

Recovery Argon pada Sistem Purifikasi Unit Air Separation untuk Efisiensi Penggunaan Hidrogen Pabrik Gas Industri

Mirza Faradila Balqis, Liwaul Wilayah, dan Danawati Hari Prajitno
Departemen Teknik Kimia Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: dana@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Crude argon didapatkan dari proses pemisahan gas udara pada industri Unit Air Separation. Dimana pada gas crude argon ini masih terdapat impurities berupa oksigen sebanyak 1,1%. Pada proses purifikasi crude argon ini membutuhkan bahan baku tambahan berupa gas hidrogen untuk menurunkan impuritas oksigen dengan mereaksikan gas hidrogen dengan gas oksigen yang terdapat pada crude argon sehingga hasil dari reaksi tersebut berupa Air (H_2O) dan gas yang keluar dari hasil reaksi merupakan gas argon murni. Semakin tinggi impurities oksigen maka akan semakin banyak gas hidrogen yang diinjeksikan. Untuk memisahkan gas oksigen diperlukan kolom reflux dan kondensor. Akan tetapi, karena proses pemisahan hanya dilakukan satu kali sehingga kurang maksimal dalam proses pemisahan argon. Oleh karena itu dibutuhkan modifikasi pada proses pemisahan argon yaitu dengan melakukan penambahan alat kolom argon jenis packed column untuk memaksimalkan pemisahan oksigen dari crude argon. Modifikasi penambahan alat ini dapat menghemat cost untuk kebutuhan gas hidrogen pada kondisi eksisting sebesar 4.639 m^3 /bulan menjadi 1,053 m^3 /bulan setelah modifikasi. Berdasarkan analisa ekonomi, didapatkan net income pabrik pada kondisi eksisting sebesar Rp4.952.087.098 dan setelah dilakukan optimasi sebesar Rp13.737.583.827. Sehingga keuntungan perusahaan mengalami pertambahan sebesar Rp8.785.496.729 setiap tahunnya.

Kata Kunci—Crude Argon, Purifikasi, Air Separation.

I. PENDAHULUAN

ARGON merupakan gas mulia yang penting dalam berbagai aplikasi industri dan ilmiah. Beberapa contoh penggunaan gas argon di bidang industri yaitu digunakan sebagai gas pelindung dalam proses pengelasan untuk melindungi logam dari oksidasi [1]. Liquid argon juga digunakan sebagai pendingin dalam aplikasi penyimpanan dan transportasi bahan beku, seperti nitrogen cair dan helium cair, argon juga digunakan dalam industri pengolahan kaca, pengujian kebocoran, pengeringan insulasi termal, dan lain-lain. Hal ini dikarenakan Argon memiliki sifat inert, tidak mudah bereaksi dengan bahan kimia lainnya, tidak beracun, dan memiliki titik didih yang sangat rendah sehingga dapat digunakan dalam proses penyulingan dan pendinginan [2].

Unsur argon berasal dari proses pemisahan udara atmosfer, udara atmosfer tersebut merupakan suatu campuran yang terdiri dari berbagai jenis gas yaitu nitrogen, oksigen, dan argon dengan komposisi masing masing 78,11%, 20,96% dan 0,93% Sehingga dalam keadaan alami gas argon sering tercampur dengan berbagai gas pengotor gas lain seperti nitrogen, oksigen, dan hidrogen. Kandungan gas pengotor tersebut dapat mempengaruhi sifat dan kualitas argon. Diperlukan adanya proses pemurnian yang bertujuan untuk memperoleh argon dengan kemurnian yang sangat tinggi.

Air Separation merupakan industri yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen gas dari udara atmosfer, termasuk nitrogen, oksigen, argon, dan gas-gas lainnya. Salah satu tujuan utama dari proses Unit Air Separation adalah untuk memproduksi argon murni yang berkualitas tinggi, yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Dalam proses Unit Air Separation, gas udara dipisahkan melalui serangkaian tahap yang melibatkan pemampatan, pendinginan, pemisahan, dan pemurnian [3]. Hasil akhir dari proses ini berupa liquid argon murni dengan impurities sekecil mungkin dan memenuhi standar kualitas tertentu.

