

STUDI LITERATUR: POTENSI SINTESIS Na_2CO_3 MELALUI ABSORPSI CO_2 MENGGUNAKAN NaOH PADA GAS HASIL PIROLISIS SAMPAH PLASTIK

Faskaria br Siburian, Eko Naryono, Cucuk Evi Lusiani

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

faskaria18@gmail.com ; [eko.naryono@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Sampah plastik merupakan salah satu jenis limbah domestik yang jumlahnya terus meningkat dan mendominasi timbulan sampah masyarakat. Namun, pengelolannya masih belum sebanding dengan laju akumulasinya. Salah satu pendekatan teknologi yang menjanjikan untuk mengolah limbah plastik adalah metode pirolisis, yaitu proses termal yang memecah rantai karbon panjang menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. Proses ini menghasilkan tiga jenis produk: fraksi padat, cair, dan gas, yang seluruhnya berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Namun demikian, fraksi gas hasil pirolisis masih mengandung karbon dioksida (CO_2) yang bersifat sebagai kontaminan, sehingga menurunkan efisiensi energi sekaligus berdampak terhadap lingkungan jika dilepaskan langsung ke atmosfer. Untuk mengatasi hal tersebut, teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) menawarkan solusi dengan memanfaatkan CO_2 sebagai bahan baku dalam sintesis senyawa kimia seperti natrium karbonat (Na_2CO_3), melalui mekanisme absorpsi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Artikel ini disusun berdasarkan studi literatur, yang terdiri dari identifikasi jenis plastik penghasil CO_2 tertinggi, efektivitas katalis dalam meningkatkan fraksi gas hasil pirolisis, dan penentuan kondisi pH dan konsentrasi NaOH yang optimal untuk pembentukan Na_2CO_3 . Hasil studi literatur menunjukkan bahwa untuk mengoptimalkan sintesis Na_2CO_3 , dapat dicapai melalui pirolisis plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) yang menghasilkan fraksi gas lebih banyak, penggunaan katalis ZSM-5 untuk mempercepat degradasi, serta penyerapan CO_2 oleh NaOH berkonsentrasi lebih tinggi (pH > 10) dalam jumlah berlebih.

Kata kunci: absorpsi, Na_2CO_3 , NaOH , pirolisis, plastik

ABSTRACT

Plastic waste is one type of domestic waste whose volume continues to rise and dominates the waste generated by the community. However, its management has not yet kept pace with the rate of its accumulation. One promising technological approach for processing plastic waste is the pyrolysis method, a thermal process that breaks down long carbon chains into simpler compounds through heating with little or no oxygen. This process produces three types of products: solid, liquid and gaseous fractions, all of which have the potential to be utilised as alternative fuels. However, the gaseous fraction resulting from pyrolysis still contains carbon dioxide (CO_2), which acts as a contaminant, thereby reducing energy efficiency whilst also having an environmental impact if released directly into the atmosphere. To address this, Carbon Capture, Utilisation, and Storage (CCUS) technology offers a solution by utilising CO_2 as a feedstock in the synthesis of chemical compounds such as sodium carbonate (Na_2CO_3), via an absorption mechanism using a sodium hydroxide (NaOH) solution. This article is based on a literature review, which comprises the identification of the plastic types producing the highest levels of CO_2 , the effectiveness of catalysts in increasing the gas fraction from pyrolysis, and the determination of the optimal pH and NaOH concentration for the formation of Na_2CO_3 . The results of the literature review indicate that the synthesis of Na_2CO_3 can be optimised through the pyrolysis of

Corresponding author: Eko Naryono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: eko.naryono@polinema.ac.id



Polyethylene Terephthalate (PET) plastic, which produces a higher gas fraction, the use of ZSM-5 catalyst to accelerate degradation, and the absorption of CO₂ by excess NaOH at a higher concentration (pH > 10).

Keywords: *absorption, Na₂CO₃, NaOH, pyrolysis, plastic*

1. PENDAHULUAN

Menurut catatan Kementerian Lingkungan Hidup, komposisi sampah plastik mengalami peningkatan selama 5 tahun berturut-turut dan di tahun 2024 mencapai 19,64% dari seluruh timbulan sampah yang ada [1]. Sifatnya yang ringan namun kuat menahan beban, tahan terhadap korosi, dan sifat isolator yang baik menjadi alasan bahan plastik banyak digunakan [2]. Namun, plastik juga merupakan bahan yang sulit untuk diuraikan, sehingga jika terus dibiarkan menumpuk, dapat mengganggu resapan air dan sirkulasi udara ke dalam tanah yang menyebabkan menurunnya kualitas lingkungan [3]. Jenis plastik yang biasanya dikenal di masyarakat, diberi nama berdasarkan monomer penyusunnya dan diberi nomor sesuai Society of Plastic Industry (SPI). Secara berurut dari nomor 1 sampai dengan 6, jenis plastik tersebut yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), dan *Polystyrene* (PS). Bahan penyusun plastik tersebut dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau batu bara yang jika didaur ulang dengan tepat hasilnya dapat berupa bahan bakar cair [4]. Proses yang menggunakan metode daur ulang plastik menjadi bahan bakar cair disebut pirolisis [2].

