

Evaluasi *High Temperature Shift* (HTS) Converter pada Pemurnian Pabrik Amonia Berdasarkan Konversi CO

Dennis Farina Nury^{1,2*}, Dikri Uzlifah Janah³, Vira Fitriyani⁴, Riyadi Fikri⁵, Muhammad Zulfikar Luthfi⁶

^{1,3,4} Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Jalan Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan, 35365

^{2,6} Program Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Jalan Raya Karang Bolong, Cikoneng, Kecamatan Anyar, Kabupaten Serang, Banten, 42166

⁵PT. Pupuk Sriwidjaja, Jalan Mayor Zen, 30115, Palembang, Sumatera Selatan

*dennis.farina@poltek-petrokimia.ac.id

Diterima: 29 05 2024

Direvisi: 02 07 2024

Disetujui: 29 07 2024

ABSTRAK

Pada proses pembuatan amonia salah satunya ialah *shift converter* yang berfungsi untuk mengonversi kandungan CO menjadi CO₂. Di dalam *shift converter* terdiri dari HTS (*High Temperature Shift Converter*) dan LTS (*Low Temperature Shift Converter*). Kinerja HTS harus dievaluasi secara terus menerus agar tidak menyebabkan kerusakan pada unit purifikasi atau yang lainnya dan menghasilkan produk yang optimal, maka perlu dilakukan kajian mengenai alat tersebut dengan cara menghitung nilai kinerja alat *High Temperature Shift* dengan cara membandingkan nilai data desain dengan nilai data aktual. Penelitian ini dilakukan selama 6 minggu dari bulan Juli sampai Agustus 2023 dan merupakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif. Data kuantitatif dikumpulkan melalui pengamatan secara langsung pada alat *High Temperature Shift* (HTS) Converter (104-D1) di Unit Amonia Pabrik PT. Pupuk Sriwidjaja II-B. Dari hasil perhitungan didapatkan seluruh konversi CO secara aktual pada bulan Juli sampai Agustus 2023 melebihi data desain yaitu >70%, sedangkan konversi CO secara desain 69,208%. Secara aktual, konsentrasi CO yang keluar sudah lebih kecil daripada desain. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja HTS dalam mengubah CO menjadi CO₂ dalam kondisi baik.

Kata kunci: amonia, *high temperature shift converter*, kondisi optimum, konversi, purifikasi

ABSTRACT

One of the processes in making ammonia is a shift converter which functions to convert CO content into CO₂. The shift converter consists of HTS (High Temperature Shift Converter) and LTS (Low Temperature Shift Converter). The performance of the HTS must be evaluated continuously so as not to cause damage to the purification unit or others and produce optimal products, so it is necessary to study the tool by calculating the performance value of the High Temperature Shift tool by comparing the design data values with the actual data values. This research was conducted from July to August 2023. This research is a type of quantitative descriptive research. Quantitative data was collected through direct observation on the High Temperature Shift Converter (104-D1) at the Ammonia Unit of the PT. Pupuk Sriwidjaja II-B Factory. From the calculation results, it was found that all actual CO conversions from July to August 2023 exceeded the design data, namely >70%, while the design CO conversion was 69.208%. In fact, the CO concentration that comes out is already smaller than the design. From the study, it can be concluded that the performance of HTS in converting CO to CO₂ is in good condition.

Keywords: ammonia, conversion, high temperature shift converter, optimum, purification

PENDAHULUAN

Industri pupuk memegang peranan strategis yang penting dalam mendorong aktivitas ekonomi khususnya di bidang pertanian. Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang mengkonsumsi pupuk dalam jumlah besar untuk kegiatan pertanian. Salah satu jenis pupuk yang sering digunakan dalam pertanian adalah pupuk urea. Pupuk dengan rumus kimia $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ini termasuk dalam jenis pupuk kimia yang mengandung senyawa nitrogen (N) dalam konsentrasi yang tinggi dan mudah larut dalam air [1]. Pupuk urea diproduksi dengan mereaksikan amonia dari unit amonia dengan gas CO_2 yang sebagai produk samping di unit amonia [2]. Berdasarkan data dari Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI), urea merupakan pupuk anorganik dengan produksi tertinggi dibandingkan pupuk anorganik lainnya, mencapai 1,1 ton pada tahun 2021 [1].

