kelemahan yang ditemukan pada tipe *Covered Lagoon* (CAL). Perbandingan reaktor biogas tipe CAL dan CSTR dari berbagai aspek dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Perbandingan *Covered Lagoon* dan CSTR

Aspek	Lagoon	CSTR
Kapasitas Pabrik	45 ton/jam	45 ton/jam
Potensi daya	1,1MW	2 MW
Efisiensi	Lebih rendah	Lebih tinggi
Maintenance	Lebih sulit	Lebih mudah
Risiko	Lebih tinggi	Lebih rendah
Umur metanae trap	8 tahun	25 tahun
Investasi	34,02 Milyar	47,1 Milyar
IRR	15,11%	19,29%
NPV	2 Milyar	17,7 Milyar
Payback periode	6 tahun 4 bulan	5 tahun 6 bulan

Catatan

IRR : *Investment Rate of Return*

NPV : *Net Present Value*

Kelebihan lainnya, efisiensi yang lebih tinggi dan volume digester CSTR lebih kecil sampai separuhnya dibanding digester CAL untuk besaran produksi biogas yang sama, sehingga lahan yang dibutuhkan lebih kecil.

Syarat utama yang harus dipenuhi untuk memproduksi biogas adalah kondisi fermentasi anaerobik. Kondisi ini dapat dipenuhi dengan membuat konstruksi tertutup pada reaktor. Oleh karena itu, digester CSTR akan dilengkapi dengan sistem penutup (*roof tank*) yang akan dipilih desainnya dalam penelitian ini.

1.1 Jenis *Roof Tank* Berdasarkan Support

1.1.1 *Fixed Roof Tank*

Fixed roof tank adalah jenis tangki yang memiliki atap *fixed* atau tidak berubah-ubah posisi atapnya. Jenis tangki ini digunakan untuk menimbun atau menyimpan berbagai jenis fluida dengan tekanan uap rendah atau atmosferik.

Gambar 1. Skema *fixed roof tank*

Pada *fixed roof tank* terdapat *vapor space* antara ketinggian cairan dengan atap. Jika *vapor space* berada pada keadaan mudah terbakar, maka akan terjadi ledakan. Oleh karena itu *fixed roof tank* dilengkapi dengan *vent* untuk mengatur tekanan dalam tangki sehingga mendekati tekanan atmosfer. Tangki ini digunakan untuk fluida yang tidak mudah menguap (Nugraha, 2019).

1.1.2 Floating Roof Tank

Floating roof tank adalah jenis tangki yang atapnya bergerak naik turun sesuai dengan volume likuid yang tersedia didalamnya. Dengan mengapungnya atap secara langsung terhadap produknya, maka tidak adanya *vapor space* yang secara otomatis mengeliminasi segala macam kemungkinan kebakaran yang disebabkan oleh atmosfer disekitarnya. Tipe tangki ini juga mengurangi terjadinya evaporasi dan polusi udara. Salah satu sumber polusi udara adalah dari jenis dan macam *seal* yang digunakan (Yeng, 2009).

Floating roof memiliki diameter lebih kecil dari diameter dinding tangkinya, yang memungkinkan adanya jarak di setiap sisi antara atap dan dinding tangki dalam (Myers, 1997). Untuk melindungi produk di dalam tangki karena evaporasi dan tercampurnya produk karena air hujan disebabkan adanya jarak, maka diberikan penutup (*seal*) yang bersifat fleksibel. Saat cairan ditambahkan ke tangki, atap bergerak ke atas, saat cairan dikeluarkan, atap bergerak ke bawah. Tidak pernah ada ruang uap tepat di atas zat cair (Sutton, 2017).

Gambar 2. Skema *floating roof tank*

1.2 Jenis Roof Tank Berdasarkan Bentuk

1.2.1 Flat roof tank

Flat roof tank adalah jenis tangki yang memiliki atap dengan bentuk datar. Jenis *roof tank* dengan bentuk ini lebih mudah dalam hal proses manufaktur dibanding dengan bentuk *roof tank* yang lain.

