



Rancang Bangun Reaktor pada Unit Penjerapan CO₂ Flue Gas Boiler Modul 2 PT BADAK NGL dengan Metode Absorpsi NaOH

Dianggit Sinewaka Bitotama^{1*}, Haolia Rahman², I Wayan Yuda Semaradipta³,

¹Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

²Program Magister Terapan Teknologi Manufaktur, Pasca Sarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy,
Kampus UI, Depok, 16425

³PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur 75324

Abstrak

Peningkatan gas karbon dioksida setiap tahunnya dapat memunculkan berbagai permasalahan dalam kehidupan seperti polusi udara, pemanasan global, dan perubahan iklim. Untuk itu PT Badak LNG tengah berupaya dalam reduksi emisi gas buang CO₂ untuk mendukung program pengurangan gas rumah kaca dalam program Net Zero Emission. Salah satu upaya tersebut adalah merancang dan membangun unit reactor penjerapan CO₂ pada flue gas boiler yang berada di PT Badak LNG. Penjerapan CO₂ menggunakan metode absorpsi NaOH selain mereduksi CO₂ dari flue gas, produk dari unit reactor dapat menghasilkan natrium karbonat yang memiliki nilai ekonomis lebih tinggi. Berdasarkan perancangan dan pembuatan unit reactor maka dapat diperoleh hasil pengujian.

Kata-kata kunci: Absorpsi NaOH, Emisi CO₂, Flue Gas Boiler, Unit Reaktor

Abstract

The increase in carbon dioxide gas every year can cause various problems in life such as air pollution, global warming, and climate change. For this reason, PT Badak LNG is working on reducing CO₂ exhaust emissions to support the greenhouse gas reduction program in the Net Zero Emission program. One of these efforts is to design and build a CO₂ absorption reactor unit in the flue gas boiler at PT Badak LNG. CO₂ entrapment using the NaOH absorption method in addition to reducing CO₂ from flue gas, the product from the reactor unit can produce sodium carbonate which has a higher economic value. Based on the design and manufacture of the reactor unit, the test results can be obtained.

Keywords: NaOH Absorption, CO₂ Emission, Flue Gas Boiler, Reactor

* Corresponding author E-mail address: dianggit.sinewaka.tm19@mhs.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Berdasarkan hasil studi dari Indonesia Energy Outlook 2019, rata-rata peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia akan meningkat setiap tahunnya sebesar 3,9% dengan proyeksi total emisi pada tahun 2030 akan meningkat menjadi 912 juta ton CO₂ equivalent (KESDM, Indonesia Energy Outlook 2019, 2019). Oleh sebab itu, Indonesia berkomitmen untuk menurunkan emisi GRK sebesar 29% di tahun 2030 dengan usaha sendiri atau sebesar 41% dengan bantuan program internasional. Berdasarkan program yang telah dicanangkan tersebut, diharapkan bahwa dalam sector energi Indonesia dapat menurunkan emisi GRK sebesar 314 juta ton CO₂.

Berdasarkan Pasal 13 Bab VI Undang-Undang Harmonisasi Peraturan Perpajakan tahun 2021 telah disebutkan bahwa pajak karbon adalah pajak yang dikenakan atas pembelian barang yang mengandung karbon atau aktivitas yang menghasilkan emisi karbon. Tarif pajak karbon yang ditetapkan sebesar Rp 30,00 per kilogram karbon dioksida ekuivalen (CO₂e) (DJP, 2021). Peraturan ini akan mulai diimplementasikan pertama kali pada tanggal 1 April 2022 di Indonesia. Penerapan pajak karbon ini diharapkan memiliki dampak positif terhadap masyarakat Indonesia, antara lain mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan pendapatan pemerintah dari pajak yang ditarik, mendorong konsumen dan pengusaha untuk lebih hemat energi serta inovasi dalam upaya mengurangi emisi karbon ke lingkungan.