Pirolisis adalah proses degradasi bahan menggunakan sumber panas eksternal dalam kondisi oksigen yang terbatas. Hasil dari proses pirolisis dibagi menjadi 3 fraksi, yaitu fraksi padat yang terdiri dari karbon murni, fraksi cair yang mengandung tar, dan fraksi gas yang tidak dapat dikondensasi [5]. Seluruh fraksi produk pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar yang menjadikan pengolahan sampah plastik lebih ekonomis. Fraksi padatan dapat digunakan sebagai briket, fraksi cair sebagai bahan bakar cair sintesis, dan fraksi gas sebagai bahan bakar gas. Pada fraksi gas masih terdapat gas pengotor yang salah satunya CO₂ yang dapat mengurangi nilai kalor jika digunakan langsung sebagai bahan bakar [6]. Selain itu, CO₂ dari proses pirolisis yang langsung dibuang begitu ke atmosfer juga berdampak buruk sebagai gas rumah kaca. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, konsep penangkapan dan penyimpanan CO₂ perlu diterapkan. Konsep ini biasa dikenal dengan *carbon capture and storage* (CCS) yang dikembangkan lagi menjadi *carbon capture utilization storage* (CCUS). Pada CCUS, karbon yang diperoleh tidak lagi hanya disimpan, tapi juga digunakan sebagai bahan baku karbon yang dapat diperbarui [7].

Pada penelitian Sun, dkk. (2022 dilakukan integrasi penangkapan karbon dari hasil pirolisis kayu) [8]. Teknologi penangkapan yang dikaji adalah absorpsi dengan *monoethanolamine* (MEA), *temperature swing absorption* (TSA), *calcium looping* (CaL), dan *chemical looping combustion* (CLC). Penelitian ini mengulas dari sisi ekonomi teknologi yang digunakan. Hasilnya, teknologi CLC lebih hemat dan menguntungkan daripada absorpsi menggunakan MEA. Namun, teknologi CLC lebih berfokus pada efisiensi pembakaran dan penangkapan karbon, tanpa secara langsung menghasilkan produk karbon yang lebih bernilai. Sama halnya dengan CLC, penangkapan CO₂ menggunakan MEA tidak menghasilkan produk karbon baru untuk dikomersialkan. Hasil penyerapan menggunakan MEA hanya

berupa pemurnian CO₂ yang kemudian dilepaskan kembali sebagai limbah yang lebih mudah ditangani [9]. Penelitian serupa yang mengintegrasikan teknologi penangkapan CO₂ pada gas hasil pirolisis sampah plastik juga dilakukan oleh [6] yaitu membandingkan absorpsi menggunakan larutan absorben Ca(OH)₂ dan kolom purifikasi. Kolom purifikasi yang digunakan pada penelitian ini terdiri batu kerikil, pasir, silika gel, dan karbon aktif. Fokus pada penelitian ini adalah kemurnian dari gas pirolisis sebagai bahan bakar (kandungan metana bersih bebas gas pengotor), tanpa memanfaatkan CO₂ yang sudah diserap. Hasilnya, kolom purifikasi menjadi metode paling tepat untuk menyerap CO₂ sehingga menghasilkan bahan bakar gas yang lebih bersih. Akan tetapi, CO₂ yang diperoleh tidak dikembangkan lebih lanjut menjadi produk ekonomis. Pemakaian larutan Ca(OH)₂ sebagai absorben, dinilai kurang efektif menyerap CO₂ karena sifatnya yang mudah jenuh.

Penelitian yang lebih aplikatif dalam menyerap gas CO₂ sebagai hasil buangan industri telah dilakukan oleh Arifin, dkk. (2022) yang menggunakan NaOH sebagai absorben. NaOH dipilih sebagai absorben karena laju reaksi dan kapasitas absorpsinya yang tinggi, ketersediaannya melimpah, murah, dan lebih banyak dikenal oleh masyarakat. Gas CO₂ yang diolah dalam penelitian ini diperoleh dari gas buangan boiler yang disintesis menjadi natrium karbonat. Pemanfaatan CO₂ menjadi natrium karbonat diperoleh dari hasil reaksi NaOH dan CO₂ yang berkontak di dalam kolom absorber [10]. Pemanfaatan CO₂ dalam sintesis natrium karbonat juga telah dilakukan pada penelitian Saputra, dkk. (2021) yang menggunakan NaOH sebagai absorben. Hasilnya, natrium karbonat yang diperoleh dapat digunakan dalam industri kaca dan detergen [7].

Pemanfaatan gas CO₂ melalui penyerapan NaOH dapat menjadi solusi ketersediaan natrium karbonat untuk industri di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia, pada tahun 2023 jumlah kebutuhan natrium karbonat mencapai 2.039.431 ton sementara impor barang tersebut mencapai 801.627 ton [11]. Dilansir dari Tempo (2024) hingga pada tahun 2024 kebutuhan natrium karbonat seluruhnya diperoleh melalui impor dari negara lain [12]. Oleh karena itu, hilirisasi industri natrium karbonat perlu diperhatikan di Indonesia untuk meminimalkan kegiatan impor dan meningkatkan pendapatan negara.

Studi literatur pada artikel ini penting dilakukan guna mengkaji potensi sintesis natrium karbonat melalui absorpsi CO₂ yang dihasilkan dari pirolisis sampah plastik. Sampah plastik sebagai bahan baku didasarkan pada jumlahnya yang meningkat setiap tahun dan berpotensi diolah menjadi produk bernilai ekonomis. Fokus pembahasan artikel ini meliputi tiga aspek utama. Pertama, identifikasi jenis plastik yang berpotensi menghasilkan gas CO₂ pada proses pirolisis dan mengevaluasi komposisi fraksi gas dari beberapa jenis plastik. Kedua, analisis terhadap jenis-jenis katalis yang telah digunakan pada pirolisis plastik, untuk menentukan pengaruh katalis dan yang paling efektif dalam meningkatkan produksi fraksi gas. Ketiga, mengkaji karakteristik pH dan konsentrasi larutan NaOH yang optimum dalam menyerap CO₂.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Metode dan Prosedur Penelitian

Artikel ini disusun menggunakan metode studi literatur. Tahapan pengerjaan artikel ini dimulai dengan pengumpulan jurnal dan referensi, kemudian analisis data dari jurnal

dan referensi yang digunakan, dan diakhiri dengan menarik kesimpulan serta memberikan rekomendasi dari hasil kajian yang diperoleh.