1.2.2 Conical roof

Conical roof tank adalah jenis tangki yang memiliki atap berbentuk kerucut. Pada tangki jenis ini terdapat *vapor space* antara ketinggian fluida dengan atap. Oleh karena itu *conical roof tank* dilengkapi dengan *vent* untuk mengatur tekanan

dalam tangki sehingga tidak terjadi tekanan yang berlebihan yang dapat menimbulkan ledakan.

Gambar 3. *Flat roof tank*

Gambar 4. *Conical roof tank*

1.2.3 Dome Roof

Dome roof tank adalah jenis tangki yang memiliki atap berbentuk kubah. Pada tangki jenis ini juga terdapat *vapor space* antara ketinggian fluida dengan atap sama seperti pada *cone roof tank*. Oleh karena itu *dome roof tank* juga dilengkapi dengan *vent* untuk mengatur tekanan dalam tangki sehingga tidak terjadi tekanan yang berlebihan. *Self-supporting dome* atau *cone roof* umumnya merupakan pilihan paling ekonomis untuk tangki dengan diameter di bawah 15,2 m (Mcdermott, 2020).

Gambar 5. *Dome roof tank*

2. BAHAN DAN METODE

Metodologi yang digunakan adalah metode perancangan *Pahl and Beitz* dengan *House of Quality*. Berikut ini diagram alir penelitian.

Gambar 6. Diagram alir

1.1. Metode Perancangan *Pahl and Beitz*

Metode Perancangan *Pahl and Beitz* mengemukakan bahwa proses desain adalah kegiatan kreatifitas yang melibatkan beberapa cabang ilmu yang harus diarahkan secara sistematis. Metode ini dapat diaplikasikan pada proses perancangan semua kegiatan keteknikan. (Pahl & Beitz, 2013). Perancangan *Pahl and Beitz* tersebut terdiri dari 4(empat) tahap, yaitu: a). Perencanaan dan penjelasan tugas b). Perancangan konsep produk c) Perancangan bentuk produk dan d). Perancangan detail produk

Dalam penelitian ini, hanya digunakan dua tahap yaitu tahap perencanaan dan penjelasan tugas, serta tahap perancangan konsep produk. Proses desain selanjutnya akan mengacu pada standar API 650 *Welded Tanks for Oil Storage*. Standar tersebut menetapkan persyaratan minimum untuk material, desain, fabrikasi, ereksi, dan inspeksi untuk *welded storage tank* tipe vertikal, silinder, di atas permukaan tanah, tertutup dan terbuka dalam berbagai ukuran dan kapasitas untuk tekanan internal yang mendekati tekanan atmosfer (API, 2016). Untuk desain yang lebih detail mengacu pada standar API 650, tidak dibahas di dalam tulisan ini.

2.2. *House of Quality* (HoQ)

Rumah kualitas atau biasa disebut juga *House of Quality* (HoQ) merupakan tahap perencanaan yang merupakan tahap awal dalam penerapan metodologi *Quality Function Development* (QFD). Secara garis besar matrik ini adalah upaya untuk mengkonversi

Voice of Customer secara langsung terhadap persyaratan teknik atau spesifikasi teknis dari produk atau jasa yang dihasilkan (Goetsch & Davis, 2014).

Gambar 7. Matrik Struktur QFD

- Tembok rumah sebelah kiri (bagian A), berisikan data atau informasi yang diperoleh dari kebutuhan dan keinginan konsumen yang merupakan input dalam HoQ.
- Tembok rumah sebelah kanan (bagian B), adalah matrik perencanaan. Matrik ini merupakan komponen yang digunakan untuk menerjemahkan persyaratan pelanggan menjadi rencana-rencana untuk memenuhi persyaratan yang ditentukan. Untuk memenuhi persyaratan konsumen, perancang mengusahakan spesifikasi kinerja tertentu dan mensyaratkan pemasoknya untuk melakukan hal yang sama. Langkah ini terdapat pada bagian langit-langit rumah (bagian C).

