BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era modern ini, ketahanan pangan menjadi perhatian utama, termasuk di Indonesia. Salah satu tantangan besar adalah tingginya kerugian pascapanen pada buah klimaterik seperti pisang dan mangga, yang bisa mencapai hampir 30% akibat proses pematangan yang tidak terkontrol selama penyimpanan dan distribusi (FAO, 2025). Buah klimaterik diketahui menghasilkan gas *ethylene* secara intens saat pematangan, yang mempengaruhi kualitas dan masa simpan buah. Oleh karena itu, pengendalian pematangan sangat penting untuk menjaga mutu hingga ke konsumen.

Ethylene adalah hormon gas yang berperan dalam mengatur pematangan buah dan respon tanaman terhadap stres lingkungan (Iqbal et al., 2017; Tipu & Sherif, 2024). Meski telah dimanfaatkan dalam industri untuk mempercepat pematangan buah agar distribusi lebih efisien dan mengurangi kerugian (Alonso-Salinas et al., 2024), pemakaian *ethylene* secara komersial di Indonesia masih terbatas. Saat ini, *ethylene* lebih banyak digunakan sebagai bahan baku plastik seperti PP dan PE, sehingga membuka peluang pengembangan di bidang pertanian.

Produksi *ethylene* global didominasi oleh metode *steam cracking* dari bahan baku fosil yang tidak terbarukan dan berdampak lingkungan tinggi (Jamil et al., 2020; Moyinoluwa et al., 2025; Zanon-Zotin et al., 2023). Untuk memenuhi tuntutan keberlanjutan, produksi *ethylene* dari biomassa melalui konversi *Ethanol* yang berasal dari limbah pertanian menjadi alternatif menjanjikan. Proses ini menggunakan katalis padat seperti alumina atau zeolit untuk mendapatkan *ethylene* berkualitas tinggi (Jamil et al., 2020; Zanon-Zotin et al., 2023).

Pengembangan teknologi produksi *ethylene* dari biomassa di Indonesia masih tergolong awal dan perlu didorong secara lebih serius. Potensi sumber bahan baku yang melimpah serta kebutuhan *ethylene* untuk pengendalian pematangan buah yang terus meningkat harus menjadi perhatian utama. Dengan mengoptimalkan teknologi ini, Indonesia tidak hanya mampu mengurangi ketergantungan pada bahan baku fosil, tetapi juga memperkuat kemandirian industri nasional dan mendukung ketahanan pangan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan (Jamil et al., 2020; Moyinoluwa et al., 2025; Zanon-Zotin et al., 2023).

1.2 Kapasitas Rancangan

Dalam menetapkan kapasitas rancangan sebuah pabrik, perlu mempertimbangkan kapasitas minimal atau setara dengan kapasitas pabrik yang sudah ada dan mampu memenuhi permintaan pasar domestik. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam menentukan kapasitas pabrik meliputi:

a. Prediksi kebutuhan *ethylene* di Indonesia

b. Ketersediaan bahan baku yang digunakan

c. Kapasitas komersial (minimal) pabrik *ethylene*

1.2.1 Prediksi Kebutuhan *Ethylene* di Indonesia

Permintaan *ethylene* di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Namun, pemenuhan kebutuhan tersebut selama ini hanya sebagian tercapai karena di Indonesia hanya terdapat satu pabrik *ethylene,* yaitu milik PT Chandra Asri. Oleh karena itu, sebagian besar pasokan *ethylene* masih diperoleh melalui impor. Dilihat dari data impor selama lima tahun terakhir pada Tabel 1.1. Penggunaan *ethylene* secara keseluruhan terus menunjukkan peningkatan.

Tabel 1.1 Data Impor *Ethylene* di Indonesia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	792.258,43
2021	825.237,51
2022	850.633,54
2023	880.526,35
2024	925.325,14

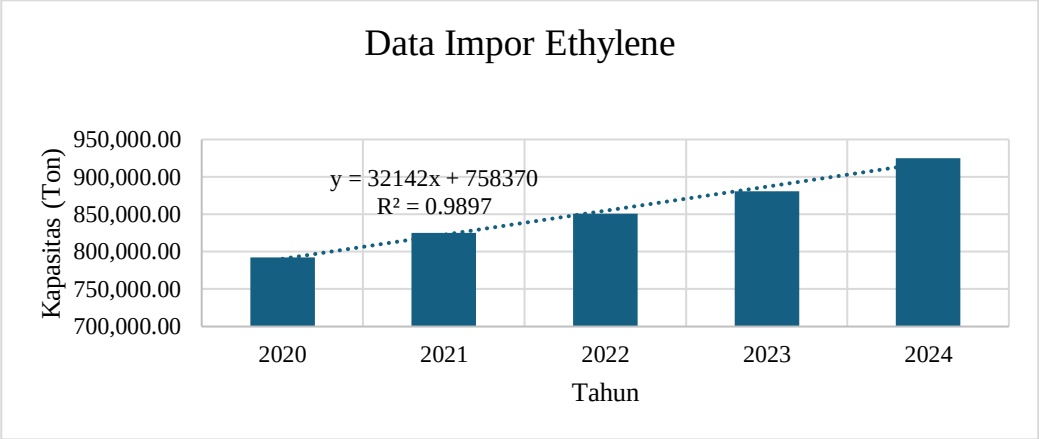
Sumber: Badan Pusat Statistik Tahun 2024

Penting untuk dipahami bahwa secara kimia, *ethylene* (C_2H_4) yang digunakan untuk industri plastik (PP/PE) dan untuk aplikasi pertanian adalah senyawa yang sama. Perbedaan terletak pada tingkat kemurnian, metode pengolahan, dan cara aplikasi bukan pada struktur molekulnya. Dengan demikian, *ethylene* yang diproduksi oleh industri besar seperti PT Chandra Asri secara teknis dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan agro, selama diproses sesuai standar aplikasi pertanian, misalnya dengan sistem pelepasan terkontrol dan dosis yang tepat.

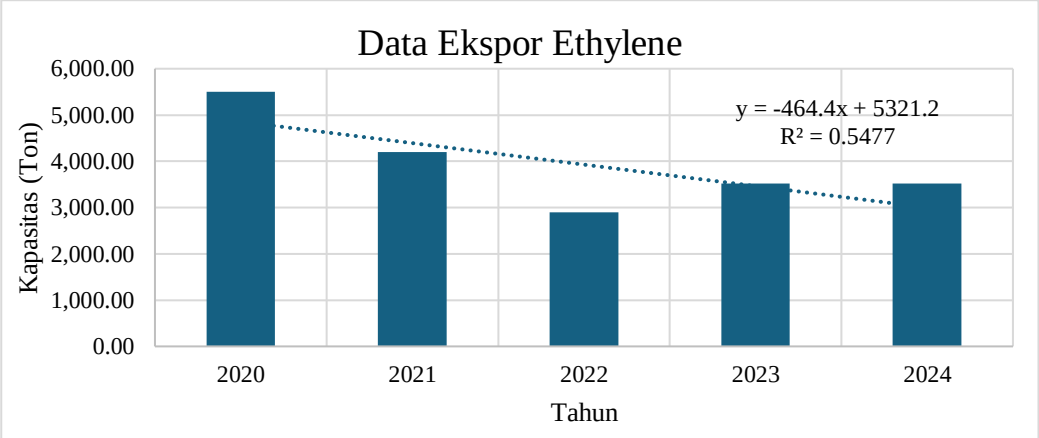
Meskipun belum ada industri *ethylene* khusus untuk agro yang terintegrasi secara eksplisit di Indonesia, ketersediaan *ethylene* dari produksi dalam negeri dan data impor yang terus meningkat membuka peluang besar untuk mengembangkan pemanfaatannya dalam sektor pertanian. Dengan pengembangan infrastruktur,

teknologi aplikasi, dan kebijakan yang mendukung, Indonesia dapat bergerak menuju penggunaan *ethylene* secara lebih efisien dan berkelanjutan, tidak hanya untuk industri kimia, tetapi juga untuk mendukung produksi tanaman klimaterik yang berkelanjutan dan berdaya saing global.