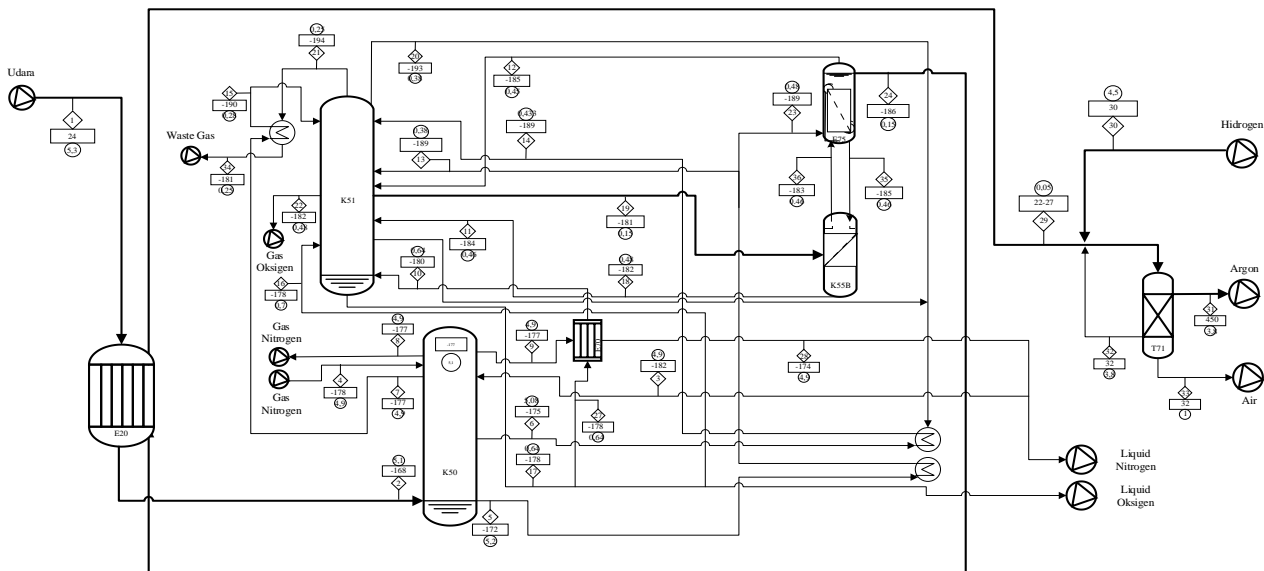
Pada proses pemurnian Argon, dilakukan proses pemisahan gas argon dari oksigen. Hasil dari proses pemisahan ini dinamakan Crude argon. Pada beberapa kasus, Crude argon yang dihasilkan masih mengandung impurities, terutama oksigen. Kehadiran impurities oksigen dalam crude argon memiliki dampak negatif pada kualitas produk akhir dan juga efisiensi proses pemurnian. Salah satunya, pada reaktor deoxo tower, kolom terjadinya reaksi antara oksigen dengan hidrogen yang diinjeksikan. Semakin tinggi oksigen maka semakin tinggi pula injeksi hidrogen sehingga cost yang diperlukan untuk kebutuhan hidrogen semakin besar.

Selain itu, Oksigen yang terlalu tinggi pada Crude argon dapat menyebabkan deoxo tower terbakar karena terjadinya overreaction antara oksigen dengan hidrogen. Untuk meminimalisir impurities oksigen dalam crude argon, perlu dilakukan recovery pada sistem purifikasi argon dalam Unit Air Separation. Hal tersebut dapat dilakukan dengan melakukan penambahan kolom argon kemudian mengatur kondisi operasi pada proses yang diinginkan. Dengan melakukan recovery sistem purifikasi argon, impurities oksigen dalam crude argon dapat diminimalisir hal ini akan meningkatkan kualitas argon murni yang dihasilkan dan dapat mengefisiensi penggunaan hidrogen. Gambar 1 merupakan proses flow diagram unit air separation eksisting.