Pada bagian tengah rumah (bagian D), adalah tempat persyaratan konsumen dikonversikan ke dalam aspek-aspek pemanufakturan. Pada bagian ini (bagian E), langkah yang dilakukan adalah mengidentifikasi pertukaran yang menghubungkan dengan persyaratan manufaktur. Pertanyaan yang akan dijawab dalam Bagian E adalah apa yang terbaik yang dapat dilakukan organisasi dengan mempertimbangkan persyaratan pelanggan dan kemampuan pemanufakturan organisasi. Pada bagian bawah rumah (bagian F) merupakan daftar prioritas persyaratan proses manufaktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perencanaan dan Penjelasan Tugas

Tahap ini menjelaskan dan mendefinisikan tugas dengan pengumpulan informasi permasalahan dan kendala yang dihadapi serta dilanjutkan dengan persyaratan mengenai sifat dan performa produk yang harus dimiliki dan dijabarkan ke dalam daftar persyaratan (*requirement list*).

Tabel 2. *Requirement list*

<i>Requirement</i>	<i>Penjelasan</i>	<i>Demands= D</i> <i>Wishes= W</i>
Fungsi	Menjaga kondisi tertutup pada <i>CSTR</i>	D
	Memungkinkan adanya sistem agitator	D
Kekuatan	Desain <i>roof</i> mampu menahan beban-beban yang terjadi	D
Pembuatan	Material tersedia di dalam negeri	W
	Biaya pembuatan murah	W
	Waktu pembuatan cepat	W
Perawatan	Perawatan mudah	W
	Biaya perawatan tidak mahal	W

Keterangan Tabel 2:

- Keharusan (*Demands*) disingkat D, yaitu syarat mutlak yang harus dimiliki, jika tidak terpenuhi maka rancangan tidak diterima.
- Keinginan (*Wishes*) disingkat W, yaitu syarat yang masih bisa dipertimbangkan untuk dipenuhi atau tidak

3.2. Pembuatan *House of Quality*

Berdasarkan *requirement list* yang telah disusun, maka dibuat matriks *house of quality* untuk desain *roof tank*. Persyaratan kualitatif merupakan aspek-aspek yang telah dijabarkan pada tabel 2. Aspek yang merupakan *demands* memiliki bobot 10, sedangkan aspek yang merupakan *wishes* memiliki bobot 5 dan 2 sesuai tingkat kepentingannya.

Relasi 9=kuat 3=sedang 1=lemah	Bobot 10=sempurna 5=OK 2=lemah	Relasi persyaratan teknis ✓✓ = Positif kuat ✓ = Positif lemah xx = negatif kuat x = negatif lemah □ = tidak berhubungan
			Persyaratan Teknis					
			Bobot	Dimensi	Geometri	Struktur	Material	Manufaktur
Persyaratan kualitatif								
Fungsional	Menjaga kondisi tertutup pada CSTR		10	9	9	9	3	9
	Memungkinkan adanya sistem agitator		10	1	9	9	1	3
Kekuatan	Desain roof mampu menahan beban-beban yang terjadi		10	9	9	9	3	9
Pembuatan	Material tersedia di dalam negeri		5	1	9	3	9	9
	Biaya pembuatan murah		2	9	9	9	9	9
	Waktu pembuatan cepat		5	3	9	9	3	9
Perawatan	Perawatan mudah		5	1	9	3	3	1
	Biaya perawatan tidak mahal		2	3	9	3	3	3
Skor			36	72	54	34	52	
Presentase (%)			14.5	29.0	21.8	13.7	21.0	
Ranking			4	1	2	5	3	

Gambar 8. Matriks House of Quality

Nilai relasi 9, 3, dan 1 merupakan keterkaitan antara persyaratan kualitatif dengan persyaratan teknis. Berikut ini penjelasan relasi antara persyaratan kualitatif dengan persyaratan teknis.