Kebutuhan *ethylene* di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat dalam beberapa tahun ke depan, sejalan dengan perkembangan sektor perkebunan tanaman klimaterik yang terus tumbuh. *Ethylene*, sebagai hormon tanaman berbentuk gas, memiliki peran penting dalam proses pematangan buah, penuaan jaringan, serta respons tanaman terhadap stres lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan *Ethyelene* dalam pertanian diprediksi akan mengalami peningkatan signifikan. Data impor serta ekspor *ethylene* dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan 1.2.



Gambar 1.1 Data Impor *Ethylene* di Indonesia



Gambar 1.2 Data Ekspor *Ethylene* di Indonesia

Sumber: Dokumen Pribadi Penulis

Karena nilai R^2 pada salah satu data kurang dari 0.9, metode interpolasi linear tidak dapat digunakan secara andal untuk memprediksi kapasitas. Oleh karena itu, untuk memprediksi data pembangunan pabrik *ethylene* pada tahun 2029, digunakan

metode pertumbuhan rata-rata tahunan. Metode ini dipilih karena lebih sesuai untuk menggambarkan tren pertumbuhan kapasitas yang tidak linier dan memberikan estimasi yang lebih realistis berdasarkan data historis. Data impor ekspor *ethylene* di Indonesia dan pertumbuhannya dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Data Impor Ekspor Ethylene di Indonesia dan Pertumbuhannya

Tahun	Jumlah		% Prediksi	
	Ekspor (Ton)	Impor (Ton)	Ekspor	Impor = Konsumsi
2020	5.500,70	792.258,43	-	-
2021	4.200,48	825.237,51	-23,65	4,16
2022	2.900,25	850.633,54	-30,95	3,08
2023	3.519,33	880.526,35	21.35	3,51
2024	3.519,25	925.325,14	0	5,09
Total (% Prediksi)			**-33,24**	**15,84**
I (Rata-rata)			**-8,31**	**3,96**

Sumber: Badan Pusat Statistik Tahun 2024 dan Penulis

1.1.1.1 Perhitungan Kapasitas Produksi

Direncanakan pabrik akan berdiri pada tahun 2029. Pada produksi ini, data yang digunakan adalah data impor dan ekspor dari tahun 2020-2024, sehingga perkiraan penggunaan *ethylene* pada tahun 2027 dapat dihitung dengan rumus metode *discounted* sebagai berikut:

$$M = P\,(1+i)^n$$

Dimana:

M = Jumlah produk pada akhir tahun perhitungan

P = Data besarnya impor dan ekspor pada tahun 2024

M_1 = Nilai impor pada tahun 2029

M_2 = Nilai produksi pabrik lama pada tahun 2029

M_3 = Nilai produksi pabrik baru pada tahun 2029

M_4 = Nilai ekspor pada tahun 2029

i = Rata-rata kenaikan impor setiap tahun

n = Selisih tahun 2024 dan tahun 2029 (5 tahun)

Neraca Massa Peluang Kapasitas

$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5$

$M_3 = (M_4 + M_5) – (M_1 + M_2)$

Dimana:

M_1 = Nilai impor pada tahun 2029

M_2 = Nilai produksi pabrik lama pada tahun 2029

M_3 = Nilai produksi pabrik baru pada tahun 2029

M_4 = Nilai ekspor pada tahun 2029

a. Perkiraan Nilai Impor (M_5) pada tahun 2029

$M_{2029} = P\ (1+i)^n$

$M_{2029} = 925.325,14\ (1+3,96\%)^{(2029-2024)}$

$M_{2029} = 925.325,14\ (1+0,0396)^{(5)}$

$M_{2029} = 925.325,14\ (1,0396)^{(5)}$

$M_{2029} = 1.123.636,18$ Ton/tahun

b. Perkiraan Nilai Ekspor (M_4) pada tahun 2029

$M_{2029} = P\ (1+i)^n$

$M_{2029} = 3.519,25\ (1+ (-8,31\%)^{(2029-2024)}$

$M_{2029} = 3.519,25\ (1+(-0,0831)^{(5)}$

$M_{2029} = 3.519,25\ \ (0,9169)^{(5)}$

$M_{2029} = 2.280,40$ Ton/tahun

c. Menghitung Peluang Kapasitas Berdasarkan Prediksi Data Ekspor dan Impor pada Tahun 2029

M_2 = 900.000 Ton/tahun

$M_1 + M_2 + M_3 = M_4 + M_5$

$M_3 = (M_4 + M_5) – (M_1 + M_2)$

$M_3 = (1.123.636,18$ Ton/tahun + 2.280,40 Ton/tahun) – (0 + 900.000)

$M_3 = 225.916,58$ Ton/tahun

d. Menghitung Kapasitas Produksi pada Tahun 2029

Kapasitas Produksi = 0,6 x Peluang Kapasitas

= 0,6 x 225.916,58 Ton/tahun

= 135.549,95 Ton/tahun ≈ **135.000 Ton/tahun**

Berdasarkan hasil perhitungan peluang kapasitas, maka ditetapkan kapasitas produksi *ethylene* pada tahun 2029 adalah 0,6 dari peluang kapasitas yang didapatkan yaitu sebesar 135.000 Ton/tahun. Proyeksi kebutuhan *ethylene* di Indonesia 10 tahun mendatang dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Proyeksi Kebutuhan Ethylene di Indonesia 10 Tahun Mendatang

Tahun	Kebutuhan	Produksi (Ton/tahun)	Kontribusi Pemenuhan Kebutuhan (%)
2029	1.168.165,86	135.000	11.56%
2030	1.214.431,06	135.000	11.12%
2031	1.262.528.60	135.000	10.69%
2032	1.312.531,03	135.000	10.29%
2033	1.364.513,82	135.000	9.89%
2034	1.418.555,38	135.000	9.52%
2035	1.474.737,26	135.000	9.15%
2036	1.533.144,23	135.000	8.81%
2037	1.593.864,40	135.000	8.47%
2038	1.656.989,39	135.000	8.15%

Sumber: Dokumen Pribadi Penulis

1.1.2 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu faktor penting bagi kelangsungan proses produksi. Bahan baku yang dibutuhkan pada pembuatan *ethylene* adalah *ethanol*. Berikut adalah beberapa perusahaan dalam negeri dan luar negeri terbesar yang memproduksi *Ethanol*, yang dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Pabrik *Ethanol* di Indonesia dan Dunia

No	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Kapasitas (Ton/tahun)
1	Indonesia *Ethanol* Industry	Lampung, Indonesia	20.000
2	Madu Baru	Yogyakarta, Indonesia	7.500
3	Energi Agro Nusantara	Mojokerto, Indonesia	30.000
4	Molindo Raya Industrial	Malang, Indonesia	10.000
5	Indo Acidatama	Karanganyar, Indonesia	3.000

No	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Kapasitas (Ton/tahun)
6	Shangkarganj	Lahore, Pakistan	109.500
7	JDW Group	Lahore Cantt, Pakistan	83.950
8	Rana Sugars Ltd	Chandigarh, India	86.396
9	Habib Sugar Mills Ltd	Nawabshah, Pakistan	41.021
10	Vietnam Biofuel Ethanol Factory	Dung Quat, Vietnam	70.000
11	Tung Lam Ethanol Factory	Dong Nai, Vietnam	50.000
12	CropEnergies AG	Mannheim, Jerman	400.000
13	Nordzucker	Klein Wanzleben, Jerman	102.570
14	Verbio SE	Zörbig, Germany	300.000

Sumber: Tertera pada Daftar Pustaka

Untuk memenuhi kebutuhan bahan baku pembuatan *ethylene* dapat dilakukan perhitungan stoikiometri, menggunakan kapasitas produksi sebesar 135.000 ton/tahun, sehingga kebutuhan ethanol dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_2H_5OH_{(l)} \longrightarrow C_2H_{4(g)} + H_2O_{(l)}$$

(*Ethanol*) (*Ethylene)* (Air)

Mol *Ethylene* $= \frac{\text{Massa } Ethylene}{\text{BM } Ethylene}$

$= \frac{135.000.000.000 \text{ gram/tahun}}{28{,}054 \text{ gram/mol}}$

$=$ 4.812.148 mol/tahun

Massa *Ethnaol* = Koefisien C_2H_5OH x BM C_2H_5OH x Mol *Ethylene*

$= 1 \; x \; 46{,}07 \frac{gram}{mol} \; x \; 4.812.148 \; \frac{mol}{\text{tahun}}$

$= 221.695.658{,}4 \frac{gram}{tahun}$

= 221.695.6584 ton/tahun

Untuk menghasilkan ethylene 99,99% dari *ethanol* 96%, dilakukan *Mark Up* bahan baku sebesar + 4,17% dari perhitungan awal. Hal ini bertujuan untuk mengkompensasi kadar air serta memastikan target kapasitas produksi tetap terpenuhi.