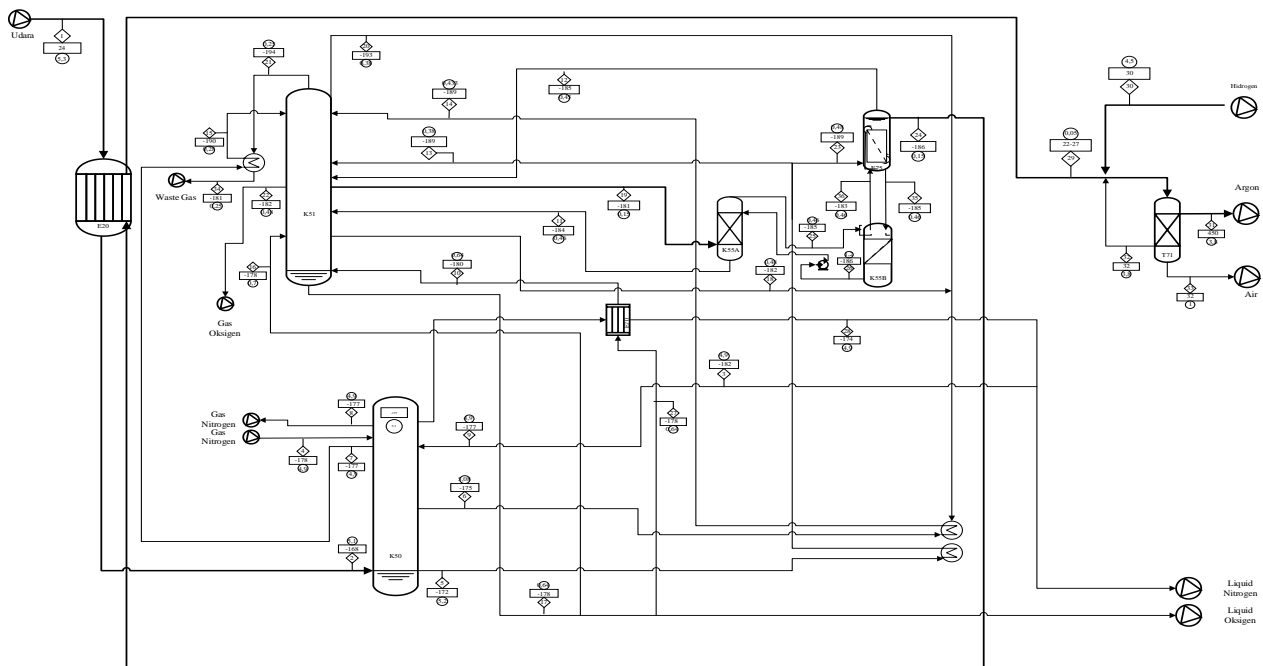
A. Kondisi Eksisting

Dalam upaya peningkatan kualitas liquid argon, pemurnian argon diperlukan dengan menggunakan proses distilasi fraksionasi, yaitu proses distilasi dengan memperhatikan titik didih setiap komponen penyusunnya. Dalam kolom distilasi fraksionasi, komponen penyusun yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu kemudian disusul oleh komponen yang memiliki titik didih yang lebih tinggi.

Pada unit pemisahan Unit Air Separation selain terdapat kolom distilasi juga terdiri dari kolom kondensor dan kolom reflux yang berfungsi sebagai awal mula proses pemisahan argon. Produk dari Low Pressure Distillation Column (K51) berupa vapor dan liquid dengan suhu $-182^{\circ}C$ memasuki kolom reflux crude argon (K55) dimana liquid tersebut



Gambar 1. Proses Flow Diagram Unit Air Separation Eksisting.



Gambar 2. Proses Flow Diagram Unit Air Separation Modifikasi.

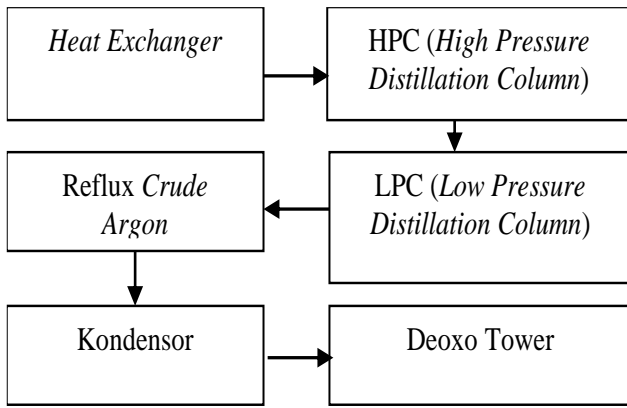
Tabel 1.
Neraca Massa Unit Air Separation Sesudah Modifikasi

Aliran	19		11		25		24		26	
	Fraksi	Massa (kg)	Fraksi	Massa (kg)	Fraksi	Massa (kg)	Fraksi	Massa (kg)	Fraksi	Massa (kg)
N ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₂	0,9	5.397,12	0,9474	5.505,5	0,007	42,9184	0,001	0,19	0,0084	49,943
Ar	0,1	749,6	0,0526	382,086	0,993	7.610,352	0,999	231,77	0,9916	7.369,57
Total	1	6.124	1	5.887,62	1	7.653,27	1	231,95	1	7.419,5

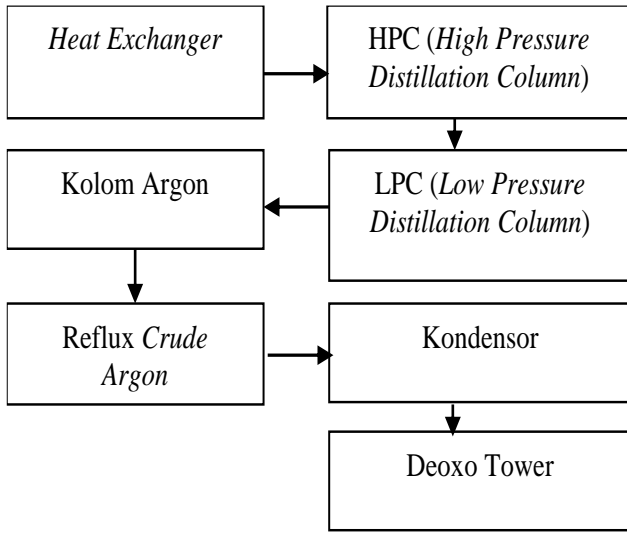
dikembalikan lagi ke kolom distilasi (K51). Vapor naik ke atas memasuki kolom kondensator (E75), pendinginnya berasal dari rich liquid High Pressure Distillation Column (K50).