- Aspek menjaga kondisi tertutup pada *CSTR* memiliki keterkaitan yang kuat terhadap dimensi, geometri, struktur, dan manufaktur, serta memiliki keterkaitan yang sedang terhadap material.
- Aspek memungkinkan adanya sistem *agitator* memiliki keterkaitan yang kuat terhadap geometri dan struktur, memiliki keterkaitan yang sedang terhadap manufaktur, serta memiliki keterkaitan yang lemah terhadap dimensi dan material.
- Aspek desain *roof* mampu menahan beban-beban yang terjadi memiliki keterkaitan yang kuat terhadap dimensi, geometri, struktur dan manufaktur, serta memiliki keterkaitan yang sedang terhadap material.
- Aspek material tersedia di dalam negeri memiliki keterkaitan yang kuat terhadap geometri, material, dan manufaktur, memiliki keterkaitan yang sedang terhadap struktur, serta memiliki keterkaitan yang lemah terhadap dimensi.
- Aspek biaya pembuatan murah memiliki keterkaitan yang kuat terhadap semua persyaratan teknis.
- Aspek waktu pembuatan cepat memiliki keterkaitan yang kuat terhadap geometri, struktur dan manufaktur, serta memiliki keterkaitan yang kuat terhadap dimensi dan material.
- Aspek perawatan mudah memiliki keterkaitan yang kuat terhadap geometri, memiliki keterkaitan yang sedang terhadap struktur dan material, serta memiliki keterkaitan yang lemah terhadap dimensi dan manufaktur.
- Aspek biaya perawatan tidak mahal memiliki keterkaitan yang kuat terhadap geometri, dan memiliki keterkaitan yang sedang terhadap dimensi, struktur, material dan manufaktur.

Dari matriks *house of quality* tersebut, aspek geometri pada persyaratan teknis merupakan aspek yang paling memiliki relasi kuat terhadap *requirements* atau persyaratan kualitatif, baik yang merupakan *demands* maupun *wishes*.

3.3 Penentuan Spesifikasi

Tahap ini merupakan tahap pengumpulan informasi teknis *roof tank*. Lalu membuat kesimpulan tentang spesifikasi apa saja yang dibutuhkan. Data spesifikasi untuk *roof tank* yaitu:

- Diameter = 1400 mm
- Posisi ketinggian = 15350 mm dari dasar reaktor
- Support* = *internal column*

3.4. Penentuan Varian Terbaik

Penentuan varian terbaik merupakan tahap

penjabaran opsi varian yang mungkin diterapkan pada *roof tank* yang terdiri dari varian jenis *support* dan varian bentuk. Varian ini lebih menitikberatkan pada aspek geometri yang merupakan aspek yang paling memiliki relasi kuat terhadap *requirements* atau persyaratan kualitatif, baik yang merupakan *demands* maupun *wishes*. Dalam perencanaan desain *roof tank*, beberapa varian memiliki kekurangan serta kelebihan, maka akan dijabarkan beberapa varian yang digunakan serta beberapa varian terbentuk.

Tabel 3. Varian fungsi

No	Varian Fungsi	A	B	C
1	Jenis <i>support roof tank</i>	<i>Fixed roof</i>	<i>Floating roof</i>	
2	Bentuk <i>roof tank</i>	<i>Flat</i>	<i>Conical</i>	<i>Dome</i>

Dari tabel varian fungsi di atas, didapat beberapa varian *roof tank*, yaitu:

- Varian 1 (1A-2A) : *Flat Fixed roof*
- Varian 2 (1A-2B) : *Conical Fixed roof*
- Varian 3 (1A-2C) : *Dome Fixed roof*
- Varian 4 (1B-2A) : *Flat Floating roof*
- Varian 5 (1B-2B) : *Conical Floating roof*
- Varian 6 (1B-2C) : *Dome Floating roof*

Setelah didapat beberapa varian, selanjutnya varian-varian tersebut di pilih menjadi varian yang terbaik sesuai kebutuhan dengan menggunakan tabel solusi dan subfungsi.