Jadi, hasil` = 221.695.658,4 x 104,18

= 230.965.909,091 $\frac{gram}{tahun}$

1.1.3 Kapasitas Komersil Pabrik *Ethylene*

Kapasitas produksi secara komersial yang telah ada dapat dilihat pada Tabel 1.5. Pembangunan pabrik *ethylene* dengan kapasitas 135.000 ton per tahun merupakan langkah strategis yang secara logis dan teknis layak dilakukan, terutama dalam mendukung ketahanan pasokan *ethylene* nasional sekaligus mendorong pertumbuhan agroindustri tanaman klimaterik dengan mempertimbangkan beberapa alasan yaitu:

a. Kebutuhan Pasar yang Bertambah

   Permintaan *ethylene* di Indonesia terus meningkat, baik dari sektor industri petrokimia maupun sektor agroindustri, khususnya tanaman klimaterik yang membutuhkan *ethylene* untuk proses pematangan pascapanen. Meski PT. Chandra Asri sudah memiliki kapasitas besar, peningkatan permintaan akan memerlukan tambahan pasokan yang andal. Pabrik baru dengan kapasitas 135.000 ton akan mengisi celah ini dan membantu mengurangi ketergantungan impor

b. Skala Kapasitas yang Sesuai dengan Risiko dan Investasi

   Kapasitas 135.000 ton per tahun merupakan skala yang lebih kecil dibanding pabrik besar (900.000 ton), sehingga investasi modal dan risiko finansial fase awal lebih terkendali. Ini memungkinkan pembangunan secara bertahap, fleksibel, dan risiko kegagalan lebih kecil dibanding membangun pabrik besar secara langsung

c. Fleksibilitas Produksi dan Pertumbuhan Kapasitas

   Pabrik dengan kapasitas 135.000 ton dapat dirancang dengan teknologi modular atau mudah dikembangkan untuk ekspansi kapasitas di masa mendatang. Hal ini memungkinkan menyesuaikan produksi dengan perkembangan kebutuhan pasar dan ketersediaan bahan baku, tanpa harus membangun pabrik baru secara langsung

d. Pengalaman *Start Up* yang Memadai

   Berdasarkan data pengalaman pabrik lain, *start up* pabrik baru biasanya memulai dengan produksi sekitar 15-20% dari kapasitas desain, dan secara bertahap meningkat. Dengan kapasitas yang relatif kecil, pabrik baru ini dapat melalui fase *start up* dengan risiko teknis dan operasional yang lebih terkendali

Produsen Ethylene di Dunia dapat dilihat pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Produsen *Ethylene* di Dunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton)
Shell Global	The Hague, Netherlands	8.100.000
Reliance Industries Limited	Mumbai, India	4.000.000
INEOS Group AG	London, UK	2.300.000
ExxonMobil Corp.	Irving, Texas	1.900.000
Chevron Phillips Chemical	The Woodlands, Texas	1.865.000
SABIC	Riyadh, Saudi Arabia	1.800.000
Borealis AG	Vienna, Austria	1.000.000
PT Chandra Asri Tbk	Banten, Indonesia	900.000
China Petroleum & Chemica	Beijing, China	845.000
Nova Chemicals Corporation	Joffre, Alberta, Canada	816.466
Braskem SA	Sao Paulo, Brazil	260.000

Sumber: Tertera pada Daftar Pustaka

1.2 Pemilihan Lokasi Pabrik

Untuk menentukan lokasi pabrik, maka perlu diketahui beberapa hal seperti sifat proses produksi *ethylene*, salah satunya yaitu menentukan apakah pabrik termasuk dalam kategori *weight loss* atau *weight gain*.

- *Weight Loss*

  Pabrik jenis *weight loss* merupakan pabrik dimana bobot produknya lebih ringan dibanding dengan bahan bakunya. Untuk pabrik jenis *weight loss*, letak pabrik sebaiknya dekat dengan bahan baku untuk meminimalisir besarnya biaya transportasi pengiriman bahan baku baku

- *Weight Gain*

  Pabrik jenis *weight gain* merupakan kebalikan dari teori *weight loss*, dimana pabrik dengan jenis *weight gain* merupakan pabrik dengan bobot produknya lebih besar dibanding dengan bahan bakunya. Pabrik jenis *weight gain* cenderung ditempatkan di daerah pemasaran industri yang biasanya tidak mengalami kesulitan dalam penggunaan bahan baku atau mudah diperoleh di daerah sekitarnya

Lokasi pabrik ditentukan berdasarkan pada beberapa faktor antara lain ketersediaan bahan baku, tenaga kerja, fasilitas transportasi, letak pasar, utilitas, perluasan pabrik, akses

geografi dan social serta peraturan pemerintah dan keadaan masyarakat. Didasarkan pada faktor-faktor pertimbangan diatas, maka terdapat tiga alternatif lokasi yang dapat dipilih yaitu yang dapat dilihat pada Tabel 1.6.

Tabel 1.6 Perbandingan Lokasi Pemilihan Pabrik

Parameter	**Lokasi**		
	Kawasan Industri Maspion (Gresik)	**Kawasan Industri Terpadu Batang (Batang)**	**Krakatau *Industrial Estate* Cilegon (Banten)**
Letak Sumber Bahan Baku	Dekat dengan PT. Energi Agro Nusantara berlokasi di Mojokerto dan PT. Molindo Raya Industrial berlokasi di Malang sebagai produsen e*thanol* dalam negeri	Dekat dengan PT. Madu Baru berlokasi di Yogyakarta dan PT. Indo Acidatama berlokasi di Karaganyar sebagai produsen *ethanol* dalam negeri	Dekat dengan PT. Indonesia *Ethanol* Industrial yang berlokasi di Lampung sebagai produsen *ethanol* dalam negeri
Tenaga Kerja	Potensi Sumber Daya Manusia Baik UMK Kabupaten Gresik Rp 5.195.401,00	Potensi Sumber Daya Manusia Baik UMK Kabupaten Batang Rp 2.708.520,00	Potensi Sumber Daya Manusia Baik UMK Kota Cilegon Rp 5.469.922,59
Fasilitas Transportasi	Jalur transportasi darat dan udara memadai serta dekat dengan Pelabuhan Maspion, Pelabuhan Manyar, dan Pelabuhan	Jalur trasportasi darat sangat memadai namun pada jalur transportasi laut yaitu Pelabuhan *Multipurpose* Batang yang masih dalam tahap perencanaan untuk	Jalur transportasi darat dan udara memadai serta dekat dengan Pelabuhan Indah Kiat, Pelabuhan Cilegon Mandiri, dan Pelabuhan Merak