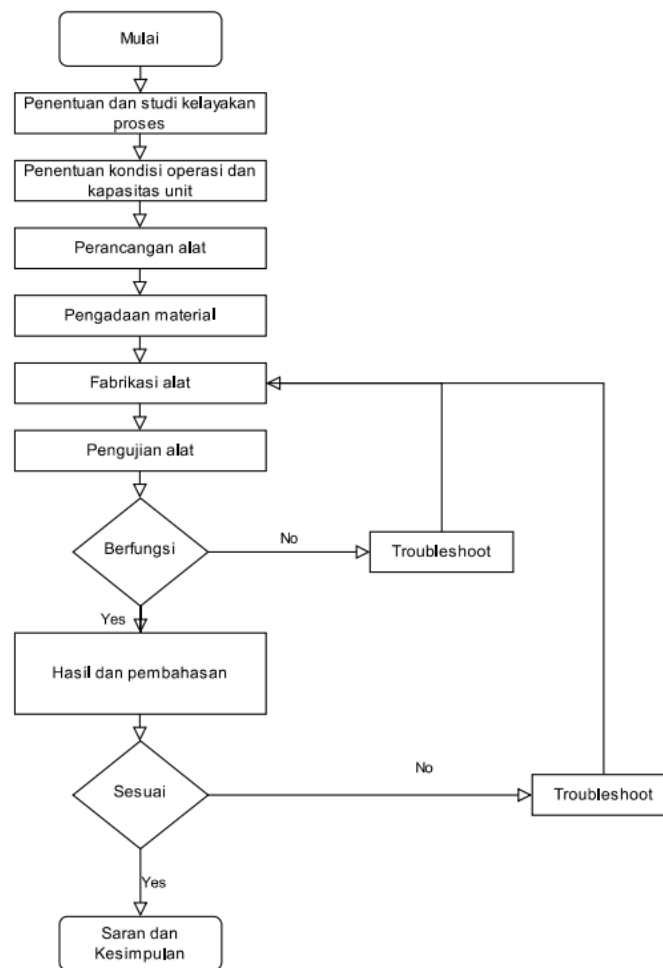
PT. BADAQ NGL merupakan *world class company* dalam bidang pengolahan gas bumi menjadi produk LNG. Proses produksi LNG yang dilakukan secara konsisten selalu memperhatikan aspek *safety, health, dan environment*. PT. BADAQ NGL juga senantiasa berupaya dalam melakukan tindakan pencegahan atau pengurangan limbah maupun emisi terhadap lingkungan sekitar. Badaq LNG sendiri memiliki emisi gas buang CO₂ yang dihasilkan bersumber dari Acid Gas Removal Unit (AGRU) atau Plant-1 menggunakan a-MDEA, flue gas boiler, serta gas buang dari gas turbin yang digunakan. Badaq LNG juga turut serta dalam upaya pemerintah dalam mencapai Net-Zero Emission berupa pengurangan emisi gas rumah kaca 29% pada tahun 2030.

Untuk itu, tujuan dari studi ini adalah merancang dan memproduksi unit reaktor penjerapan CO₂, sebagai bukti komitmen dari PT. Badaq NGL dalam mendukung program pemerintah di sektor emisi gas buang. Selain itu, tujuan dari studi ini adalah melakukan pengujian pada prototype unit *reactor* untuk mengetahui laju korosi akibat larutan NaOH pada reaktor di setiap *batch*.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, metode penelitian telah disusun ke dalam sebuah diagram alir. Metode penelitian digunakan sebagai pagar acuan dalam melaksanakan setiap prosesnya, guna memudahkan untuk menilai sejauh mana penelitian ini berlangsung.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini, metode penelitian telah disusun ke dalam sebuah diagram alir. Metode penelitian digunakan sebagai pagar acuan dalam melaksanakan setiap prosesnya, guna memudahkan untuk menilai sejauh mana penelitian ini berlangsung.

Penjelasan Langkah Kerja

1. Studi Literatur

Pengumpulan data pada tugas akhir ini dengan melakukan studi literatur jurnal, karya tulis, dan artikel terkait dengan topik produksi *Soda Ash* atau Natrium Karbonat (Na_2CO_3) untuk dapat dikembangkan baik dari segi perancangan unit maupun sistem pengoperasiannya. Selain penelitian sebelumnya, studi pustaka dari standar-standar industri juga dilakukan untuk penyesuaian unit agar bisa diimplementasikan di industri. Adapun tambahan informasi lainnya diperoleh dengan diskusi bersama pekerja PT Badak NGL maupun dosen pembimbing tugas akhir.