Pada kolom kondensator (E75), vapor dari kolom reflux argon didinginkan hingga -185° C agar sebagian vapor mengembun dan kembali ke reflux. Vapor merupakan gas oksigen yang mengembun karena melewati dew point oksigen sebesar -183° C. Oksigen mengembun dan menjadi liquid. Vapor tersisa di kolom kondensator disebut gas crude argon, kemudian dilakukan proses pemurnian lebih lanjut

yaitu mereaksikan gas oksigen dalam crude argon dengan gas hidrogen pada reaktor deoxo tower (T71) untuk mengurangi impurities oksigen dalam argon. Injeksi gas hidrogen yang digunakan tergantung seberapa banyak impurities oksigen dalam crude argon. Oleh karena itu, impurities dalam crude argon harus ditekan seminimal mungkin agar dapat mengurangi kebutuhan gas hidrogen selama proses pemurnian argon. Berdasarkan kondisi operasi tersebut total pemakaian gas hidrogen saat ini sekitar 4.639 m³ setiap bulannya. Gambar 2 merupakan proses flow modifikasi.



Gambar 3. Proses Produksi Sebelum Modifikasi.



Gambar 4. Proses Produksi Setelah Modifikasi.

B. Rencana Optimasi

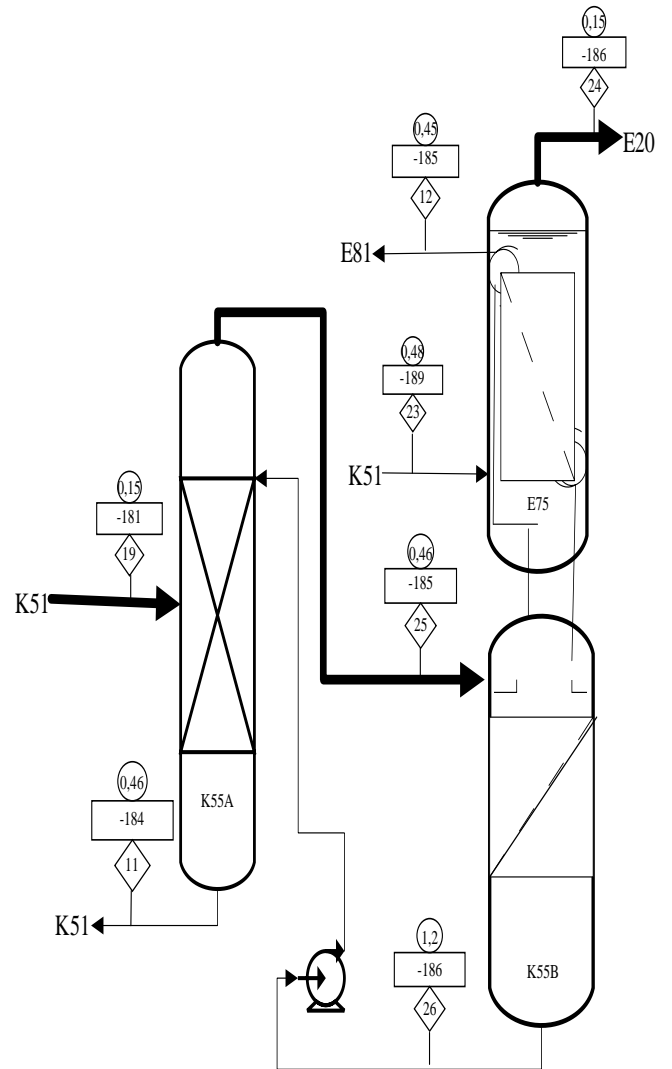
Proses purifikasi *crude argon* dengan penambahan kolom argon (K55A) dilakukan untuk mengoptimalkan proses purifikasi argon dan mengurangi penggunaan hidrogen sehingga *cost* pada proses produksi argon lebih rendah. Hal ini dilakukan menggabungkan antara proses produksi liquid argon secara konvensional dengan modern. Prinsip kerja kolom argon hampir sama dengan prinsip distilasi yaitu pemisahan komponen berdasarkan vapor pressure dan titik didih dari komponen yang akan dipisahkan. Jenis kolom yang digunakan yaitu *packed column* hal tersebut dilakukan karena penurunan tekanan pada *packed column* rendah sehingga konsumsi daya pada *packed column* juga lebih rendah [4].