Parameter	Lokasi		
	Kawasan Industri Maspion (Gresik)	**Kawasan Industri Terpadu Batang (Batang)**	**Krakatau *Industrial Estate* Cilegon (Banten)**
	Tanjung Perak merupakan pelabuhan yang paling banyak dilalui untuk impor *ethanol*	pembangunan belum siap beroperasi	
Letak Pasar	Prospek Pemasaran sangat baik karena merupakan kawasan industri, sehingga jarak antara lokasi pabrik dengan segmen pasar relatif dekat Pendistribusian Produk untuk ekspor juga mudah karena dekat dengan pelabuhan	Prospek Pemasaran baik karena merupakan kawasan industri, sehingga jarak antara lokasi pabrik dengan segmen pasar relatif dekat, tetapi masih berkembang belum ada industri besar disekitarnya Pendistribusian Produk untuk ekspor juga mudah karena dekat dengan pelabuhan, tetapi masih blum terbilang sangat aktif	Prospek Pemasaran sangat baik karena merupakan kawasan industri, sehingga jarak antara lokasi pabrik dengan segmen pasar relatif dekat Pendistribusian Produk untuk ekspor juga mudah karena dekat dengan pelabuhan
Utilitas	Dapat terpenuhi dengan baik	Dapat terpenuhi dengan baik	Dapat terpenuhi dengan baik
Perluasan Pabrik	Perlusan pabrik masih bisa dilakukan	Perlusan pabrik masih bisa dilakukan karena masih banyak lahan yang belum ditempati	Perlusan pabrik masih bisa dilakukan

Parameter	Lokasi		
	Kawasan Industri Maspion (Gresik)	**Kawasan Industri Terpadu Batang (Batang)**	**Krakatau *Industrial Estate* Cilegon (Banten)**
Akses Geografi dan Sosial	Jauh dari pemukiman	Jauh dari pemukiman	Jauh dari pemukiman
Peraturan Pemerintah dan Keadaan Masyarakat	Regulasi sudah diatur dalam Peraturan daerah. Mendukung dan menguntungkan.	Regulasi sudah diatur dalam Peraturan daerah. Mendukung dan menguntungkan.	Regulasi sudah diatur dalam Peraturan daerah. Mendukung dan menguntungkan.

Sumber: Dokumen Tinjauan Pribadi Penulis

Setelah meninjau hasil komparasi pada Tabel 1.6, maka lokasi yang dipilih untuk pembangunan pabrik *ethylene* adalah pada Kawasan Industri Maspion (Gresik). Pertimbangan-pertimbangan yang mendasari pemilihan Kota Gresik adalah sebagai berikut:

1. Letak Sumber Bahan Baku

   Bahan baku *ethanol* diperoleh dari dalam negeri, antara lain dari PT. Energi Agro Nusantara yang berkapasitas 30.000 ton/tahun dan berlokasi di Mojokerto, serta PT. Molindo Raya Industrial yang berlokasi di Malang dengan kapasitas 10.000 ton/tahun. Jika dibandingkan dengan lokasi lainnya, di Krakatau *Industrial Estate* Cilegon Banten hanya terdapat satu perusahaan penyedia bahan baku, yaitu Indonesia *Ethanol* Industry dengan kapasitas 20.000 ton/tahun. Sedangkan di Kawasan Industri Terpadu Batang, terdapat dua perusahaan, yaitu Madu Baru berkapasitas 7.500 ton/tahun dan Indo Acidatama berkapasitas 3.000 ton/tahun. Dengan ketersediaan bahan baku yang relatif dekat di beberapa lokasi strategis, biaya transportasi bahan baku dapat ditekan secara signifikan, serta pemenuhan kapasitas bahan baku menjadi lebih terjamin dan efisien

2. Tenaga Kerja

   Daerah Kota Gresik secara konsisten menunjukkan keunggulan dalam penyerapan tenaga kerja lokal, didukung oleh kebijakan tegas dari Pemerintah Kabupaten Gresik melalui Perda No. 7 Tahun 2022 yang mewajibkan minimal 60% tenaga kerja dari daerah setempat bahkan lebih tinggi jika memungkinkan. Kebijakan

ini telah melahirkan dampak nyata berupa partisipasi warga lokal yang tinggi dalam sektor industri, mendorong pertumbuhan ekonomi inklusif dan berkelanjutan (Pemkab Gresik, 2026). Berbeda dengan Kota Cilegon, di mana capaian retribusi penggunaan Tenaga Kerja Asing (TKA) mencapai 84,13% hingga April 2026, justru menunjukkan ketergantungan kuat pada tenaga kerja non local (Disnaker Kota Cilegon, 2026). Sementara itu, meskipun daerah Kota Batang mencatat 62% tenaga kerja lokal dan menjalin kemitraan dengan 14 SMK di Batang dan Pekalongan (Karir Batang, 2026), namun kinerjanya belum mampu menyamai kedalaman dan konsistensi yang dicapai Gresik terutama dalam hal regulasi yang kuat, ekosistem industri yang matang, serta dampak sosial ekonomi yang lebih luas. Oleh karena itu, dalam konteks pengembangan industri berbasis lokal, Kawasan Industri Gresik menjadi pilihan paling strategis dan berkelanjutan (Disnaker Kota Cilegon, 2026; Karir Batang, 2026; Pemkab Gresik, 2026).

3. Fasilitas Transportasi

   Kawasan Industri Gresik secara signifikan unggul dalam kesiapan infrastruktur transportasi, baik darat maupun laut, yang sangat mendukung efisiensi logistik impor *ethanol*. Jalur transportasi darat dan udara di Gresik sangat memadai dengan akses cepat ke jaringan jalan nasional dan bandara terdekat. Lebih penting lagi, Gresik berada dekat dengan tiga pelabuhan strategis utama untuk impor *ethanol* di Jawa Timur, yakni Pelabuhan Maspion, Pelabuhan Manyar, dan Pelabuhan Tanjung Perak. Ketiga pelabuhan ini telah beroperasi penuh dengan kapasitas besar, fasilitas modern, dan keterhubungan langsung ke pusat industri serta jaringan distribusi nasional.

   Sebaliknya, meskipun Cilegon memiliki akses ke pelabuhan-pelabuhan strategis seperti Pelabuhan Indah Kiat, Pelabuhan Cilegon Mandiri, dan Pelabuhan Merak, pelabuhan-pelabuhan tersebut jarang digunakan untuk impor *ethanol* sebagai bahan baku. Sementara itu, Batang memang mencatat kemajuan dengan pembangunan Pelabuhan *Multipurpose* Batang sebagai bagian dari Kawasan Industri Terpadu Batang (KITB). Namun, pelabuhan tersebut masih dalam tahap perencanaan dan pembangunan sehingga belum siap beroperasi. Hal ini menyebabkan Batang belum dapat mendukung pengiriman impor *ethanol* secara langsung dan andal. Selain itu, jalur transportasi darat dan udara di Batang masih terbatas dan belum terintegrasi optimal dengan jaringan distribusi logistik nasional

4. Letak Pasar

Sebagai produsen *ethylene* baru yang berbasis di Jawa Timur, strategi penetrasi pasar kami diarahkan secara spesifik pada dua pilar konsumen utama: sektor agroindustri perkebunan buah klimakterik untuk mendukung teknologi pematangan (*ripening*) modern, serta kompleks industri petrokimia hilir sebagai penyedia bahan baku utama polimerisasi plastik dan senyawa kimia antara. Berikut untuk letak pasar dapat dilihat pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7 Letak Pasar untuk Pabrik