2.2. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Variabel yang diamati pada artikel ini adalah jenis plastik yang digunakan, jenis katalis untuk proses pirolisis, dan konsentrasi NaOH untuk absorpsi gas CO₂. Variabel terikatnya adalah jumlah gas CO₂ yang dihasilkan dari proses pirolisis dan jumlah CO₂ yang dapat terserap menjadi Na₂CO₃. Proses analisis data dilakukan dengan teknik komparatif, yaitu membandingkan data dalam beberapa penelitian untuk menemukan perbedaan dan persamaan dari hasil penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis plastik

Plastik merupakan polimer dari gabungan monomer melalui proses polimerisasi yang pada temperatur pembentukannya menjadi kaku dan padat [13]. Monomer penyusun plastik menentukan komposisi fraksi yang dihasilkan saat pirolisis. Pada penelitian Rachmawati (2015) perbandingan hasil fraksi pirolisis dari plastik jenis HDPE, PET, dan PS ditunjukkan pada Tabel 1 [5].

Tabel 1. Hasil pirolisis plastik HDPE, PET, dan PS [5]

Jenis Plastik	Fraksi Hasil Pirolisis (%)			
	Wax	Char	Gas	Gas Terkondensasi
HDPE	47,66	16,41	3,55	32,38
PET	29,45	0,22	70,32	-
PS	84,95	1,17	13,88	-

Pirolisis pada penelitian Rachmawati (2015) dilakukan dengan kondisi operasi pada temperatur 500 °C dalam waktu 30 menit. Hasil dari penelitian tersebut, plastik jenis PET menghasilkan gas terbanyak sebesar 70,32%. Sementara gas yang terkondensasi tidak diperoleh dari plastik jenis PET, dikarenakan memiliki sifat dasar yaitu menyublim. Pada suhu rendah, plastik PET menghasilkan *terephthalic acid* (TPA) yang merupakan molekul benzene (C₆H₆) dan gugus karboksilat (COOH). Sehingga, pada suhu tinggi TPA yang terdekomposisi menghasilkan benzene, CO₂, dan *benzoic acid* [5].

Tabel 2. Hasil pirolisis plastik PP dan PET [14]

Jenis Plastik	Fraksi Hasil Pirolisis (gram)		
	Liquid	Arang	Gas
PET	51,70	91	157
PP	57,79	102	140

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Anggono, dkk. (2020) dengan membandingkan fraksi hasil pirolisis antara plastik jenis PET dan PP. Kondisi operasi yang digunakan adalah pada suhu 380 °C selama 50 menit. Pada kondisi operasi tersebut, plastik jenis PET menghasilkan fraksi gas lebih banyak daripada plastik jenis PP. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Tabel 2 berdasarkan perbandingan perolehan fraksi gas dari plastik

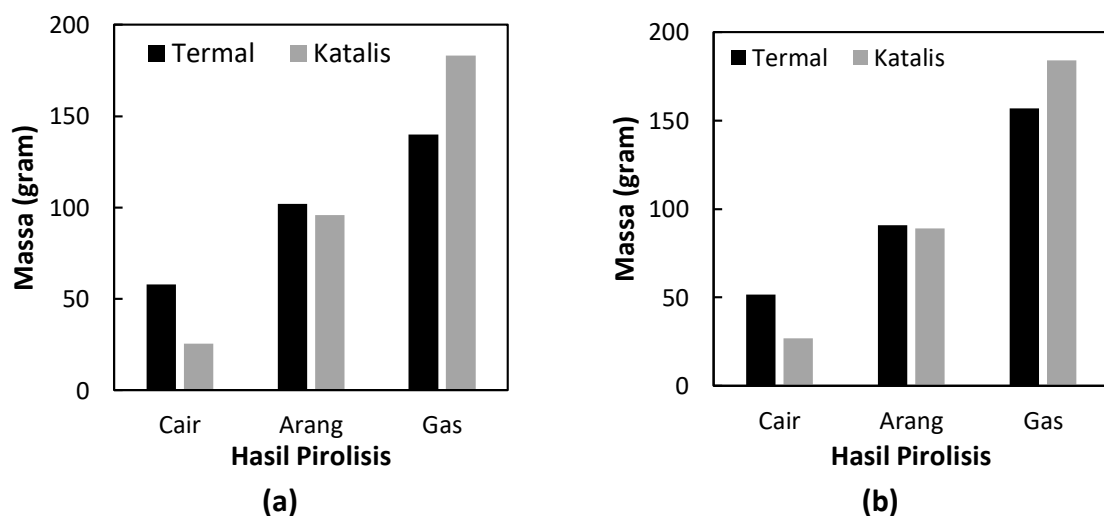
jenis PET dengan jenis plastik lainnya, plastik jenis PET dapat digunakan sebagai bahan baku pada pirolisis dengan fraksi gas yang menjadi tujuan utamanya [14].

3.2. Katalis yang digunakan

Pirolisis menggunakan katalis dapat memberikan keuntungan terhadap waktu dan energi yang diperlukan pada proses pirolisis [14]. Dengan adanya katalis, temperatur reaksi dapat diturunkan, waktu reaksi lebih cepat, karbon atom dari produk lebih spesifik dengan hidrokarbon yang ringan, menurunkan fraksi cair, serta meningkatkan fraksi gas [15]. Terdapat dua jenis katalis, yaitu katalis homogen dan heterogen. Secara umum, yang lebih baik untuk digunakan adalah katalis heterogen karena dapat dengan mudah dipisahkan dan diperoleh kembali sebagai *recycle*. Berbagai macam katalis heterogen adalah silika alumina, *fluid catalytic cracking* (FCC), zeolit Y, HZSM-5, MCM-41, dan zeolit alam [16].