Feed masuk ke kolom argon (K55A) berupa vapor-liquid dengan campuran argon-oksigen yang berasal dari K51, kemudian terjadi proses pemisahan menjadi cairan yang mengalir kebagian bawah kolom semakin kaya akan oksigen sedangkan gas naik kaya akan argon, hal tersebut terjadi karena perbedaan *dew point* antara argon (-185°C) dengan oksigen (-183°C) dimana komponen yang memiliki *dew point* lebih rendah akan lebih dulu berubah menjadi liquid sedangkan komponen yang lain masih tetap dalam fase gas.

Gas *crude argon* yang dihasilkan di argon (K55A) dialirkan ke reflux *crude argon* (K55B) dan dikondensasi pada argon kondensor (E75) sehingga terjadi perubahan fasa komponen. Oksigen yang masih terdapat pada *crude argon* berubah fasa menjadi liquid dan dialirkan menuju reflux *crude argon* (K55B) sedangkan argon tetap berupa gas dan berada pada bagian atas kondensor (E75). Liquid yang kaya

Tabel 2.
Neraca Massa Eksisting dan Modifikasi

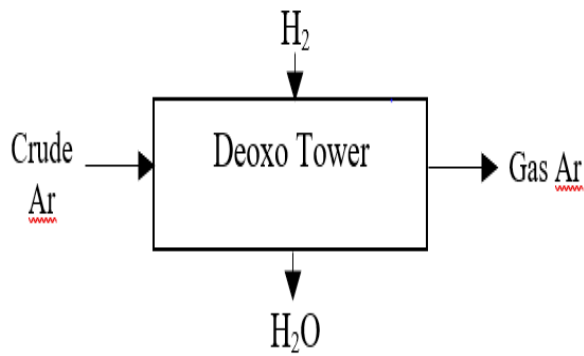
Proses	Eksisting		Modifikasi	
	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Distilasi (HPC)	41.819	41.819	41.819	41.819
Distilasi (LPC)	65.694	65.694	65.694	65.694
Kolom Argon	-	-	13.544	13.544
Reflux <i>Crude Argon</i>	7.451	7.451	8.980	8.980
Kondensor	8.427	8.427	8.429	8.429
Deoxo Tower	231,7	231,7	231,9	231,9



Gambar 5. Modifikasi Kolom Argon *Packed column*.

akan oksigen pada bagian bawah reflux *crude argon* (K55B) dapat digunakan sebagai pendingin pada kolom argon (K55A) sehingga proses purifikasi dapat bekerja semaksimal mungkin dan gas *crude argon* yang dihasilkan minim akan oksigen. Gas *crude argon* yang berada pada kondensator (E75) akan dilanjutkan pada proses purifikasi argon selanjutnya.

Proses purifikasi argon dilakukan penambahan hidrogen agar terjadi reaksi antara oksigen (O₂) yang masih terdapat pada *crude argon* dengan hidrogen (H₂) menjadi air (H₂O). Reaksi tersebut terjadi pada *deoxo tower* (T71) dengan bantuan katalis palladium untuk mempercepat reaksi yang terjadi. Dengan dilakukannya penambahan kolom argon (K55A) diharapkan *impurities* oksigen yang terdapat pada



Gambar 6. Kolom Reaksi antara Oksigen dengan Hidrogen.

Tabel 3. Perhitungan Neraca Massa Argon Kolom

Aliran	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Komponen	19	26	11	25
N ₂	0	0	0	0
O ₂	5.487	50	5.494	43
Ar	637	7.369	396	7.610
Total	6.124	7.419	5.890	7.653
	13.544		13.544	

crude argon mendekati kondisi desain yaitu sebesar 0,1%. Hal tersebut dapat mengurangi kebutuhan hidrogen yang akan direaksikan dengan oksigen pada crude argon.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Kasus

Penelitian ini diambil dari sebuah permasalahan di industri dalam upaya pengurangan bahan pendukung berupa gas hidrogen sebagai reaktan untuk mengurangi *impurities* oksigen dalam *Crude argon* pada proses Purifikasi Liquid Argon. Permasalahan ini diakibatkan unit kolom pemisah argon yang digunakan juga kurang maksimal, sehingga perlu adanya kajian untuk mengurangi penggunaan bahan pendukung gas hidrogen pada *Crude argon* di Proses Purifikasi Argon. Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan pengkajian terhadap permasalahan yang terjadi pada objek yang akan diteliti. Kemudian, setelah mengkaji permasalahan tersebut dapat dilanjutkan dengan menentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang dibatasi dengan batasan permasalahan agar berfokus pada masalah yang akan diteliti.