Sektor Industri Agro dan Perkebunan		
No	**Nama Perusahaan dan Deskripsi**	**Lokasi**
1	PT Sewu Segar Nusantara (Distributor Merek "Sunpride") Cabang Surabaya Perusahaan distribusi buah tropis segar terbesar di Indonesia. Cabang Surabaya mengoperasikan fasilitas penyimpanan dingin (*cold storage*) dan ruang pematangan bertekanan (*pressurized ripening room*) modern untuk melayani pasokan di Jawa Timur dan Bali. Kebutuhan gas *ethylene* dalam tabung di fasilitas ini bersifat berkelanjutan guna mematangkan komoditas pisang Cavendish, pisang mas, pepaya, dan melon sebelum didistribusikan ke jaringan ritel modern	Surabaya dan Sidoarjo, Jawa Timur
2	PT Great Giant Foods (GGP) Unit Jawa Timur Merupakan bagian dari raksasa agroindustri terintegrasi di Indonesia. Unit usahanya di Jawa Timur berfokus pada manajemen pascapanen buah segar kemitraan lokal. Konsumsi *ethylene* difokuskan pada pengaturan kematangan buah kualitas *premium* agar sesuai dengan standardisasi mutu pasar modern dan ekspor	Sidoarjo dan Surabaya, Jawa Timur
3	PT Puspa Agro (Pasar Induk Modern Jawa Timur) Bertindak sebagai hub perdagangan dan logistik komoditas pertanian terbesar di Jawa Timur. Kompleks pergudangan di kawasan ini menampung berbagai pelaku usaha grosir dan importir buah yang mengoperasikan unit pemeraman	Jemundo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur

Sektor Industri Agro dan Perkebunan		
No	**Nama Perusahaan dan Deskripsi**	**Lokasi**
	(*ripening chamber*) mandiri untuk menjaga stabilitas pasokan harian.	
4	Gapoktan Prima Tani (Kemitraan Pisang Mas Kirana) Sentra utama produksi pisang mas kirana kualitas unggul di Jawa Timur yang terikat kontrak pasokan dengan distributor nasional. Penggunaan gas *ethylene* komersial di tingkat asosiasi ini didorong untuk meminimalkan kerugian fisik akibat pembusukan dan menghasilkan warna kuning buah yang merata	Desa Pasrujambe, Kecamatan Pasrujambe, Kabupaten Lumajang, Jawa Timur
5	Asosiasi Petani Alpukat Purwodadi Sentra produksi alpukat terbesar di Jawa Timur yang membudidayakan varietas lokal super (seperti alpukat Arjuna 1, Cohat, dan Dul Bakar). Kebutuhan gas *ethylene* digunakan pada tahap awal pengumpulan buah pascapanen untuk menyeragamkan kematangan sebelum dikirim melalui perjalanan logistik jarak jauh menuju Jabodetabek	Kecamatan Purwodadi, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur
6	Perkebunan Mangga Alpukat (Klonal 21) Oro-oro Ombo Sentra budidaya mangga gadung klonal 21 (mangga alpukat) yang memiliki karakteristik pascapanen sangat sensitif terhadap perubahan suhu dan atmosfer. Aplikasi *ethylene* terkontrol di gudang pengemasan lokal sangat krusial untuk mengunci tekstur daging buah terbaik sebelum dipasarkan	Desa Oro-oro Ombo Kulon, Kecamatan Rembang, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur
7	PT Nusantara Tropical Fruit (NTF) / Great Giant Foods (GGF Merupakan perkebunan pisang Cavendish tunggal terbesar di Indonesia dengan luas lahan mencapai 1.623 hektare. Sebagai produsen skala mega-industri, PT NTF mengonsumsi gas *ethylene* dalam volume sangat besar untuk menunjang puluhan stasiun *ripening* di pusat pengemasan raksasa mereka sebelum buah didistribusikan secara nasional	Terbanggi Besar, Kabupaten Lampung Tengah, Lampung

Sektor Industri Agro dan Perkebunan		
No	**Nama Perusahaan dan Deskripsi**	**Lokasi**
8	Koperasi Tani Hijau Makmur Koperasi tani yang menghimpun petani pisang Cavendish lokal melalui skema korporatisasi petani yang bermitra dengan eksportir besar. Koperasi ini membutuhkan suplai gas *ethylene* terkompresi dalam silinder untuk mengelola proses pematangan terpusat pascapanen	Kabupaten Tanggamus, Lampung
9	PT Nusantara Segar Abadi (NSA) Anak perusahaan dari PT Great Giant Pineapple (GGP) yang mengelola perkebunan pisang Cavendish seluas 50 hektare. Fasilitas ini mengoperasikan stasiun pengepakan (*packing house*) mandiri untuk memasok buah segar berkualitas tinggi secara cepat guna memenuhi kebutuhan industri pariwisata (hotel, restoran) dan ritel di Bali	Desa Pekutatan, Kecamatan Pekutatan, Kabupaten Jembrana, Bali
10	PT Panyindangan (Dharma Satya Nusantara Tbk - DSNG) Melakukan diversifikasi bisnis dengan mengonversi ratusan hektare lahan Hak Guna Usaha (HGU) menjadi perkebunan pisang Cavendish kualitas ekspor. Unit usaha ini memerlukan pasokan ethylene berkala untuk mendukung stasiun *ripening* regional guna mendistribusikan pisang matang ke wilayah Jabodetabek	Kecamatan Cikidang dan Kalapanunggal, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat
11	Sentra Kawasan Kampung Pisang Jawa Barat Kawasan budidaya pisang yang diinisiasi oleh Kementerian Pertanian melalui kemitraan dengan PT Sewu Segar Nusantara. Sentra-sentra ini memerlukan pasokan gas ethkompresi di tingkat depo pengumpul (*collection center*) untuk menyortir dan mematangkan buah sebelum masuk ke pasar metropolitan	Kabupaten Sukabumi, Kabupaten Cianjur, dan Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat
12	Perkebunan Pisang Cavendish "Moonking" Jaringan agribisnis swasta mandiri yang mengelola sekitar 30 hektare kebun pisang Cavendish intensif untuk menyuplai supermarket besar di Jawa Tengah dan Yogyakarta. Mereka	Kabupaten Cilacap dan Kabupaten Klaten, Jawa Tengah

Sektor Industri Agro dan Perkebunan		
No	**Nama Perusahaan dan Deskripsi**	**Lokasi**
	mengaplikasikan ruang pematangan *ethylene* mandiri guna bersaing dengan kualitas produk distributor multinasional.	

Sektor Industri Petrokimia		
No	**Nama Perusahaan dan Deskripsi**	**Lokasi**
1	PT TPC Indo Plastic and Chemicals Perusahaan penanaman modal asing (PMA) yang mengoperasikan pabrik petrokimia penghasil resin *Polyvinyl Chloride* (PVC) terbesar di Jawa Timur. Pabrik ini membutuhkan pasokan bahan baku antara turunan *ethylene*, yaitu *Vinyl Chloride Monomer* (VCM), dalam skala masif untuk dipolimerisasi menjadi serbuk resin PVC kualitas industri	Kawasan Industri Maspion, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur
2	PT Maspion Polystyrene Memproduksi resin *Polystyrene* (PS) dengan kapasitas ribuan ton per tahun untuk menyuplai industri wadah makanan keras dan komponen elektronik. Bahan baku utamanya adalah *Styrene Monomer* yang disintesis langsung menggunakan gas *ethylene* hulu melalui proses alkilasi dengan benzena	Kecamatan Gedangan, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur
3	PT Maspion (Divisi Pipa PVC & Pabrik Manufaktur Plastik) Bertindak sebagai konsumen polimer hilir raksasa di Indonesia. Divisi ini mengonsumsi ratusan ribu ton bijih plastik siap pakai berbasis *ethylene* seperti *Polyethylene* (PE) dan *Polyvinyl Chloride* (PVC) untuk dilelehkan dan dicetak menjadi pipa paralon, kemasan fleksibel, insulator kabel, serta produk rumah tangga plastik	Sidoarjo dan Gresik, Jawa Timur
4	PT Asahimas Chemical (ASC)	Ciwandan, Kota Cilegon, Banten