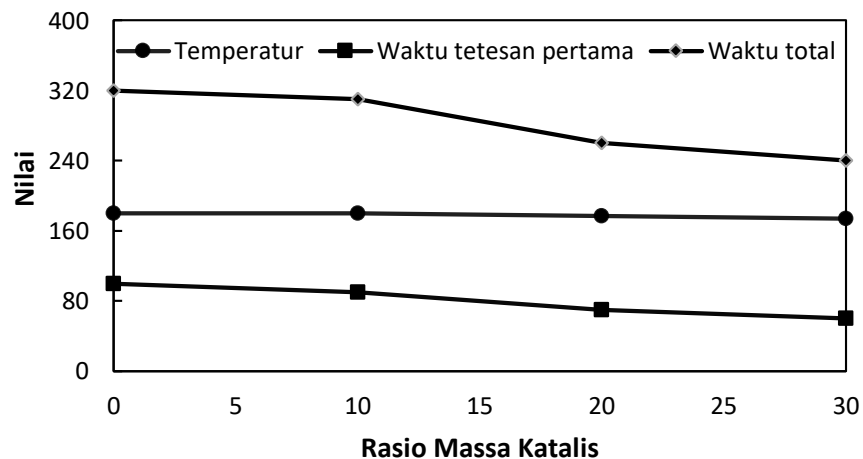
Perbandingan proses pirolisis antara tanpa katalis dengan menggunakan katalis yang dilakukan oleh Anggono, dkk. (2020) memberikan hasil yang berbeda pada suhu dan waktu operasi yang sama. Pirolisis dioperasikan pada suhu 380 °C selama 50 menit dengan bahan baku plastik PP dan PET yang masing-masing sebanyak 300 gram. Jenis katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit alam. Pirolisis kedua jenis plastik dilakukan secara terpisah yang diberikan perlakuan tanpa katalis dan menggunakan katalis. Hasilnya, penggunaan katalis pada proses pirolisis kedua jenis plastik tersebut menurunkan fraksi cair dan arang. Namun, pada fraksi gas mengalami kenaikan jumlah massa yang dihasilkan [14].

Pada jenis plastik PP, fraksi cair tanpa katalis berkurang 56% jika menggunakan katalis, fraksi arang berkurang 5% dari hasil tanpa katalis, sementara fraksi gas bertambah 24% jika menggunakan katalis. Pada jenis plastik PET, fraksi cair berkurang 48% jika diproses menggunakan katalis, fraksi arang berkurang 2% pada proses menggunakan katalis, dan fraksi gas bertambah 15% dari proses pirolisis tanpa katalis. Nilai ini membuktikan bahwa dengan adanya katalis, fraksi gas dapat ditingkatkan sebagai hasil pirolisis [14].



Gambar 1. Perbandingan hasil pirolisis antara tanpa katalis dan menggunakan katalis (a) plastik PP (b) plastik PET [14]

Penelitian oleh Budianto, dkk. (2017) dengan membandingkan komposisi katalis dan sampah plastik menghasilkan perbedaan suhu gas, waktu tetesan pertama hingga tetesan akhir pirolisis, dan massa produk yang dihasilkan. Katalis yang digunakan adalah magnesium karbonat dengan bahan baku plastik jenis PET. Variasi rasio massa antara katalis dan PET yang dianalisis adalah 0:100, 10:90, 20:80, dan 30:70. Suhu operasi yang digunakan yaitu 450 °C mulai dari pembakaran plastik sampai tidak ada lagi tetesan dari proses pirolisis. Hasilnya, rasio massa antara katalis dan plastik memengaruhi waktu tunggu proses pirolisis. Tanpa menggunakan katalis, proses pirolisis dapat berlangsung selama 5 jam 20 menit hingga tetesan terakhirnya. Sementara pirolisis dengan adanya katalis berlangsung lebih cepat, seperti dengan katalis 30% waktu tunggu menjadi 4 jam hingga tetesan terakhir pirolisis. Selain itu, suhu yang dibutuhkan untuk membentuk gas juga mengalami penurunan. Pirolisis tanpa katalis membutuhkan suhu hingga 180 °C untuk menghasilkan gas, sementara pirolisis dengan katalis 30% gas dapat terbentuk pada suhu 174 °C. Selaras dengan penurunan suhu terbentuknya gas dan waktu tunggu proses pirolisis, waktu awal dari produk cair menetes juga menjadi lebih cepat daripada pirolisis tanpa katalis. Pirolisis tanpa katalis memperoleh tetesan awal produk cairnya pada 1 jam 40 menit setelah pembakaran plastik dilakukan. Namun, dengan adanya katalis 30% dari massa bahan, waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh tetesan produk cair pertama menjadi 1 jam dari proses pembakaran plastik. Dengan adanya hasil dari perbandingan ini, membuktikan bahwa adanya katalis mampu mengurangi kebutuhan energi dan waktu yang dibutuhkan untuk proses pirolisis [17].