B. Studi Literatur

Tahap berikutnya dalam mendapatkan data yang mendukung penyelesaian penelitian ini adalah studi literatur. Data yang diperoleh meliputi teori, teknik, peraturan, dan standar. Studi literatur dapat dilakukan dengan membaca buku, artikel ilmiah, makalah, peraturan, dan standar yang berkaitan dengan topik penelitian ini. Rujukan dan basis penelitian ini bergantung pada informasi tersebut.

C. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah selanjutnya setelah dilakukan studi literatur. Untuk penelitian ini, diperlukan studi literatur dan data aktual sebagai referensi, dukungan, dan dasar untuk perhitungan yang akan dilakukan. Data yang

Tabel 4. Kebutuhan Gas Hidrogen

Uraian	Eksisting	Modifikasi
Gas H ₂ (m ³)	4.639	1,053
Biaya H ₂ (Rp)	111.336.000	23.155

Tabel 5. Analisa Ekonomi Perusahaan Selama tahun 2023-2025

	Per 31 Desember		
	2023	2024	2025
Sales Revenue	Rp60.588.000.000	Rp60.588.000.000	Rp60.588.000.000
Variable Costs	Rp42.136.032.000	Rp30.144.748.168	Rp30.144.748.168
Fixed Costs	Rp9.403.138.387	Rp9.630.964.874	Rp9.630.964.874
Depreciation	Rp2.700.000.000	Rp3.200.000.000	Rp3.200.000.000
Earnings Before Interest and Tax (EBIT)	Rp6.348.829.613	Rp17.612.286.958	Rp17.612.286.958
Taxes	Rp1.396.742.515	Rp3.874.703.131	Rp3.874.703.131
Installation	-	Rp4.834.788.645,37	-
Net Income	Rp4.952.087.098	Rp4.451.397.591	Rp13.737.583.827
BEP	0,5096	0,3164	
POT	284%		

perlu dikumpulkan adalah sebagai berikut; (1) Temperatur keluar dan masuk dari *crude argon*; (2) Temperatur pada kolom distilasi, (3) Komposisi setiap komponen pada seluruh aliran kolom distilasi; (4) Komposisi *crude argon*; (5) Temperatur dan Tekanan pada kolom kondensor, (6) Tekanan pada kolom distilasi; (7) Tekanan pada kolom reflux argon; (8) Harga gas hidrogen; (9) Harga liquid argon, (10) Biaya produksi perusahaan.

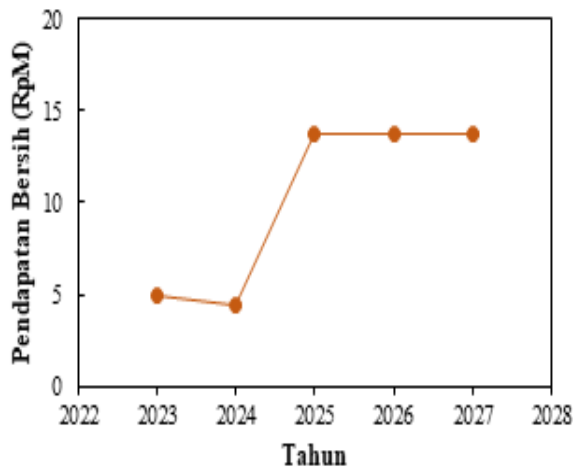
D. Analisa dan Pengolahan Data

Tahapan ini dilakukan setelah mendapatkan data yang diperlukan untuk keperluan penelitian. Dimana data yang telah didapat kemudian diolah untuk mendapatkan hasil yang diinginkan salah satunya yaitu untuk menghitung neraca massa. Neraca massa yang dihitung mencakup unit pemisahan dan pemurnian argon. Kemudian dari hasil neraca massa tersebut dianalisa dan dibandingkan antara neraca massa dengan kondisi eksisting pabrik dengan neraca massa yang telah di modifikasi dengan penambahan alat berupa *Packed column*. Berdasarkan perhitungan neraca massa tersebut akan didapatkan data berupa kebutuhan injeksi gas hidrogen untuk proses purifikasi argon. Dari data ini kemudian digunakan sebagai salah satu parameter untuk tahap berikutnya yaitu analisa ekonomi.