Urea diproduksi melalui reaksi antara gas karbon dioksida dan amonia, yang diambil dari pabrik amonia. Gas sintesis (*syngas*) yang terdiri dari campuran hidrogen dan nitrogen memainkan peran sentral dalam produksi amonia. *Syngas* dihasilkan dari proses katalitik gas alam dengan uap air serta oksidasi sebagian lagi dalam reformer menggunakan katalis nikel. Pembentukan *syngas* meliputi dua tahap, yaitu *primary reforming* dan *secondary reforming* yang menghasilkan hidrogen, karbon dioksida, dan karbon monoksida [1]. Komponen gas hasil dari *secondary reformer* terdiri dari H_2 , N_2 , CO , CO_2 , Ar, dan CH_4 , dimana gas CO tidak diinginkan karena dapat merusak katalis pada *converter* amonia, sehingga perlu dilakukan penghilangan sebelum masuk ke proses [3]. Sementara gas *inert* seperti Ar dan CH_4 dapat digunakan ulang sebagai bahan bakar pada *primary reformer*. Proses pencucian gas H_2 dan N_2 penting dilakukan untuk memastikan produksi amonia memenuhi spesifikasi produk yang diinginkan.

Salah satu metode yang dapat diimplementasikan adalah melakukan konversi *shift* pada gas CO agar berubah menjadi CO_2 , kemudian dapat diubah kembali melalui proses *methanator*. Konversi *shift* pada CO dilakukan dalam HTS dan LTS *converter* yang berlokasi di pabrik amonia. Memperbaiki kondisi HTS akan meningkatkan konversi dan juga memperkuat kinerja LTS dalam mengubah CO . Kinerja bed katalis di HTS *converter* harus dijaga agar dapat mengubah CO secara efisien sehingga tidak ada lagi CO yang tetap ada saat mencapai amonia *Converter*. Adanya CO dalam proses sintesis amonia memiliki dampak negatif karena bisa menjadi racun bagi katalis pada *converter* amonia. *Shift Converter* terdiri dari *High Temperature Shift* (HTS) *Converter* (104D-1) dan *Low Temperature Shift* (LTS) *Converter* (104D-2A/B) yang bertindak sebagai perangkat untuk mengubah CO . Proses konversi di HTS *Converter* (104D-1) terjadi pada temperatur yang tinggi, dengan temperatur masukan sekitar 371°C . Peningkatan temperatur di HTS (104D-1) dapat menggeser keseimbangan reaksi ke arah yang tidak diinginkan, mengakibatkan penurunan konversi CO menjadi CO_2 .

Penurunan konversi CO di HTS *Converter* (104D-1) akan meningkatkan beban pada LTS (104D-2A/B), sehingga penting untuk menjaga agar konversi CO pada HTS berjalan dengan maksimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kondisi operasional dan rasio uap terhadap karbon terhadap hasil konversi CO di HTS, serta membandingkan persentase konversi CO yang terjadi secara aktual dengan desain yang diinginkan.

METODE PENELITIAN

Evaluasi *High Temperature Shift Converter* dilakukan melalui beberapa tahapan pengumpulan data yang diperlukan. Data yang diambil meliputi data desain dan data aktual. Pendekatan yang digunakan untuk mengambil data yang diperlukan yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui konsep evaluasi kinerja alat (HTS) *Converter* baik melalui sumber pustaka yang ada di Departemen Operasi PT. Pupuk Sriwidjaja II-B maupun sumber lainnya.

2. Pencarian Data

Data yang dibutuhkan untuk mengevaluasi kinerja alat (HTS) *Converter* diperoleh dari Departemen Operasi PT. Pupuk Sriwidjaja II-B. Adapun data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Data desain alat (HTS) *Converter* (104-D1)

Data desain alat HTS *Converter* (104-D1) adalah data yang diambil di Departemen Teknik Produksi Data tersebut meliputi:

- Kondisi operasi pada *High* (HTS) *Converter* (104-D1).
- Komposisi umpan masuk dan keluar (HTS) *Converter* (104-D1).
- Kondisi operasi pada masuk dan keluar (HTS) *Converter* (104-D1).