Sektor Industri Petrokimia		
No	**Nama Perusahaan dan Deskripsi**	**Lokasi**
	Konsumen gas *ethylene* langsung terbesar di Indonesia dengan kapasitas produksi resin PVC terintegrasi mencapai 750.000 ton per tahun. Fasilitas ini mereaksikan *ethylene* dengan gas klorin hasil elektrolisis garam untuk membentuk *Ethylene Dichloride* (EDC), yang kemudian diolah melalui reaktor *cracking* menjadi VCM dan dipolimerisasi menjadi PVC	
5	PT Lotte Chemical Titan Nusantara Produsen polimer *Polyethylene* (PE) terkemuka dengan kapasitas produksi sebesar 450.000 ton per tahun. Mereka mengonsumsi gas *ethylene* secara langsung untuk diproses melalui reaktor fase gas guna menghasilkan bijih plastik tipe *High-Density Polyethylene* (HDPE) dan *Linear Low-Density Polyethylene* (LLDPE) bagi industri kemasan fleksibel	Kecamatan Merak, Kota Cilegon, Banten
6	PT Polychem Indonesia Tbk Satu-satunya produsen lokal *Monoethylene Glycol* (MEG) di Indonesia dengan kapasitas terpasang sebesar 216.000 ton per tahun. Perusahaan ini mengonsumsi *ethylene* untuk dikonversi menjadi *Ethylene Oxide* (EO) sebagai produk antara sebelum dihidrasi menjadi MEG, yang merupakan bahan baku utama bagi industri serat poliester (tekstil) serta pembuatan botol plastik PET.	Merak, Kota Cilegon, Banten
7	PT Standard Toyo Polymer (Statomer) Mengoperasikan pabrik pembuatan resin PVC dengan kapasitas 176.000 ton per tahun. Bahan baku utamanya berupa monomer cair VCM yang disintesis dari senyawa *ethylene*	Merak, Kota Cilegon, Banten

Sektor Industri Petrokimia		
No	**Nama Perusahaan dan Deskripsi**	**Lokasi**
8	PT Sulfindo Adiusaha & PT Satomo Indovyl Polymer Kompleks pabrik petrokimia terintegrasi yang memproduksi klorin, soda kaustik, *Ethylene Dichloride* (EDC), *Vinyl Chloride Monomer* (VCM) dengan kapasitas 100.000 ton/tahun, serta resin PVC dengan kapasitas 70.000 ton/tahun. Seluruh unit reaktor EDC/VCM mereka merupakan konsumen aktif gas *ethylene*	Merak, Kota Cilegon, Banten
9	PT Eastern Polymer Mengolah senyawa antara VCM menjadi resin PVC siap pakai dengan kapasitas mencapai 36.000 ton per tahun guna menyuplai kebutuhan industri manufaktur polimer di wilayah Jabodetabek.	Cilincing, Jakarta Utara, DKI Jakarta

Sumber: Tertera pada Daftar Pustaka

5. Utilitas

Kebutuhan untuk utilitas dari pabrik ini meliputi air, LNG dan listrik. Konsumsi air untuk sanitasi dan proses produksi dapat dipenuhi dari pengolahan air Sungai Bengawan Solo yang berjarak sekitar 5–10 km dari lokasi pabrik yang direncanakan. Kebutuhan listrik di kawasan maspion, Gresik, dipenuhi dari jaringan PT PLN (Persero) yang terhubung dalam sistem interkoneksi Jawa–Bali. Suplai listrik diperoleh melalui gardu induk di wilayah Gresik dengan dukungan pembangkit besar di Jawa Timur, sehingga menjamin ketersediaan energi listrik yang stabil untuk operasional industri. Kebutuhan gas bahan bakar di wilayah Gresik dipenuhi melalui jaringan pipa gas bumi yang dikelola oleh PT Perusahaan Gas Negara (PGN). Gas yang disalurkan merupakan hasil produksi domestik maupun regasifikasi LNG dalam sistem interkoneksi Jawa–Bali, sehingga pasokan energi untuk proses pembakaran dapat terjamin secara kontinu dan efisien.

6. Perluasan Pabrik

Lokasi yang dipilih masih memiliki area lahan yang dapat dimanfaatkan di masa depan untuk memenuhi permintaan pasar yang semakin meningkat. Dalam merencanakan pembangunan pabrik, perlu dipertimbangkan pengembangan area pabrik tersebut dalam jangka waktu 10 hingga 20 tahun ke depan. Hal ini bertujuan

agar apabila ada rencana perluasan, tidak akan menemui kendala dalam mencari lahan tambahan

7. Karakteristik Lokasi

   Lokasi di Kabupaten Gresik memiliki keunggulan strategis untuk pembangunan pabrik, terutama dari segi kondisi iklim dan topografi. Dengan iklim tropis yang stabil dan suhu rata-rata yang konsisten, serta curah hujan yang relatif lebih rendah dibandingkan daerah lain di Jawa Timur, Gresik menjadi pilihan yang ideal untuk pengembangan industri manufaktur dan kawasan industri.

8. Peraturan Pemerintah dan Keadaan Masyarakat

   Pabrik juga perlu memperhatikan faktor-faktor yang terkait di dalamnya. Kebijaksanaan pengembangan industri yang berhubungan dengan pemerataan tenaga kerja, peningkatan kesejahteraan masyarakat, serta hasil pembangunan menjadi pertimbangan utama dalam menentukan lokasi pabrik. Oleh karena itu, Kota Gresik dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik ini. Selain itu, Pemerintah Kabupaten Gresik menegaskan komitmennya dalam mendukung swasembada pangan nasional melalui penguatan teknologi, industrialisasi pertanian, dan sinergi lintas sektor hingga tingkat desa. Komitmen ini mencerminkan dukungan pemerintah daerah terhadap pengembangan sektor industri yang berkelanjutan dan berorientasi pada peningkatan kesejahteraan masyarakat lokal. Dengan adanya penguatan teknologi dan integrasi antara sektor industri dan pertanian, diharapkan pabrik yang didirikan dapat berkontribusi positif tidak hanya pada aspek ekonomi, tetapi juga pada pembangunan sosial dan pemberdayaan masyarakat di wilayah sekitar. Pembangunan industri di wilayah seperti Driyorejo dan Manyar membawa dampak perubahan yang kompleks bagi masyarakat setempat. Meskipun terjadi pergeseran fungsi lahan dan perubahan gaya hidup, mayoritas penduduk masih merasakan kecukupan dalam pemenuhan kebutuhan dasar seperti sandang, pangan, dan papan. Namun, perkembangan industri ini juga menimbulkan tantangan, terutama terkait dampak kesehatan lingkungan. Beberapa studi menunjukkan adanya indikasi gangguan kecemasan (anxietas) pada sebagian kecil masyarakat yang terdampak langsung oleh aktivitas industri. Kondisi ini menegaskan pentingnya pengelolaan lingkungan dan aspek sosial yang matang dalam proses pembangunan industri agar kesejahteraan masyarakat tetap terjaga secara holistik. Lokasi yang akan dipilih dalam Pembangunan pabrik dapat dilihat pada Gambar 1.3.