Setelah mendapatkan data neraca massa lalu dilakukan analisa ekonomi. Analisa ekonomi ini dimulai dengan perhitungan *cost* untuk biaya penambahan alat, biaya produksi dan pendapatan bersih pabrik. Selain itu, dilakukan juga perhitungan mengenai biaya kebutuhan bahan baku berupa gas hidrogen. Sehingga diperoleh hasil perhitungan analisa ekonomi dan dapat dibandingkan analisa ekonomi dengan penambahan alat yang dapat mengurangi biaya bahan baku dengan analisa ekonomi eksisting sebelum ditambahkan

Tabel 6.
Estimasi Pendapatan Bersih Perusahaan

Tahun	Pendapatan Bersih (Rp/Tahun)
2023	4.952.087.098
2024	4.451.397.591
2025	13.737.583.827
2026	13.737.583.827
2027	13.737.583.827



Gambar 7. Grafik Estimasi Pendapatan Bersih Perusahaan per Tahun.

alat. Dari analisa ini diharapkan dengan penambahan alat dapat menekan biaya kebutuhan bahan baku gas hidrogen untuk kebutuhan proses produksi purifikasi argon. Selain itu juga diharapkan dapat meningkatkan kemurnian produk Liquid Argon. Tabel 1 merupakan neraca massa unit *air separation* sesudah modifikasi.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Permasalahan

Proses purifikasi Unit *Air Separation* terutama pada proses produksi liquid argon membutuhkan bahan pendukung berupa hidrogen. Hidrogen digunakan untuk mereaksikan oksigen yang terdapat pada *crude argon* menjadi argon murni, reaksi tersebut terjadi di deoxo tower dan menghasilkan produk samping berupa air. Penggunaan hidrogen pada proses purifikasi argon selama sebulan yaitu sebesar 4.369 m³ sehingga biaya yang dikeluarkan untuk hidrogen terbilang cukup tinggi. Oleh karena itu, perlu adanya penambahan alat untuk proses purifikasi argon untuk menghasilkan produk liquid argon lebih murni dan mengurangi penggunaan hidrogen. Gambar 3 merupakan proses produksi sebelum modifikasi. Penambahan alat pada proses produksi argon setelah proses pemisahan gas udara di kolom LPC dan sebelum dialirkan pada reflux *crude argon*. Gambar 4 merupakan proses produksi setelah modifikasi. Tabel 3 merupakan perhitungan neraca massa argon kolom.

B. Perhitungan Neraca Massa

Tabel 2 merupakan neraca massa pada Unit *Air Separation* yang dihitung dari proses pemisahan udara di alat distilasi. Modifikasi dilakukan dengan penambahan alat berupa Kolom Argon (K55A) jenis *Packed column* yang diletakkan sebelum Reflux *Crude Argon* (K55B) dan sesudah kolom LPC (K51). Berdasarkan Neraca Massa tersebut, laju alir yang dihasilkan

setelah modifikasi lebih besar dibandingkan sebelum modifikasi. Semakin besar laju alir maka suhu produk akan semakin dingin. Hal ini dikarenakan terjadinya *liquid hold up* [5]. Laju alir yang tinggi dibutuhkan untuk mendinginkan kolom sehingga akan mempercepat proses pengembunan. Pendinginan ini juga perlu diperhatikan karena *dew point* dari oksigen dan argon yang cukup berdekatan.

C. Efisiensi dan Optimasi Proses Purifikasi Argon

Pada optimasi proses purifikasi argon, *Packed column* ditambahkan untuk menaikkan komposisi argon dari produk kolom distilasi bagian tengah (K51). Aliran yang keluar dari kolom argon (K55A) tersebut berupa gas *crude argon* dan masuk ke reflux *crude argon* (K55B). Sehingga gas *crude argon* tersebut dilakukan proses pemurnian sebanyak dua kali sebelum masuk ke proses purifikasi selanjutnya. Dimana pada kondisi eksisting *impurities* oksigen sebanyak 1,1% kemudian diturunkan menjadi 0,1%. Dari penurunan tersebut berdampak pada proses selanjutnya yaitu pengurangan *impurities* oksigen dengan cara direaksikan dengan gas hidrogen. Semakin banyak *impurities* gas oksigen di dalam gas *crude argon* maka semakin sedikit injeksi gas hidrogen untuk menghilangkan *impurities* oksigen tersebut. Dengan demikian *cost* dapat ditekan seminim mungkin. Gambar 5 merupakan modifikasi kolom argon *packed column*. Gambar 6 merupakan modifikasi kolom argon *pocked column*.

Setelah dilakukan penambahan kolom argon, kebutuhan bahan baku gas hidrogen pada proses purifikasi mengalami penurunan yang signifikan sehingga dapat mengurangi biaya pembelian gas hidrogen. Tabel 4 menunjukkan kebutuhan gas hidrogen.

D. Analisa Ekonomi

Tahapan yang terakhir yaitu melakukan perhitungan dan analisa ekonomi setelah dilakukannya optimasi pada proses purifikasi argon. Hal ini ditinjau dari jumlah penggunaan hidrogen setelah dilakukan optimasi dan juga harga dari hidrogen. Dari analisa ekonomi ini maka dapat diketahui penghematan biaya setelah dilakukan optimasi.