2. Penentuan Kondisi Operasi dan Kapasitas Unit

Penentuan kondisi operasi pada unit yang akan dibangun didasari kondisi di lapangan. *Flue gas* masukan dari *Boiler* modul 2 PT Badak NGL didapat dengan proses *sampling* sebesar 50 liter sehingga sistem operasi yang sesuai adalah *batching*. Pada 50 liter *sampling flue gas* tersebut diketahui kadar CO_2 sebesar 8% dengan kondisi tersebut ditentukan maksimum kapasitas unit sebesar 3 liter dengan mempertimbangkan unit dapat lebih *compact*.

3. Perancangan Unit

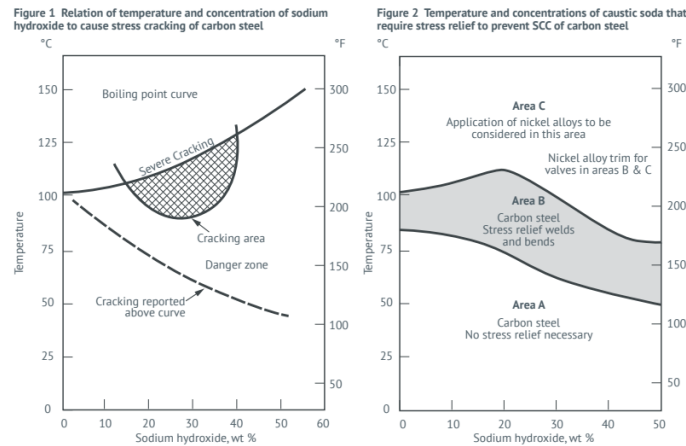
Desain perancangan part dan assembly part dari rancang bangun dilakukan menggunakan software drawing Autodesk Inventor. Hal ini ditujukan untuk memudahkan visualisasi dari rancang bangun serta

proses fabrikasi di Workshop LNG Academy dan bengkel induk MHE PT Badak NGL. Perancangan unit diawali penentuan proses yang akan dilakukan untuk menghasilkan produk. Serangkaian proses yang akan dilakukan berdasarkan hasil uji skala laboratorium. Terdapat 5 proses yang akan dilakukan, yaitu *filling*, *reacting*, *drain*, *evaporating*, dan *filtrating*. Pada unit ini terdiri dari 3 bejana tekan yang dihubungkan oleh sistem perpipaan.

4. Pemilihan Material

Pemilihan material pada unit ini merujuk pada jurnal "*Alloy Selection for Service in Caustic Soda*" di mana terdapat 2 material yang sesuai dengan parameter operasi sebagai batasannya dan dalam segi ekonomi masih bisa terjangkau.

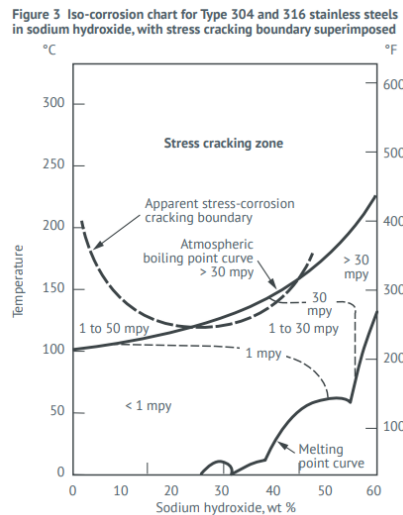
a. Carbon Steel



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Temperatur terhadap Korosi Carbon Steel (Nickel Institute, 2019)

Pada material ini berpotensi akan kehadiran *Stress Corrosion Cracking* (SCC). Dengan parameter konsentrasi NaOH berkisar pada 30% sampai dengan 40% dan temperatur pada Tanki mencapai 70 [C] lalu pada reaktor mencapai 80 [C] dan juga pada evaporator berkisar pada temperatur 100-110 [C], maka material carbon steel ini masih sesuai untuk digunakan pada tanki dengan catatan dilakukan PWHT (*Post Welding Heating Treatment*).

b. Stainless Steel



Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Temperatur terhadap Korosi Stainless Steel (Nickel Institute, 2019)

Pada material ini potensi terjadinya SCC diperkirakan tidak ada, namun general corrosion masih dapat hadir. Pada material ini limitasi yang terdapat pada material carbon steel tidak terjadi, sehingga range variabel yang akan diujikan dapat menjadi lebih beragam. Sehingga material ini dapat digunakan pada reaktor, evaporator dan juga *line pipe*.