Gambar 1.3 Lokasi Pendirian Pabrik (Sumber: Google Maps)

1.3 Tinjauan Proses

Proses utama dalam pembuatan *ethylene* adalah proses dehidrasi. Dehidrasi merupakan proses kimia yang melibatkan pelepasan molekul air (H_2O) dari suatu senyawa, baik secara termal maupun dengan bantuan katalis. Dalam industri kimia, reaksi ini banyak dimanfaatkan, salah satunya pada konversi *ethanol* menjadi ethylene melalui reaksi eliminasi air (Fogler, 1999). Berikut adalah reaksi dehidrasi *ethanol* pembentukan dari *ethanol*:

$$\underset{\textbf{(}\textit{Ethanol}\textbf{)}}{C_2H_5OH_{(l)}} \longrightarrow \underset{(\textit{Ethylene})}{C_2H_{4(g)}} + \underset{(\textit{Water})}{H_2O_{(g)}}$$

1.3.1 Macam – macam Proses Pembuatan *Ethylene*

Berikut merupakan tinjauan proses dalam pembuatan *ethylene*

1. Dehidrasi *Ethanol*

   Dehidrasi adalah suatu proses pelepasan air dari suatu senyawa *ethanol* dalam reaksi kimia untuk menghasilkan suatu produk *ethylene*. Berdasarkan Taheri et al. (2013), menggunakan metode dehidrasi *ethanol* secara katalitik menggunakan reaktor tipe adiabatik (tanpa perpindahan panas langsung ke lingkungan reaksi

selama proses berlangsung). Metode ini enggunakan konfigurasi reaktor adiabatik multi tahap (*multistage adiabatic reactor*) yang disusun secara seri atau paralel. Reaksi ini memanfaatkan katalis asam padat (*solid acid catalyst*) seperti *gamma alumina* (γ-Al_2O_3), silika-alumina, atau zeolite. Berikut merupakan reaksinya:

$$\underset{\textbf{(}\textit{Ethanol}\textbf{)}}{C_2H_5OH\ (g)} \longrightarrow \underset{(\textit{Ethylene})}{C_2H_4\ (g)} + \underset{(\textit{Water})}{H_2O\ (g)}$$

Tinjauan kondisi operasi dan kinerja:

A. Suhu

   Suhu *inlet* reaktor dijaga pada 350–500°C (maksimal 550°C) dan suhu *outlet* pada 300–450°C

B. Tekanan

   2–50 barg dan dioptimalkan pada 4–40 barg

C. Konversi & Selektivitas

   Konversi *ethanol* mencapai 100% dan selektivitas ethylene mencapai 100%. Produk sampingan seperti dietil eter, asetaldehida, metana, dan butena tidak terdeteksi (ND / *Not Detected*) pada kondisi operasi optimum

Kelebihan dan kekurangan:

A. Kelebihan:

- Efisiensi Sempurna

  Konversi dan selektivitas yang mencapai 100% menghilangkan kebutuhan sistem pemisahan dan daur ulang (*recycle*) *ethanol* sisa yang mahal

- Mencegah Degradasi Termal

  Ethanol diuapkan dan dipanaskan secara terpisah tanpa melewati tungku pemanas langsung (*fired heater/superheating furnace*), melainkan dicampur *inline* dengan gas pembawa panas lembam (*inert heat carrier* seperti uap *superheated*). Hal ini mencegah dekomposisi termal *ethanol* menjadi aldehida dan pembentukan kokas pada koil pemanas

- Umur Katalis Lebih Panjang

  Profil suhu terkendali berkat sistem reaktor multi tahap dengan pemanasan antara (*inter stage heating*), memperpanjang umur operasional katalis

B. Kekurangan

- Reaksi sangat endotermis sehingga membutuhkan suplai energi termal konstan yang signifikan (berupa uap *superheated*) untuk mempertahankan suhu reaksi di setiap tahap reaktor

2. Metode Oksidasi Selektif atau Oksidatif *Ethanol*

Metode ini adalah rute alternatif pembentukan *ethylene* dari bioetanol melalui reaksi dehidrogenasi oksidatif yang memanfaatkan bantuan oksigen fasa gas. Reaksi ini berjalan menggunakan katalis berbasis silika mesopori yang dimodifikasi dengan logam *vanadium* (V-MCM-41). Keberadaan oksigen teradsorpsi pada permukaan katalis berperan penting dalam memicu pembentukan *ethylene*, menurunkan suhu operasional secara signifikan, dan menghindari batasan kesetimbangan termodinamika. Namun, metode ini menghasilkan produk samping berupa asetaldehida (*acetaldehyde*). Reaksinya adalah sebagai berikut:

A. Reaksi Utama (Oksidasi Selektif ke *Ethylene*)
(Memerlukan oksigen teradsorpsi pada permukaan V*)*

$$C_2H_5OH\ (g) \longrightarrow C_2H_4\ (g) + H_2O\ (g)$$
(*Ethanol*) (*Ethylene*) (*Water*)

B. Reaksi Samping Utama
(Oksidasi Selektif ke Asetaldehida melalui Mekanisme Redoks)

$$C_2H_5OH\ (g) + 1/2\ O_2\ (g) \longrightarrow CH_3CHO\ (g) + H_2O\ (g)$$
(*Ethanol*) (*Oxygen*) (*Acetyl Group*) (*Water*)

C. Oksidasi Lanjut
(Pembentukan Karbon Dioksida & Asam Asetat)

$$CH_3CHO\ (g) + 1/2\ O_2\ (g) \longrightarrow CH_3COOH\ (g)$$
(*Ethanol*) (*Oxygen*) (*Acetic Acid*)

Tinjauan kondisi operasi dan kinerja:

A. Suhu

   Dilakukan pada 300–400°C (Yield *ethylene*) meningkat seiring kenaikan suhu di atas 300°C).

B. Yield & Konversi

   Konversi *ethanol* mencapai 99% pada 400°C dengan rasio umpan O_2/*Ethanol* yaitu 0.5 menggunakan katalis V4b-MCM-41 (rasio molar V/Si optimum sebesar 0.04). Namun, yield *ethylene* maksimal hanya 0.66 (selektivitas *ethylene* 67% dan asetaldehida 26%)

Kelebihan dan kekurangan:

A. Kelebihan

   - Suhu operasi lebih rendah dibandingkan dehidrogenasi hidrokarbon konvensional Dimana tidak dibatasi oleh kesetimbangan termodinamika karena sifat oksigen yang memicu reaksi dehidrogenasi oksidatif

B. Kekurangan

   - Selektivitas *ethylene* rendah karena pembentukan asetaldehida sebagai produk utama sangat dominan pada suhu rendah sehingga memerlukan pasokan oksigen gas (O_2) terus-menerus yang berisiko memicu reaksi pembakaran lanjut menjadi CO_2, serta katalis mengalami deaktivasi cepat jika tidak ada oksigen gas untuk mereoksidasi kisi vanadium katalis

(Gucbilmez et al., 2006)

3. Metode Deoksigenasi Katalitik (Ti-Cu *Diliute Alloys*)

   Metode ini adalah teknologi pemutusan ikatan karbon-oksigen (C–O) secara langsung pada molekul *ethanol* untuk menghasilkan gas *ethylene* (C_2H_4) dan hidrogen (H_2) pada suhu yang sangat rendah atau moderat (sekitar 400 K / 127°C). Reaksi ini memanfaatkan katalis paduan encer logam transisi, yaitu titanium yang didispersikan dalam matriks tembaga (Ti-Cu(111) *dilute alloys*). Atom oksigen yang dilepaskan dari *ethanol* akan terikat kuat pada situs aktif titanium. Kelemahan utama metode ini adalah terjadinya deaktivasi instan karena titanium teroksidasi menjadi TiOx, yang mengubah selektivitas reaktor dari penghasil *ethylene* menjadi asetaldehida pada penggunaan berikutnya. Reaksinya adalah sebagai berikut:

A. Reaksi Utama (Deoksigenasi langsung)

(Oksigen terikat kuat pada permukaan katalis)

C_2H_5OH (g) ⟶ C_2H_4 (g) + H_2O (g) + O_2 (ad)

(*Ethano*l) (*Ethylene*) (*Water*) (*Oxygen*)

B. Reaksi Samping (Dehidrogenasi)

C_2H_5OH (g) ⟶ CH_3CHO (g) + H_2(g)

(*Ethanol*) (*Acetyl Group*) (*Hydrogen*)

Tinjauan kondisi operasi dan kinerja:

A. Suhu

Sangat rendah, berkisar antara 370 K–425 K (97°C–152°C) dalam kondisi vakum ultra-tinggi (UHV)

B. Yield & Selektivitas

Secara teoritis, struktur dimer (Ti_2) dan trimer (Ti_3) memiliki selektivitas deoksigenasi *ethylene* hingga 100%. Namun secara eksperimental, yield *ethylene* yang diperoleh sangat rendah, hanya sekitar 9% dari kapasitas saturasi monolayer