Tabel 4. Solusi dan subfungsi

Pemilihan Varian Terbaik									
a	Varian	Daftar Persyaratan						Keputusan	
		Kompatible untuk fungsi keseluruhan						Keputusan	
		Memenuhi kebutuhan spesifikasi						Keputusan	
		Secara prinsip dapat diwujudkan						Keputusan	
		Safety						Keputusan	
		Lebih sederhana						Keputusan	
		Informasi memadai						Keputusan	
		A	B	C	D	E	F	Keterangan	
		V1	-	+	+	+	+	Bentuk flat sangat buruk terhadap buckling	-
		V2	-	+	+	+	+	Bentuk conical rawan terjadi buckling	-
		V3	+	+	+	+	+	Memenuhi semua aspek	+
		V4	-	+	+	!	-	Bentuk flat sangat rawan terhadap buckling, jenis floating rawan kebocoran, komponen harus impor, biaya pembuatan mahal, tidak memungkinkan adanya agitator	-

Dari tabel solusi dan subfungsi, yang memenuhi semua persyaratan yaitu varian 3 (V3) *dome fixed roof*, sehingga varian yang dipilih untuk diaplikasikan pada *continuous stirred tank reactor (CSTR)* pilot plant produksi biogas dari *palm oil mill effluent (POME)* setara 700 kw di Sei Pagar Kabupaten Kampar Provinsi Riau yaitu *dome fixed roof*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penerapan metode *Pahl and Beitz* dan *House of Quality*, didapat spesifikasi dan varian terbaik untuk *roof tank* dengan menitikberatkan pada aspek geometri yang merupakan aspek yang paling memiliki relasi kuat terhadap persyaratan kualitatif, Spesifikasi *roof tank* yang direncanakan yaitu berdiameter 1400 mm dengan konstruksi lokasi pada ketinggian 15350 mm dari dasar reaktor, yang dilengkapi *support internal column*, dengan tipe *fixed roof* bentuk *dome*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Y., Yaakob, Z., Akhtar, P., & Sopian, K. (2015). Production of biogas and performance evaluation of existing treatment processes in palm oil mill effluent (POME). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 12601278.
- API. (2016). *Welded Tanks for Oil Storage*, API Standard 650 (13th Edition). Washington: API Publishing Services.
- Fathoni, I. N. (2011). *Studi Perilaku Tangki Minyak Pelat Baja Terhadap Beban Internal dan Beban Seismik*. Skripsi. Prodi Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Goetsch,
- D. L., & Davis, S. B. (2014). *Quality management for organizational excellence*. pearson Upper Saddle River,
- NJ.Hindarto, D. E., Samyanugraha, A., & Nathalia, D. (2018). *Pengantar Pasar Karbon untuk Pengendalian Perubahan Iklim*. PMR Indonesia.
- Myers, P. E. (1997). *Aboveground storage tanks*. New York: McGraw-Hill Education.
- Mcdermott. (2020). *Atmospheric Storage Solution*. [Brosur]. Houston: Mcdermott
- Nugraha, K. S. (2019). *Desain Tangki External Floating Roof Penyimpanan Condensate Berdasarkan Api 650 Dan Diverifikasi Dengan Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Pengelasan. Jurusan Teknik Bangunan Kapal. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Pahl, G., & Beitz, W. (2013). *Engineering Design: A Systematic Approach*. London: Springer Science & Business Media.
- Rahayu, A. S., Karsiwulan, D., Yuwono, H., Trisnawati, I., Mulyasari, S., Rahardjo, S., Hokermin, S., & Paramita, V. (2015). *Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia*. In Winrock International.
- Safrizal. (2015). *Small Renewable Energy Biogas Limbah Cair (POME) Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Tipe Covered Lagoon Solusi Alternatif Defisit Listrik Provinsi Riau*. *Jurnal DISPROTEK*, 6(1), 2635.
- Sudarman. (2010). *Meminimalkan Daya Dukung Sampah Terhadap Pemanasan Global*. *Profesional*, 8(1), 5159.
- Sutton, I. (2017). *Plant design and operations*. Virginia: Gulf Professional Publishing.
- Vijaya, S., Ma, A. N., Choo, Y. M., & Nik Meriam, N. S. (2008). *Life Cycle Inventory of The Production of Crude Palm Oil A Gate to Gate Case Study of 12 Palm Oil Mills*. *Journal of Oil Palm Research*, 20(JUNE), 484494.
- Yeng, K. S. (2009). *Construction and Operation of the Floating Roof Tank Desidn*. Disertasi. Mechanical Engineering. Faculty of Engineering and Surveying. University of Southern Queensland.