5. Fabrikasi Unit

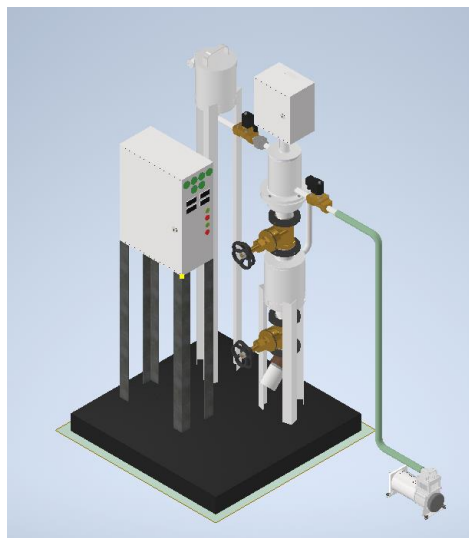
Fabrikasi dilakukan guna mewujudkan desain unit penjerapan CO₂ dengan metode NaOH yang akan dibuat. Fabrikasi akan dilakukan di Bengkel Induk PT Badak NGL (Main Heavy Equipment) dan di Workshop Training LNG Academy. Adapun tahapan fabrikasi yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

- Pemotongan material, pengeboran material, pembuatan ulir, dan pengelasan material.
- Perakitan Unit
- coating

6. Pengujian Unit

Prosedur pengujian perlu dilakukan untuk keperluan *quality control* maupun *quality assurance*. Pengujian berupa *non-destructive test* (NDT) pada bagian lasan agar tidak terdapat kebocoran yang terjadi, maupun bagian *shell*. Selain itu uji ketebalan dilakukan sebelum dan setelah pengoperasian unit, untuk menentukan laju korosi yang dihasilkan. Pengujian NDT yang dilakukan seperti visual tes, *dye penetrant test*, dan *ultrasonic test*.

3. PERANCANGAN UNIT



Gambar 3. Visualisasi 3D Unit Reaktor pada Aplikasi Autodesk Inventor 2021

Perhitungan Perencanaan

Pada tahap perhitungan terdapat beberapa hal yang dihitung seperti.

- Perhitungan Volume bejana tekan, dipertimbangkan pada reaktor dan tangki NaOH.

$$v = \frac{1}{4} \pi d^2 h \quad (1)$$

- Kenaikan tekanan akibat kenaikan temperatur.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

- Perhitungan ketebalan *shell* dari bejana tekan.

$$t_{shell} = \frac{PR}{SE-0,6P} + CA \quad (\text{ASME, 2019}) \quad (3)$$

- Perhitungan ketebalan *flat head* dari bejana tekan.

$$t_{head} = d \sqrt{\frac{CP}{SE}} + CA \quad (\text{ASME, 2019}) \quad (4)$$

- Perhitungan ketebalan *conical head* dari bejana tekan.

$$t_{head} = \frac{PD}{2 \cos \alpha (SE + 0,4P)} + CA \quad (\text{ASME, 2019}) \quad (5)$$

- Perhitungan ketebalan pipa.

$$t_{head} = \frac{PD}{2(SEW + P\gamma)} + CA \quad (\text{ASME, 2019}) \quad (6)$$

- Laju korosi.