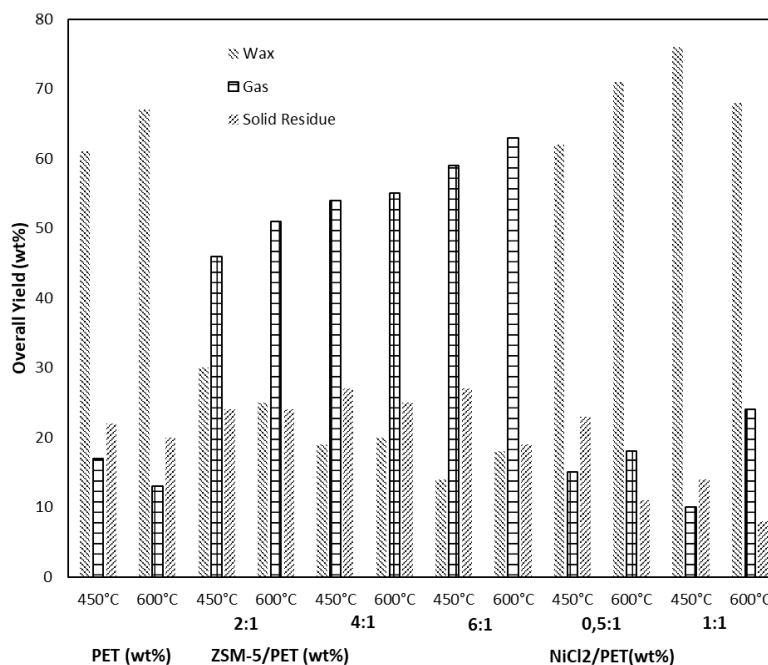


Gambar 2. Grafik pengaruh rasio massa katalis pada temperatur gas, waktu tetesan pertama, dan waktu total pirolisis. Pada sumbu x, temperature satuan °C, waktu tetesan pertama dan waktu total satuan menit [17]

Penentuan jenis katalis yang paling efektif untuk pemanfaatan CO₂ dari hasil pirolisis dilakukan dengan batasan tertentu. Dalam hal ini, kajian difokuskan pada penelitian-penelitian yang menggunakan plastik jenis PET sebagai bahan baku dan mendefinisikan fraksi gas yang dihasilkan. Pemilihan PET didasarkan pada karakteristiknya yang menghasilkan fraksi gas CO₂ lebih tinggi dibandingkan jenis plastik lainnya. Katalis zeolit alam yang digunakan dalam pirolisis plastik PET dan dibandingkan dengan hasil fraksi dari

pirolisis tanpa katalis dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh katalis zeolit alam dapat memperbesar persentase fraksi gas sebesar 15% pada proses pirolisis plastik PET. Bertambahnya fraksi gas menggunakan katalis juga dibuktikan pada penelitian oleh Jia, dkk. (2020) dengan katalis yang digunakan adalah ZSM-5 dan NiCl_2 [18].

Katalis ZSM-5 diberikan variasi pada rasio massa antara katalis dan plastik PET yaitu 2:1, 4:1, dan 6:1. Katalis NiCl_2 diberikan variasi 0,5:1 dan 1:1 antara katalis dan plastik PET. Pada penelitian ini, dianalisis juga pengaruh suhu di setiap variabel rasio massa katalis dan plastik PET. Kondisi suhu yang digunakan adalah 450 °C dan 600 °C dengan waktu operasi selama 30 menit. Sebelum melakukan pirolisis plastik PET dengan katalis dan menganalisis pengaruhnya, pirolisis plastik tanpa adanya katalis juga dilakukan pada dua kondisi suhu yang ditentukan. Hasilnya, pada suhu yang lebih tinggi akan membentuk *wax* lebih banyak namun pengurangan pada hasil padat dan gas dari pirolisis plastik PET [18].



Gambar 3. Grafik pengaruh rasio katalis dan plastik PET terhadap hasil pirolisis [18]

Jika menggunakan katalis ZSM-5, semakin besar massa katalis yang digunakan akan semakin rendah jumlah massa padatan dan *wax* yang dihasilkan. Namun, terjadi peningkatan pada massa produk gas yang dihasilkan. Ditinjau dari pengaruh suhu operasi yang digunakan, semakin tinggi suhu yang diberikan maka semakin berkurang massa padatan dan gas yang diperoleh, namun untuk massa *wax* yang diperoleh semakin tinggi. Hasil ini menjelaskan bahwa jumlah katalis ZSM-5 dapat memengaruhi proses perengkahan plastik PET jadi lebih cepat terjadi. Akan tetapi, pada suhu yang lebih tinggi justru jumlah *wax* yang lebih banyak dihasilkan dan mengurangi hasil gas. Kondisi ini dapat terjadi karena pada suhu yang terlalu tinggi reaksi perengkahan menjadi terlalu cepat menghasilkan rangkaian karbon lebih besar. Pada waktu operasi yang sama dengan

suhu 450 °C proses re-polimerisasi yang kembali terjadi, menghasilkan molekul besar, yang disebut *wax* [18].

Jika menggunakan katalis nikel klorida (NiCl_2), hasil yang ditunjukkan sebaliknya. Semakin banyak massa yang digunakan, maka semakin kecil massa gas dan padatan yang diperoleh dengan massa *wax* yang semakin meningkat. Pada suhu operasi, semakin tinggi suhu yang diberikan maka massa gas yang diperoleh semakin tinggi namun massa pada padatan dan *wax* berkurang. Hasil ini berbanding terbalik dengan katalis ZSM-5. Pada massa yang lebih sedikit, nikel klorida dapat memecah ikatan karbon dengan lebih cepat. Namun, hasil perengkahan tersebut masih dalam molekul besar yang menjadikannya dominan sebagai *wax*. Saat suhu ditambahkan, perengkahan molekul besar tersebut jadi lebih optimal, sehingga *wax* berkurang dan hasil gas bertambah. Dengan begitu, antara katalis ZSM-5 dan nikel klorida, yang paling berpotensi baik digunakan dalam pirolisis dengan tujuan produksi gas yang lebih besar adalah menggunakan katalis ZSM-5. Variasi komposisi terbaiknya ada pada rasio massa 6:1 antara katalis dan plastik PET dengan suhu 450 °C selama 30 menit. Untuk katalis nikel klorida, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan karena pada massa yang lebih kecil dapat menghasilkan gas yang lebih banyak. Kondisi tersebut akan sangat menguntungkan secara ekonomis. Namun, penyesuaian suhu dan waktu reaksi perlu diperhatikan karena reaksinya yang cepat terjadi dan justru menghasilkan banyak *wax* daripada gas dan padatan [18].