Asumsi dan ketentuan yang digunakan dalam perhitungan analisa ekonomi ini antara lain :

1. Kapasitas produksi adalah 153.436.852,80 kg/tahun
2. Jumlah hari kerja adalah 330 hari/tahun
3. Pengadaan alat dilakukan pada tahun 2023 dengan masa konstruksi selama enam bulan pada tahun 2024
4. Pabrik kembali beroperasi pada tahun 2025
5. Situasi pasar, biaya dan lain lain diperkirakan stabil selama pabrik beroperasi

Nilai BEP (*Break Even Point*) perusahaan sebelum dan sesudah penambahan alat mengalami penurunan. Hal tersebut menunjukkan bahwa keuntungan lebih cepat didapatkan setelah mencapai titik impas [6]. Analisis ekonomi perusahaan tidak hanya dilihat dari nilai BEP akan tetapi juga dapat dilihat dari POT [7]. Nilai POT yang dihasilkan yaitu 284% berarti perusahaan mendapatkan pendapatan bersih 284% dari total aset yang dimiliki.

Gambar 7 merupakan pendapatan bersih perusahaan pada tahun 2024 mengalami penurunan cukup besar. Hal tersebut terjadi karena tahun 2024 merupakan masa konstruksi dimana terdapat biaya yang perlu dikeluarkan perusahaan untuk pemasangan kolom argon. Walaupun demikian, masih terdapat pendapatan bersih yang didapat perusahaan selama

masa konstruksi yaitu sebesar Rp4.451.397.591. Tabel 5 menunjukkan analisa ekonomi perusahaan selama tahun 2023-2025.

Pada masa produksi ditahun selanjutnya, perusahaan memperoleh pendapatan bersih sebesar Rp13.737.583.827 dimana hal tersebut mengalami peningkatan sebesar Rp8.785.496.729 dari pendapatan bersih ditahun sebelum dilakukannya penambahan argon kolom. Tabel 6 menunjukkan estimasi pendapatan bersih perusahaan.

IV. KESIMPULAN

Dengan dilakukannya penambahan kolom argon pada proses purifikasi, berdampak pada *impurities* oksigen pada *crude argon* dan penggunaan hidrogen yang mengalami penurunan. Perbandingan *impurities* oksigen dalam *crude argon* sebelum dilakukan penambahan kolom argon yaitu sebesar 1,1% dan setelah dilakukan penambahan kolom argon sebesar 0,00063%. Dengan demikian, biaya yang dikeluarkan untuk proses purifikasi argon dapat berkurang secara signifikan sebesar Rp111.336.000/bulan.

Meskipun pada proses instalasi kolom argon membutuhkan biaya yang besar Rp4.451.397.591 pengembalian dari investasi awal tersebut terbilang cepat yang ditunjukkan oleh POT 284%. Setelah dilakukan

penambahan kolom argon, pendapatan bersih perusahaan mengalami peningkatan sebesar Rp8.785.496.729.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. Yudo, Hartono and Mulyatno, "Pengaruh penggunaan gas pelindung argon grade A dan grade C terhadap kekuatan tarik lasan sambungan butt pada material kapal aluminium 5083," *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, vol. 5, pp. 181-190, 2008.
- [2] A. H. A. Utomo, Nugroho Waluyo and Rasyid, "Pengaruh komposisi backing gas argon 99% dan gas H₂N₂ 20%-80% pada proses pengelasan GTAW dengan material stainless steel SA 312 TP 304 terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [3] B. Xiong, Yong Qiang and Hua, "Simulation and analysis of cryogenic air separation process with LNG cold energy utilization," *Advanced Materials Research*, vol. 881, pp. 653-658, 2014.
- [4] A. Fu, Qian and Kansha, Yasuki and Song, Chunfeng and Liu, Yuping and Ishizuka, Masanori and Tsutsumi, "A cryogenic air separation process based on self-heat recuperation for oxy-combustion plants," *Applied Energy*, vol. 162, pp. 1114-1121, 2016.
- [5] M. Maulizar, Andri Riski and Putra, Alfian and Yunus, "Optimasi laju alir tri-ethylene glycol terhadap efisiensi penyerapan air pada kolom absorpsi di pt. pertamina hulu energi," *Jurnal Teknologi*, vol. 23, no. 1, pp. 7-12, 2023.
- [6] H. Maruta, "Analisis break even point (BEP) sebagai dasar perencanaan laba bagi manajemen," *Jurnal Akuntansi Syariah*, vol. 2, no. 1, pp. 9-28, 2018.
- [7] N. S. Manuho, Priskila and Makalare, Zevania and Mamangkey, Trixie and Budiarto, "Analisis break even point (BEP)," *Jurnal Ipteks Akuntansi Bagi Masyarakat*, vol. 5, no. 1, pp. 21-28, 2021.