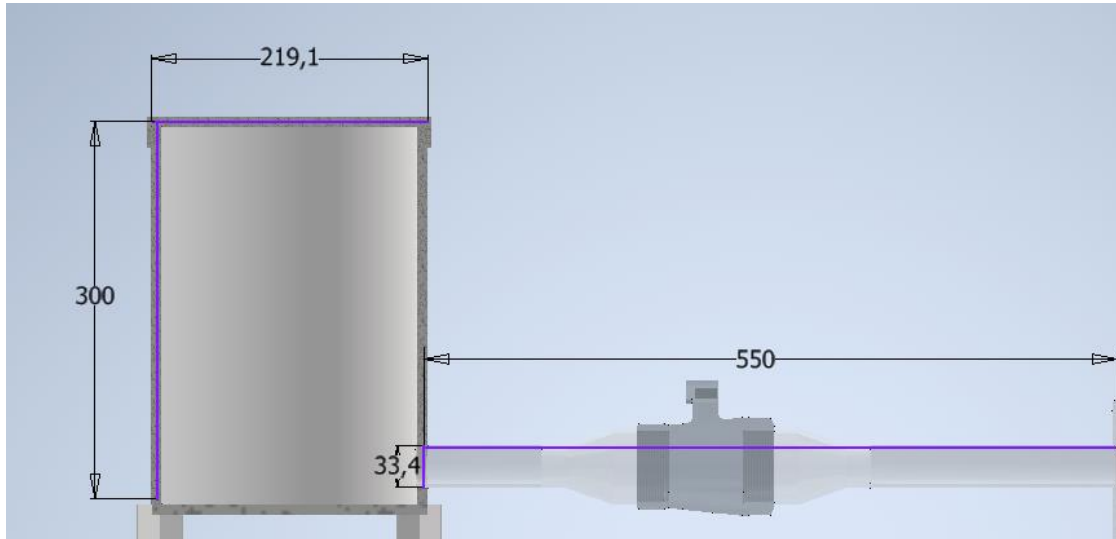
$$\text{Corrosion Rate} = \frac{\text{Initial Thickness} - \text{Actual Thickness}}{\text{time}} \quad (7)$$

8. *Lifetime*

$$\text{Lifetime} = \frac{\text{Corrosion Allowance}}{\text{Corrosion Rate}} \quad (8)$$

Hasil dari perhitungan diatas didapat dengan gambar berikut.

Perancangan Tangki NaOH dan *Line* NaOH



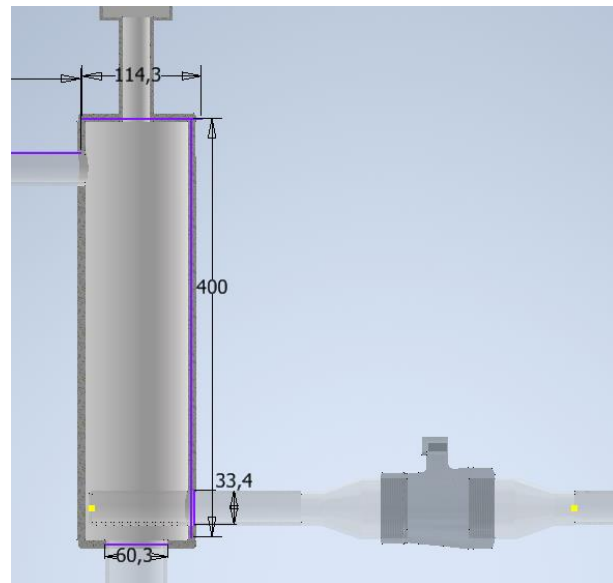
Gambar 4. Tangki NaOH dan *Line* NaOH

Tangki NaOH dan *line* NaOH ditunjukkan pada Gambar 4. Tangki yang akan dibangun merupakan tipe tangki terbuka yang bisa dibuka maupun ditutup. Kapasitas total dari tangki ini mencapai 13 liter. Penentuan kapasitas tangki ini didasari oleh pengisian larutan NaOH yaitu untuk 2 proses batch dalam sekali pengisian. Selain itu juga terdapat volume larutan NaOH yang tertinggal di dasar tangki dikarenakan nozzle menuju *line* NaOH berada 2,5 cm diatas dasar tangki. Sehingga didapat perhitungan yang tercantum pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan pada Tangki NaOH dan *line* NaOH

Perhitungan Pada Tangki NaOH dan <i>Line</i> NaOH			
Tekanan	1,14 [atm]	Ketebalan Head	10,53 [mm]
Volume (menyesuaikan reaktor)	3 liter	Ketebalan pipa NaOH	3,02 [mm]
Ketebalan Shell	3,39 [mm]		