Perbandingan kinerja katalis zeolit alam dan ZSM-5 dilakukan dengan referensi pada hasil penelitian Anggono, dkk. (2020) dan Hang, dkk. (2020). Kedua studi tersebut meneliti pirolisis plastik PET dengan membandingkan kondisi tanpa katalis dan menggunakan katalis. Ringkasan perbedaan perolehan produk hasil pirolisis antara penggunaan katalis dan tanpa katalis diperlihatkan pada Tabel 3 [14,18].

Tabel 3. Perbandingan hasil fraksi cair, padat, dan gas antara pirolisis tanpa katalis dan menggunakan katalis [14, 18]

Katalis	Suhu (°C)	Waktu (menit)	Padat	Cair	Gas
Zeolit alam	380	50	-2%	-48%	15%
ZSM-5	450	30	0%	-53%	52%

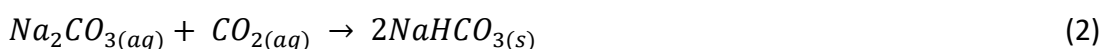
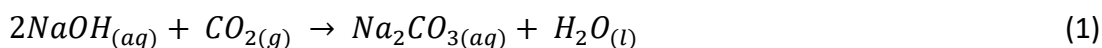
Penggunaan katalis zeolit alam dan ZSM-5 memberikan hasil yang sama, yaitu penurunan pada produk padat dan cair, namun peningkatan pada produk gas. Pada katalis ZSM-5, produk padat dan cair berkurang, sementara produk gas meningkat secara signifikan daripada pirolisis tanpa menggunakan katalis. Apabila dibandingkan pada suhu yang digunakan, zeolit alam lebih rendah tapi diiringi dengan waktu yang lebih lama dari ZSM-5. Kendati demikian, produk gas yang dihasilkan lebih banyak menggunakan katalis ZSM-5 daripada zeolit alam. Secara struktur, ZSM-5 merupakan sintesis dari zeolit alam yang diatur ukuran pori-porinya menjadi sekitar 0,55 nm [19]. Ukuran ini berbeda dengan zeolit alam yang lebih beragam dan lebih besar. Dengan pori-pori katalis yang lebih kecil dan seragam, molekul-molekul besar hasil pembakaran yang melalui katalis dapat dipecah kembali menjadi molekul yang lebih kecil dalam fraksi gas. Hal ini yang menjadikan produk gas menggunakan katalis ZSM-5 menjadi lebih banyak. Oleh karena itu, katalis

ZSM-5 berpotensi baik digunakan sebagai katalis dalam proses pirolisis plastik PET untuk menghasilkan lebih banyak gas CO₂.

3.3. Kondisi operasi NaOH

Dalam pemanfaatan CO₂ dari pirolisis sampah plastik, teknologi penangkapan karbon yang akan diintegrasikan dengan proses pirolisis juga perlu diperhatikan. Salah satu teknologi penangkapan CO₂ yang biasa digunakan adalah penyerapan menggunakan larutan NaOH. Pemilihan larutan NaOH sebagai absorben (larutan penyerap) dikarenakan laju reaksi dan kapasitas absorpsi yang tinggi, ketersediannya berlimpah, ekonomis, dan lebih dikenal oleh masyarakat. Selain itu, dari penyerapan CO₂ menggunakan NaOH dapat menghasilkan natrium karbonat (Na₂CO₃) yang dapat dikomersialkan untuk kebutuhan industri [10].

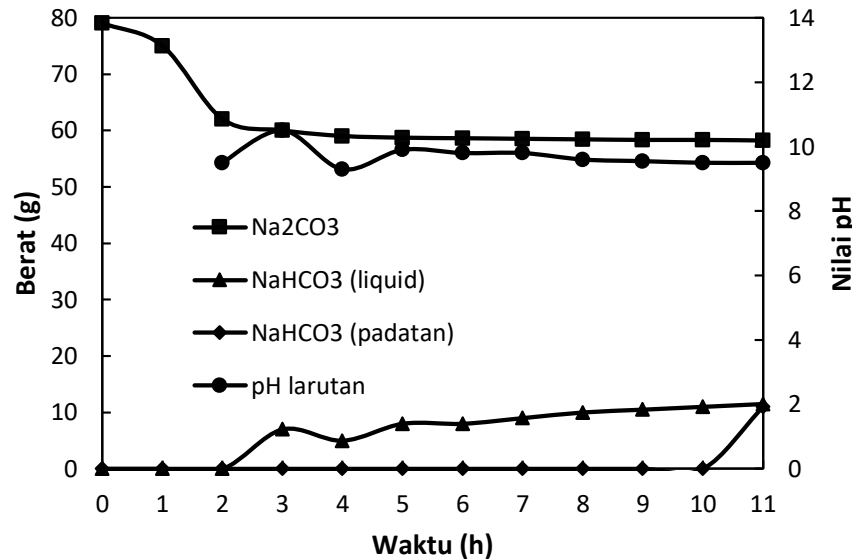
Kemampuan penyerapan CO₂ menggunakan NaOH dalam menghasilkan Na₂CO₃ dipengaruhi oleh konsentrasi, dan pH larutan. Faktor tersebut memengaruhi waktu reaksi dan hasil reaksi dari NaOH dan CO₂. Produk yang dihasilkan dari reaksi NaOH dan CO₂ dapat berupa NaHCO₃ dan Na₂CO₃. Namun jika pada kondisi pH dan konsentrasi yang tepat hasil yang dominan diperoleh berupa Na₂CO₃. Jika NaOH yang digunakan untuk menyerap CO₂ dalam konsentrasi yang berlebih, maka produk yang terbentuk berupa Na₂CO₃. Persamaan reaksi NaOH dan CO₂ dijabarkan sebagai berikut.