Tabel 1. Data Desain Kondisi Operasi HTS *Converter*

Komponen	Laju Alir (kmol/jam)		Temperatur (°C)	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Gas	13352,3	14459,5	371,0	431,2
Steam	6231,1	5124		

Tabel 2. Data Desain Komposisi HTS *Converter*

Komponen	Berat (Kg/Kmol)	Molekul	Masuk	Keluar
			%mol	%mol
Ar	40		0,35	0,32
N ₂	28		29,22	26,99
CH ₄	16		1,59	1,47
H ₂	2		48,18	52,15
CO ₂	44		8,67	15,66
CO	28		11,98	3,41
Total			100	100

Data kondisi operasi aktual adalah data yang langsung diambil dari pabrik. Data kondisi operasi ini diambil dari analisis kinerja selama 6 minggu pada bulan Juli-Agustus 2023 di pabrik amonia PT. Pupuk Sriwidjaja II-B. Dimana data aktual yang diambil adalah sebagai berikut :

- Kondisi Operasi Natural Gas *Input Primary Reformer*
- Kondisi Operasi Steam *Primary Reformer*
- Komposisi Natural Gas *Input dan Output Primary Reformer*
- Kondisi Operasi Gas *Input Secondary Reformer*
- Kondisi Operasi Steam *Secondary Reformer*
- Kondisi Operasi Udara *Secondary Reformer*
- Komposisi Natural Gas *Output Secondary Reformer*
- Kondisi Operasi *High Temperature Shift Converter* (HTS)
- Komposisi Natural Gas *Output High Temperature Shift Converter*

Tabel 3. Data Aktual Kondisi Operasi Alat HTS Converter

Waktu	Laju Alir			Temperatur HTS	
	Gas proses in. 101-B (Kg/jam)	Steam masuk. 101-B (Kg/jam)	Udara proses masuk 103-D (Nm ³ /h)	Masuk (°C)	Keluar (°C)
Minggu-I	53907	151111	119210	357	421,6
Minggu-II	53586	151956	118657	357	421
Minggu-III	54153	154267	118206	357	420,6
Minggu-IV	53862	154032	114997	356	418
Minggu-V	54234	155314	119070	356	419,7
Minggu-VI	54140	153912	118562	356	413,79

Tabel 4. Data Aktual Natural Gas Input HTS Converter

Komponen	% mol					
	Minggu-I	Minggu-II	Minggu-III	Minggu-IV	Minggu-V	Minggu-VI
Ar	0,35	0,3	0,4	0,35	0,5	0,37
N ₂	27,53	26,9	27,01	26,29	26,9	26,65
CH ₄	2,24	2,2	1,84	1,71	1,8	1,72
H ₂	50,21	51,9	51,25	52,24	51,2	51,89
CO ₂	8,91	8,4	8,07	8,1	8,1	8,1
CO	10,76	10,3	11,43	11,31	11,5	11,27
Total	100	100	100	100	100	100

Tabel 5. Data Aktual Natural Gas Output HTS Converter

Komponen	% mol					
	Minggu-I	Minggu-II	Minggu-III	Minggu-IV	Minggu-V	Minggu-VI
Ar	0,29	0,29	0,27	0,26	0,28	0,27
N ₂	25,66	25,8	25,45	24,48	26,5	25,29
CH ₄	1,88	1,9	1,64	1,7	1,7	1,63
H ₂	53,76	53,31	54,12	55,41	51,82	54,33
CO ₂	15,69	15,9	15,6	15,24	16,6	15,55
CO	2,72	2,8	2,92	2,91	3,1	2,93
Total	100	100	100	100	100	100

3. Pengolahan Data

Setelah data untuk mengevaluasi kinerja diperoleh dari Departemen Operasi PT. Pupuk Sriwidjaja II-B, dilakukan perhitungan sesuai dengan konsep kinerja pada alat *High Temperature Shift Converter* (HTS)

- Neraca Massa

Perhitungan neraca massa HTS Converter (104-D1) dilakukan dengan persamaan berikut:

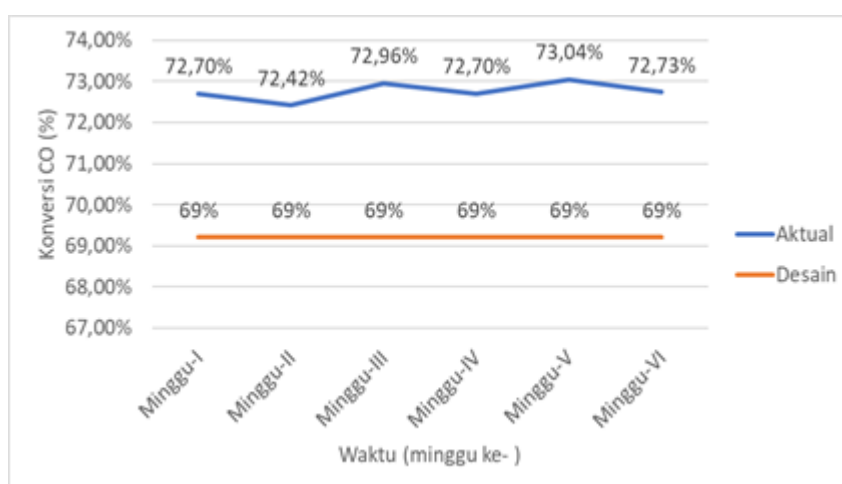
$$\text{Laju alir masuk} = \text{laju alir keluar} \quad (1)$$

- Konversi CO

$$\text{Konversi CO} = \frac{\text{mol CO input} - \text{mol CO output}}{\text{mol CO input}} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

High temperature shift conversion (HTSC) merupakan reaksi pergeseran CO menggunakan air menjadi CO₂ dan H₂, yang diselenggarakan pada temperatur tinggi (370–400°C). Salah satu tahapan dalam proses amonia adalah reaksi pergeseran CO menjadi CO₂ dan H₂. Reaksi ini sangat penting karena dapat menghasilkan H₂ dan mampu mengurangi kehadiran CO. Pengurangan CO sampai level terendah perlu dilakukan karena CO merupakan racun bagi katalis sintesis amonia. Pada pabrik amonia modern, reaksi pergeseran diselenggarakan dalam 2 tahap, yaitu HTSC (*High Temperature Shift Conversion*) dan LTSC (*Low Temperature Shift Conversion*).



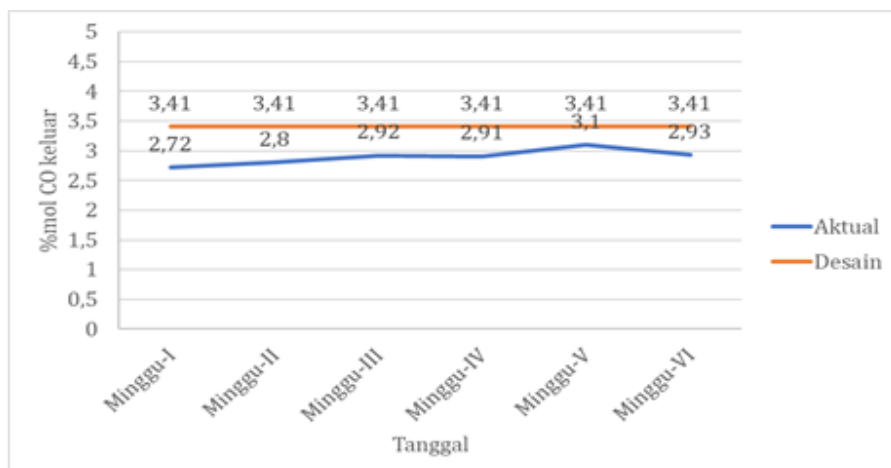
Gambar 1. Perbandingan Konversi CO Outlet HTS Secara Desain dan Aktual

Berdasarkan Gambar 1 seluruh konversi CO secara aktual selama 6 minggu melebihi data desain yaitu >70% sesuai yang ditetapkan [4] sedangkan konversi CO secara desain 69,20%. Sehingga kinerja HTS dalam mengubah CO menjadi CO₂ dalam kondisi baik. Hal ini diilustrasikan oleh penurunan terus menerus dan perubahan tanda pada energi bebas Gibbs sebagai fungsi temperatur, dan penurunan konstanta kesetimbangan seiring dengan peningkatan temperatur, sedangkan kinetika reaksi katalitik lebih menguntungkan pada temperatur yang lebih tinggi [5].