Perancangan Reaktor dan *Line Flue Gas*



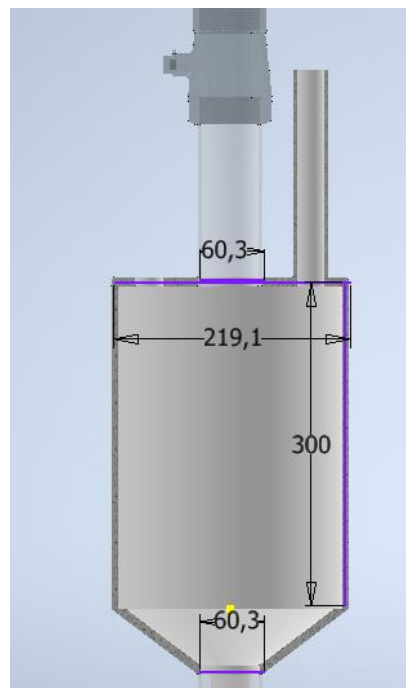
Gambar 5. Reaktor dan *Line Flue Gas*

Unit reaktor dan *line flue gas* ditunjukkan pada gambar 5. yang akan dibangun merupakan reaktor dengan tipe *batch* dengan kapasitas total reaktor 3,2 liter. Penentuan kapasitas dari reaktor didasari volume flue gas boiler yang masuk di setiap *batch*. Selain itu kadar CO₂ pada flue gas berkisar 8% sehingga volume dari larutan NaOH pada reaktor diharapkan dapat jenuh secara keseluruhan dengan mengikat CO₂ dari flue gas. Volume larutan NaOH yang masuk ke dalam reaktor sebesar 70% dari reaktor ditambah volume line drain sebelum melewati *gate valve*. Sehingga didapat perhitungan seperti yang tercantum pada tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Perancangan Reaktor dan *Line Flue Gas*

Perhitungan Perancangan Reaktor dan <i>Line Flue Gas</i>			
Volume	2,552 [liter]	Ketebalan <i>Shell</i>	3,13 [mm]
Tekanan Design	2 [atm]	Ketebalan <i>head</i>	5,9 [mm]
Tekanan Operasi	1,252 [atm]	Ketebalan <i>line flue gas</i>	3,02 [mm]
Tekanan Design <i>line flue gas</i>	2 [atm]		

Perancangan Evaporator dan *Line Drain*



Gambar 6. Evaporator dan *Line Drain*

Evaporator dan *line drain* dari unit ini yang ditunjukkan pada gambar 6 memiliki *bottom head* dengan tipe *conical*. Hal ini bertujuan untuk memudahkan produk mengalir ke bawah tanpa tersisa. *Evaporator* dirancang untuk bisa menahan variasi temperatur proses hingga 110 [C]. Adapun venting pada bejana tekan digunakan untuk *safety system* dan tempat keluaran uap air yang menjadi tujuan proses pada tahap *evaporating*. Besar potensi tekanan yang diakibatkan kenaikan temperatur hingga 110 [C]. Berikut perhitungan perancangan evaporator dan *line drain* tercantum pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Perancangan Evaporator dan *Line Drain*

Perhitungan Perancangan Evaporator dan <i>Line Drain</i>			
Tekanan design	1,2 [atm]	Ketebalan <i>Shell</i>	3,16 [mm]
Ketebalan <i>Conical Head</i>	3,275 [mm]	Ketebalan <i>Flat Head</i>	7,89 [mm]
Tekanan design <i>line drain</i>	1 [atm]	Ketebalan <i>line drain</i>	3,04 [mm]

Coating

Proses *coating* dilakukan pada bagian eksternal dari unit dengan material *carbon steel*. Untuk menghindari kontak langsung antara material dengan udara atau cairan secara langsung yang berakibat terjadinya korosi. Parameter yang diambil dalam pemilihan *coating* adalah tercantum pada tabel 4.