Persamaan (1) menunjukkan hasil reaksi dengan konsentrasi NaOH yang lebih banyak dari CO₂ sehingga menghasilkan natrium karbonat. Kemudian pada Persamaan (2) terjadi pembentukan natrium bikarbonat sebagai hasil dari konsentrasi NaOH yang mulai berkurang namun CO₂ tetap ada. Secara keseluruhan, reaksi ditunjukkan pada Persamaan (3) yang menjelaskan jika konsentrasi NaOH dan CO₂ dalam kondisi setara maka yang terbentuk adalah natrium bikarbonat bukan natrium karbonat [20]. Oleh karena itu, penentuan konsentrasi NaOH yang tepat dalam penyerapan CO₂ perlu diperhatikan.

Dalam penelitian Chan, dkk. (2025) menjelaskan proses pembentukan Na₂CO₃ dan NaHCO₃ sebagai hasil penyerapan CO₂ oleh NaOH. Grafik pada Gambar 4 menjelaskan hubungan waktu kontak, berat produk dan kondisi pH larutan selama proses berlangsung. Larutan NaOH 14 wt% dengan pH 13,93 mengalami penurunan signifikan pada 1-2 jam pertama waktu kontak. Perubahan pH ini mengindikasikan perubahan konsentrasi larutan NaOH yang digunakan, karena bereaksi dengan CO₂. Setelah 3 jam, jumlah natrium karbonat yang diperoleh berada pada puncak tertinggi yaitu 59,5 gram atau 25,7 wt%. Setelah itu konsentrasinya cenderung berkurang, sebagai bukti CO₂ yang berlebih bereaksi dengan Na₂CO₃ yang sudah terbentuk menjadi NaHCO₃. Bersamaan dengan berkurangnya jumlah natrium karbonat, jumlah natrium bikarbonat fasa cair mulai terbentuk. Kemudian, setelah 11 jam mencapai titik jenuh, larutan natrium bikarbonat tersebut menjadi kristal sebanyak 5,6 wt%. Grafik pada Gambar 4 juga menunjukkan saat pH larutan NaOH di atas 10, NaHCO₃ belum terbentuk, hanya Na₂CO₃. Sementara saat pH

larutan NaOH menyentuh angka 10, pembentukan NaHCO_3 mulai terjadi. Ini berarti untuk pembentukan Na_2CO_3 membutuhkan pH larutan NaOH yang tinggi lebih dari 10 dan untuk NaHCO_3 pada pH lebih rendah [20].



Gambar 4. Grafik variasi jenis karbonat terbentuk dan nilai pH selama proses karbonasi dalam larutan NaOH [20]

Tabel 4. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap hasil Na_2CO_3 [21]

Konsentrasi (M)	Hasil Endapan (gram)
1,5	1,393
2	1,998
2,5	2,798
3	3,617
3,5	6,325

Parameter pH dan konsentrasi memiliki hubungan yang logaritmik. Pada larutan basa, setiap terjadi peningkatan 10 kali OH^- akan menurunkan 1 unit nilai pOH dan menaikkan nilai pH. Penambahan dan pengurangan OH^- tersebut berdasarkan konsentrasi NaOH yang dibuat dalam pelarutnya. Oleh karena itu, pada larutan basa jika konsentrasi bertambah maka pH juga semakin basa. Dalam keterkaitannya dengan penyerapan CO_2 yang membutuhkan kondisi pH tinggi untuk membentuk Na_2CO_3 , maka konsentrasi NaOH juga harus dalam nilai yang tinggi. Perbandingan konsentrasi NaOH dalam pembentukan Na_2CO_3 diperlihatkan pada Tabel 3. Hasil penelitian tersebut berasal dari penyerapan CO_2 dari asap kendaraan bermotor menggunakan NaOH. Absorpsi dilakukan pada suhu ruang dengan waktu kontak selama 2,5 jam. Berdasarkan hasilnya, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, semakin banyak pula endapan natrium karbonat diperoleh. Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi yang lebih tinggi berarti memiliki molekul natrium hidroksida yang lebih banyak untuk bereaksi dengan CO_2 .

Konsentrasi NaOH yang paling baik digunakan adalah 3,5 M dengan endapan natrium karbonat terbanyak 6,325 gram [21].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil studi literatur, plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET) merupakan bahan yang paling potensial digunakan dalam sintesis Na_2CO_3 melalui penyerapan CO_2 hasil pirolisis. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan oksigen dalam struktur monomernya yang menjadikan PET sebagai penghasil fraksi gas CO_2 tertinggi. Penggunaan katalis ZSM-5 terbukti efektif dalam meningkatkan pembentukan fraksi gas selama pirolisis. Sementara itu, pada tahap penyerapan CO_2 , larutan NaOH dengan konsentrasi sangat tinggi serta jumlah berlebih terhadap kandungan CO_2 diperlukan untuk memperoleh konversi optimal.