Untuk mengatasi batasan termodinamika juga dapat diatasi dengan menggunakan katalis, yang memungkinkan bekerja pada temperatur lebih rendah untuk konversi yang sama [6]. Misalnya, katalis berbahan dasar besi dan katalis berbahan dasar tembaga yang biasanya digunakan secara industri untuk operasi HTS dan LTS. Komposisi dari katalis ini dapat bervariasi sesuai dengan aplikasi spesifiknya dan pendukung yang menyertainya (yaitu ZnO/Al₂O₃, CO₂) [7], [8].

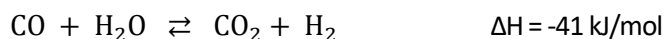
Perbedaan temperatur dan konversi CO antara data aktual dan desain tidak dapat dibandingkan, karena HTS tidak digunakan untuk meningkatkan konversi namun meningkatkan laju atau kinetika reaksi atau Hukum Arrhenius. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi laju reaksi suatu reaksi kimia yaitu temperatur, luas permukaan, konsentrasi reaktan dan katalis [9]. Keefektifan konversi CO dalam persentase yang optimal bisa diperoleh dengan memilih temperatur operasional yang rendah yaitu pada temperatur 350°C [10]. Namun, tetap penting untuk menjaga agar temperatur tersebut tetap di atas ambang kondensasi uap air.

Pebandingan konsentrasi CO *outlet* HTS secara desain dan aktual dapat dilihat pada Gambar 3.2. Secara aktual, konsentrasi CO yang keluar sudah lebih kecil daripada desain dan telah sesuai secara teori karena *water gas shift reaction* umumnya harus mengurangi kandungan CO dari *reformat* menjadi 3,0-5,0% CO. Sedangkan CO yang belum terkonversi dilanjutkan ke LTS hingga komposisi CO keluaran LTS mencapai <1,0%. Dalam hal ini, dapat disimpulkan bahwa kinerja HTS secara aktual telah tercapai karena dapat menghasilkan sisa CO yang lebih sedikit daripada kondisi desain.



Gambar 2. Perbandingan Konsentrasi CO Outlet HTS Secara Desain dan Aktual

Saat temperatur dinaikkan, akan mengakibatkan pergeseran kesetimbangan reaksi ke arah yang kurang diinginkan yaitu ke arah pembentukan reaktan. Apabila reaksi bergeser ke arah pembentukan reaktan maka konversi CO akan mengalami penurunan. Reaksi pergeseran CO adalah suatu reaksi kesetimbangan dengan reaksi sebagai berikut:



Menurut Kirk-Othmer jika reaksi dekat dengan kesetimbangan akan mendukung pembentukan produk pada temperatur rendah, namun kinetika reaksi akan lebih cepat pada temperatur tinggi. Untuk mengatasi batasan termodinamika ini dengan mempertahankan laju reaksi yang tinggi, RWGS biasanya dilakukan dalam beberapa tahap adiabatik dengan pendinginan antar tahap untuk mendapatkan konversi keseluruhan yang lebih tinggi, yaitu pada *high temperature shift converter* (350°C-370°C) untuk mempercepat laju reaksi dan *low temperature shift converter* (200°C-220°C) untuk mencapai konversi yang tinggi [11].