Tabel 4. Parameter Pemilihan *Coating*

Kota Bontang	
Kelembapan	95%
Tinggi wilayah di atas permukaan laut	0-10 [mdpl]

Spesifikasi *coating* yang digunakan mengacu pada *coating specification* PT Badak LNG. Berdasarkan parameter diatas jenis *coating* yang dipilih dengan peruntukan kondisi lingkungan *marine atmospheric*, dan temperatur operasi mencapai 90 [C]. Spesifikasi dari jenis *coating* tersebut tercantum pada tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Coating

Spesifikasi Coating	
Merek <i>coating</i>	International Paint
Temperatur Operasi	100 [C]
Komponen	Top
Binder	Polyurethane
<i>Supplier's reference</i>	Interthane 990
<i>Dry Film Thickness</i>	50-75 [μm]
<i>Volume of Solids</i>	57%
RH max	85%

Perhitungan Laju Korosi pada Reaktor

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode pengukuran pengurangan ketebalan dari reaktor akibat korosi. *Set point* operasi adalah *set point* optimal yang telah didapat dari uji skala lab, tercantum pada tabel 6.

Tabel 6. Set Point Operasi

Set Point Operasi	
Temperatur Reaktor	90 [C]
Molaritas larutan NaOH	15 molar

Pengambilan data ketebalan dilakukan sebelum proses *running* (*initial thickness*) keseluruhan dan setelah *running* (*actual thickness*). Data-data tersebut dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 7. Data Aktual *Thickness*

Spot Location		Spot Number				Least Point
		1	2	3	4	
<i>Sebelum Running</i>						
Head	H.01	6,10	6,10	6,20	6,10	6,10
	H.02	6,10	6,10			6,10
Shell	S.01	6,10	6,10	6,20	6,10	6,10
	S.02	6,10	6,10	6,10	6,10	6,10
	S.03	6,00	6,00	6,10	6,10	6,00
	S.04	6,00	6,10	6,00	6,10	6,00
<i>Setelah Running</i>						
Head	H.01	6,10	6,20	6,20	6,10	6,10
	H.02	6,10	6,20			6,10
Shell	S.01	6,10	6,10	6,00	6,10	6,00
	S.02	6,10	6,00	6,10	6,10	6,00
	S.03	6,00	6,00	6,10	6,00	6,00
	S.04	6,00	6,00	6,00	6,10	6,00

Dari pengambilan data tersebut masih belum terdapat korosi yang hadir akibat penggunaan material *stainless steel* A304 pada fluida larutan NaOH (basa kuat). Sehingga laju korosi belum bisa didapat dengan perhitungan. Namun berdasarkan *Alloy Selection for Service in Caustic Soda* (Nickel Institute, 2019) laju korosi dengan parameter temperatur 90 [C] dan konsentrasi NaOH sebesar 40% laju korosi sebesar 1 [mpy]. Maka dengan *corrosion allowance* sebesar 3 [mm], *Lifetime* atau umur dari unit reaktor mencapai 100 tahun.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Rancangan unit *reactor* penjerapan CO₂ dengan metode absorpsi NaOH, berhasil menjerap CO₂ dari *flue gas*. Dimana 97% CO₂ berhasil terjerap dan bereaksi membentuk natrium karbonat.
2. Perancangan dilakukan mengacu pada ASME Section 8 Divisi 1 dan fabrikasi dilakukan berdasarkan dimensi dari masing-masing bejana tekan serta mempertimbangkan pemasangan komponen instrumen dan listrik. Selain itu, proses fabrikasi mempertimbangkan biaya serta waktu yang tersedia. Pada pengujian NDT ditemukan cacat las berupa *undercut* dan *porosity*, yang kemudian dilakukan perbaikan dengan metode penambalan.
3. Laju korosi pada unit reaktor dengan parameter temperatur 90 [C] dan konsentrasi NaOH 40% adalah sebesar 1 [mpy] dan memiliki umur pakai mencapai 100 tahun dilihat dari segi ketebalannya.

REFERENSI

1. ASME. *ASME Section VIII Rules For Construction of Pressure Vessels Division 1*. New York: The American Society of Mechanical Engineers. (2019)
2. DJP. *Undang-Undang Harmonisasi Peraturan Perpajakan*. Indonesia: Direktorat Jenderal Pajak RI. (2021).
3. KESDM. *Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi*. Jakarta Pusat: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016).
4. KESDM. *Indonesia Energy Outlook 2019. Outlook Energi Indonesia 2019*, 72—78. (2019).
5. Nickel Institute. *Alloy Selection for Service in Caustic Soda*. 6—7. (2019).