Studi literatur ini masih terbatas pada pembahasan jenis katalis tanpa meninjau metode penggunaannya, baik yang ditempatkan secara terpisah di dalam reaktor maupun yang dicampurkan langsung dengan bahan baku. Selain itu, kajian proses absorpsi juga hanya berfokus pada penggunaan larutan NaOH tanpa mempertimbangkan jenis kolom absorpsi maupun pengaruh laju alir gas. Kedua aspek tersebut berpotensi memengaruhi efisiensi sintesis Na_2CO_3 . Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam terkait konfigurasi katalis serta desain dan kondisi operasi proses absorpsi untuk mendukung optimalisasi sintesis Na_2CO_3 dari pirolisis botol plastik PET.

REFERENSI

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup, "Komposisi Sampah." Diakses: 21 April 2025. Tersedia pada: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- [2] M. Syamsiro, "Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis terhadap Kualitas Produk," *Jurnal Teknik*, vol. 5, no. 1, hal. 1–85, 2015.
- [3] M. I. Utami dan D. E. A. Fitria Ningrum, "Proses Pengolahan Sampah Plastik di UD Nialdho Plastik Kota Madiun," *Indonesian Journal of Conservation*, vol. 9, no. 2, hal. 89–95, 2020.
- [4] I. D. K. Anom dan J. Z. Lombok, "Karakterisasi Asap Cair Hasil Pirolisis Sampah Kantong Plastik sebagai Bahan Bakar Bensin," *Fullerene Journal of Chemistry*, vol. 5, no. 2, hal. 96, 2020.
- [5] Q. Rachmawati dan W. Herumurti, "Pyrolysis of Solid Waste With Variation of Biomass Composition and Type of Plastic," Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [6] S. A. Aviandharie, B. N. Jati, dan R. Ermawati, "Pemanfaatan Gas Hasil Proses Pirolisis Plastik Polyethylene (PE) sebagai Bahan Bakar dengan Metode Kondensor dan Metode Tangki Air," *Jurnal Riset Teknologi*, vol. 14, no. 1, hal. 88–96, 2020.
- [7] A. S. Saputra, M. A. Syach, dan R. Desmiarti, "Studi Awal Pemanfaatan CO_2 Untuk Pembentukan Natrium Karbonat: Kajian Kinetika Reaksi," *Jurnal Universitas Bung Hatta*, vol. 18, no. 4, hal. 3, 2021.
- [8] Y. Sun, B. Dong, L. Wang, H. Li, dan E. Thorin, "Technology selection for capturing CO_2 from wood pyrolysis," *Energy Conversion and Management*, vol. 266, hal. 115835, 2022.
- [9] B. Lv, B. Guo, Z. Zhou, dan G. Jing, "Mechanisms of CO_2 Capture into

- Monoethanolamine Solution with Different CO₂ Loading during the Absorption/Desorption Processes,” *Environmental Science and Technology*, vol. 49, no. 17, hal. 10728–10735, 2015.
- [10] B. R. Arifin, N. Hidayati, dan N. Widagdo, “Pengaruh Temperatur Larutan NaOH pada Pemanfaatan CO₂ Flue Gas Boiler pada Proses Sintesis Natrium Karbonat Menggunakan NaOH,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, hal. 1093, 2022.
- [11] F. Hasan dan A. Pratiwi, “Prarancangan Pabrik Natrium Karbonat menggunakan Metode Solvay Kapasitas 300.000 Ton/Tahun,” Skripsi, Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2024.
- [12] A. R. Sari, “Pupuk Indonesia Bangun Pabrik Soda Ash Akhir Tahun, Pasok Industri Keramik Hingga Kaca,” 2024. Diakses: 22 April 2025. Tersedia pada: <https://www.tempo.co/ekonomi/pupuk-indonesia-bangun-pabrik-soda-ash-akhir-tahun-pasok-industri-keramik-hingga-kaca-81763>
- [13] M. A. Setiawan, “Pengolahan Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Sistem Destilasi,” Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surabaya, 2016.
- [14] Y. P. Anggono, N. Ilminnafik, A. A. Rosyadi, dan G. Jatisukamto, “Pengaruh Katalis Zeolit Alam Pada Pirolisis Plastik Polyethylene Terephthalate dan Polypropylene,” *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, hal. 22, 2020.
- [15] S. Naimah dan N. N. Aidha, “Karakteristik Gas Hasil Proses Pirolisis Limbah Plastik Polietilena (PE) dengan Menggunakan Katalis Residue Catalytic Cracking (RCC),” *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol. 39, no. 1, hal. 31, 2017.
- [16] M. Syamsiro, “Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk,” *Teknik*, vol. 5, no. 1, hal. 1–85, 2015.
- [17] A. Budianto, “Pirolisis Botol Plastik Bekas Minuman Air Mnieral Jenis PET Menjadi Fuel,” *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*, hal. 201–206, 2017.
- [18] J. Hang, B. Haoxi, L. Ying, dan W. Rui, “Catalytic Fast Pyrolysis of Poly (Ethylene Terephthalate) (PET) with Zeolite and Nickel Chloride,” *Polymers*, vol. 12, no. 705, 2020.
- [19] A. Nurdin, H. Saputra, Arfiana, R. Yunilawati, dan E. R. Finalis, “Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Zeolit ZSM-5 untuk Konversi Bioetanol menjadi Bioetilena,” *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, vol. 12, no. 2, hal. 79–84, 2023.
- [20] R. Y. Chan, Y. Z. Zeng, C. C. Hou, H. C. Kou, dan H. W. Huang, “Experimental Study of Carbon Dioxide Capture and Mineral Carbonation using Sodium Hydroxide Solution,” *Journal of Ecological Engineering*, vol. 26, no. 1, hal. 30–45, 2025.
- [21] N. Sapitri, “Penjerapan Gas Buang Karbon Dioksida (CO₂) pada Kendaraan Bermotor Menggunakan Larutan Penjerap Natrium Hidroksida (NaOH),” Skripsi, Universitas Islam Indonesia, 2020.