Meskipun begitu, dilihat dari kinetika, temperatur yang tinggi mampu mempercepat laju reaksi, sehingga mendekati hasil konversi yang dicapai pada kondisi kesetimbangan. Temperatur yang terlalu tinggi memiliki potensi merusak katalis yang terdapat dalam HTS *Converter*. Hal ini akan mengurangi kinerja katalis dan berdampak buruk pada efisiensinya. Oleh karena itu, pengawasan ketat terhadap temperatur menjadi krusial, agar konversi CO menjadi CO₂ dalam HTS *Converter* dapat berjalan pada tingkat maksimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan pada alat *High Temperature Shift (HTS) Converter* dapat disimpulkan bahwa temperatur umpan yang tinggi pada input akan meningkatkan laju kinetika reaksi seiring dengan semakin mendekati terhadap titik kesetimbangan, laju reaksi kinetika pada HTS digunakan untuk mempercepat reaksi konversi CO menjadi CO₂, laju reaksi dipengaruhi oleh temperatur, katalis, luas permukaan katalis, dan komposisi reaktan, selain itu konversi CO berbanding terbalik dengan komposisi CO keluaran HTS, apabila konversi CO tinggi maka komposisi CO keluaran akan rendah, begitupun sebaliknya serta kinerja katalis dapat dikatakan baik apabila konversi CO aktual mendekati konversi desain. Saran untuk kedepannya dalam mempertahankan kinerja HTS sebaiknya diperhatikan beberapa hal seperti komposisi gas umpan, temperatur umpan, kondisi alat, serta umur katalis agar dapat mempertahankan konversi CO sesuai desain sehingga dapat meminimalisir CO yang lolos dan dapat meningkatkan pembentukan CO₂.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Fiamelda, Suprihatin, and Purwoko, "Analysis of water and electricity consumption of urea fertilizer industry: Case study PT. X," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 472, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/472/1/012034.
- [2] M. S. Isdiawan, A. Nurfebriartanto, and R. Rusmala, "Perbandingan Performa Refrigeran Propana dan Amonia pada Siklus Refrigerasi Dew Point Control Unit (DPCU)," *J. Rekayasa Proses*, vol. 15, no. 1, p. 94, 2021, doi: 10.22146/jrekpros.65973.
- [3] S. R. Kusumaningrum, N. A. Rosalin, A. Wiguno, and G. Wibawa, "Pra-Desain Pabrik Amonia dari Gas Alam," *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i2.121274.
- [4] A. Giuliano, C. Freda, and E. Catizzzone, "Techno-economic assessment of bio-syngas production for methanol synthesis: A focus on the water–gas shift and carbon capture sections," *Bioengineering*, vol. 7, no. 3, pp. 1–18, 2020, doi: 10.3390/bioengineering7030070.
- [5] Maisaroh and W. Purwanto, "Tinjauan Termodinamika dan Keseimbangan Kimia dalam Hubungan Perubahan Suhu Terhadap Konversi Reaksi Epoksidasi Asam Oleat Berbasis Sawit," *Pros. Semin. Nas. Pengabd. Masy.*, pp. 1–11, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaskat/article/view/5381>
- [6] M. S. Isdiawan, A. Nurfebriartanto, and R. Rusmala, "Perbandingan Performa Refrigeran Propana dan Amonia pada Siklus Refrigerasi Dew Point Control Unit (DPCU)," *J. Rekayasa Proses*, vol. 15, no. 1, p. 94, 2021, doi: 10.22146/jrekpros.65973.
- [7] C. S. Koesnadi, F. Muhammad, and R. Darmawan, "Pra Desain Pabrik Pembuatan Pupuk Urea dari Gas Alam Menggunakan Metode Snamprogetti dengan Kapasitas 626.000 Ton/tahun," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.70571.
- [8] C. Poosri, C. Chaisuk, and W. Klysubun, "Effect of FSP-inserted cu on physicochemical properties of Cu/Al₂O₃ catalyst," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 15, no. 3, pp. 641–652, 2020, doi: 10.9767/BCREC.15.3.8193.641-652.
- [9] L. Ryan and P. Fullick, "Oxford International AQA Examinations: International GCSE Combined Sciences Chemistry," 2017, [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=GM%5C_KDwAAQBAJ
- [10] R. B. Pamungkas, K. Kharimah, and E. Puspawiningtiyas, "Activation of Carbon Using Microwave-Assisted Hydrochloric Acid for Urea Adsorption," *Res. Chem. Eng.*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.30595/rice.v1i1.10.
- [11] R. E. Kirk, D. F. Othmer, M. Grayson, and D. Eckroth, "Raymond E Kirk_ Donald F Othmer_ Martin Grayson_ David Eckroth_ et al-Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology Vol 5 -Wiley (2004)," vol. 12. pp. 843–844, 1994.