Kelebihan & Kekurangan

A. Kelebihan

- Suhu operasi luar biasa rendah (<155°C) dibandingkan semua metode lain. Keberadaan atom oksigen hasil pemisahan (O(ad)) pada permukaan logam Ti justru membantu melemahkan ikatan *ethylene* sehingga mempermudah desorpsi gas *ethylene* ke fasa gas

B. Kekurangan

- Deaktivasi instan akibat oksidasi mandiri (*self-oxidation*). Oksigen yang dilepaskan dari ikatan C-O *ethanol* tetap tertinggal dan mengoksidasi logam aktif Ti menjadi TiOx. Hal ini langsung mengubah selektivitas reaktor dari penghasil *ethylene* menjadi produsen asetaldehida pada siklus berikutnya. Untuk meregenerasi katalis, dibutuhkan aliran gas H_2 bertekanan tinggi pada suhu 250–400°C (523–673 K

(Shi et al., 2023)

4. Metode *Thermal Cracking Hidrocarbon*

Metode ini adalah rute konvensional komersial berskala masif dalam industri petrokimia yang memproduksi *ethylene* melalui pemecahan termal molekul hidrokarbon jenuh berbasis fosil (seperti etana, propana, atau nafta berat). Karena dibatasi oleh kesetimbangan termodinamika, reaktor ini harus beroperasi pada suhu ekstrem mencapai 850˚C. Metode ini membutuhkan konsumsi energi yang sangat tinggi, menghasilkan emisi gas rumah kaca, serta memproduksi banyak produk sampingan (seperti propilen dan butilen) sehingga memerlukan unit distilasi kriogenik hilir yang sangat rumit dan mahal. Reaksinya adalah sebagai berikut:

$$\underset{\textbf{(}\textit{Ethane}\textbf{)}}{C_2H_6\,(g)} \longrightarrow \underset{(\textit{Ethylene})}{C_2H_4\,(g)} + \underset{(\textit{Hydrogen})}{H_2\,(g)}$$

Tinjauan kondisi operasi dan kinerja:

A. Suhu

Sangat tinggi, mencapai 850°C guna mengatasi batasan kesetimbangan termodinamika

B. Yield

Yield rata-rata *ethylene* dari dehidrogenasi etana industri adalah sekitar 0.55.

Kelebihan & Kekurangan

A. Kelebihan:

- Teknologi sangat matang (*well established*) dan dijalankan dalam kapasitas produksi megaton per tahun secara global

B. Kekurangan:

- Konsumsi energi yang sangat ekstrem karena suhu operasi yang sangat tinggi; ketergantungan mutlak pada ketersediaan dan fluktuasi harga minyak bumi/gas bumi fosil, memproduksi emisi gas rumah kaca CO dan CO_2 dalam jumlah massif, menghasilkan banyak produk sampingan (propilen, butilen, dll.) sehingga memerlukan investasi modal yang sangat besar untuk unit pemisahan kriogenik hilir yang rumit, serta tidak efisien jika fokus pabrik hanya ingin memproduksi *ethylene* murni secara selektif (Pereira, 1999).

Berikut untuk tinjauan proses jika dirumuskan secara terperinci dapat dilihat dalam Tabel 1.8.

Tabel 1.8 Tinjauan Keseluruhan Proses Pembuatan Ethylene

Parameter Dibandingkan	**Metode Dehidrasi *Ethanol* Adiabatik (*Multi Stage*)**	**Oksidasi Selektif (V-MCM 41)**	**Deoksigenasi (Ti-Cu *Alloy*)**	***Thermal Cracking***
Bahan Baku	Bioetanol (Terbarukan)	Bioetanol (Terbarukan)	Bioetanol (Terbarukan)	Etana, Propana, Nafta (Fosil)
Reaksi Utama	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4+H_2O$	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4+H_2O$	$C_2H_5OH \rightarrow C_2H_4+H_2$ O + O(ad)	$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4+H_2$
Katalis	Gamma-Alumina, Zeolit	V-MCM-41 (V/Si 0.04)	Dilute Ti-Cu(111) Alloy	Tanpa katalis (Pemecahan termal)
Suhu Operasi	350 – 500°C	300 – 400°C	97 – 152°C	850°C
Tekanan	2 – 50 barg	Atmosferik	Vakum Ultra-Tinggi (UHV)	Rendah hingga Sedang
Konversi *Ethanol*	100%	99%	Sangat rendah (<10%)	N/A Karena bukan menggunakan *ethanol*
Selektivitas *Ethylene*	100%	67%	Sekitar 9%	55%
Produk Samping	Tidak Terdeteksi (ND)	Asetaldehida, CO_2, metana, dietil eter, asam asetat	Asetaldehida (CH_3 CHO)	Propilen, butilen, dan CO_2
Status Teknologi	Sudah diterapkan oleh pembuat patent	Skala Pilot / Laboratorium	Skala Pilot / Laboratorium	Dominan Global (Komersial)

Sumber: Dokumen Pribadi Tinjauan Penulis

Berdasarkan perbandingan parameter pada tabel atas, metode Dehidrasi *Ethanol* Adiabatik Multi Tahap dipilih sebagai pembuatn *ethylene*, dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Konversi dan Selektivitas Sempurna

   Berbeda dengan metode oksidasi selektif (yield *ethylene* hanya 0.66) dan deoksigenasi yang mengalami kendala yield rendah, dehidrasi adiabatik multi tahap mencapai konversi 100% dan selektivitas *ethylene* 100%. Hal ini meminimalkan biaya kapital (CAPEX) dan biaya operasi (OPEX) karena tidak memerlukan kolom distilasi fraksionasi hilir yang kompleks untuk memisahkan sisa *Ethanol* atau produk samping beracun seperti asetaldehida
2. Stabilitas dan Keberlanjutan Katalis

   Dibandingkan dengan metode deoksigenasi menggunakan paduan Ti-Cu yang mengalami deaktivasi instan akibat *self-oxidation* logam aktif Ti menjadi oksida tak aktif (TiOx), katalis alumina/zeolit pada dehidrasi adiabatik memiliki stabilitas termal yang tinggi. Dengan menghindari tungku pemanas langsung (*fired heater*), degradasi termal bahan baku dan pengendapan karbon (kokas) pada permukaan katalis dapat dicegah, sehingga memperpanjang umur pakai katalis secara signifikan
3. Keunggulan Lingkungan dibandingkan *Thermal Cracking*

   Metode *thermal cracking* konvensional sangat bergantung pada pasokan minyak bumi fosil dan melepaskan emisi gas rumah kaca CO_2 dalam jumlah masif. Penggunaan bioetanol sebagai umpan dehidrasi merupakan langkah hijau (*green chemistry*) yang ramah lingkungan karena memanfaatkan bahan baku terbarukan hasil fermentasi biomassa pertanian

1.3.2 Kegunaan Produk

Ethylene merupakan salah satu bahan kimia dasar yang sangat penting dalam industri petrokimia modern karena perannya sebagai bahan baku utama dalam berbagai proses produksi. Senyawa ini digunakan sebagai monomer dalam reaksi polimerisasi untuk menghasilkan polietilena, yang diaplikasikan secara luas dalam pembuatan kemasan plastik, pelapis kabel, dan berbagai produk konsumen. Selain itu, *ethylene* juga berfungsi sebagai bahan antara (intermediate) dalam sintesis berbagai senyawa kimia lain seperti *ethylene* oksida, *ethanol*, dan α-olefin yang memiliki beragam aplikasi industri. Di sektor agroindustri, *etilen*a berperan sebagai hormon tumbuhan yang mengatur proses pematangan buah, sehingga

dimanfaatkan secara luas untuk mempercepat dan menyeragamkan pematangan hasil panen seperti pisang, tomat, dan mangga dalam rantai distribusi pangan. Dominasi penggunaan etilena baik di industri kimia maupun agroindustri menunjukkan bahwa senyawa ini merupakan komoditas strategis dalam mendukung kebutuhan material dan ketahanan pangan global (Von, 2024; Chen, 2022).