

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri kimia di Indonesia terus mengalami perkembangan yang signifikan, terutama dalam menopang perekonomian nasional. Sebagai salah satu sektor yang memiliki dampak langsung terhadap pertumbuhan ekonomi, sektor ini berperan penting dalam membentuk struktur ekonomi yang lebih seimbang dan kokoh. Potensi Indonesia yang melimpah, baik dari segi sumber daya alam maupun tenaga kerja yang terampil, memberikan keuntungan kompetitif bagi pengembangan industri kimia dalam negeri. Penguatan industri kimia merupakan langkah strategis yang diambil untuk mendukung pembangunan ekonomi jangka panjang yang berkelanjutan (Kementerian Perindustrian, 2021).

Namun, meskipun Indonesia memiliki potensi besar, masih banyak bahan kimia yang diimpor, salah satunya adalah *methyl chloride*. *Methyl chloride* ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), atau klorometana, adalah senyawa kimia yang diproduksi melalui reaksi klorinasi antara metana ( $\text{CH}_4$ ) dan klorin ( $\text{Cl}_2$ ). Senyawa ini sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, termasuk sebagai pelarut dalam proses ekstraksi, pembuatan pestisida, fumigan, refrigeran, dan sebagai bahan baku dalam produksi *vinyl chloride*, yang digunakan untuk memproduksi polivinil klorida (PVC). Selain itu, *methyl chloride* juga digunakan dalam pembuatan produk farmasi dan bahan kimia lainnya yang diperlukan dalam industri kimia dan farmasi (Kirk-Othmer, 1999; American Chemical Society, 2007).

Secara fisik, *methyl chloride* adalah cairan tidak berwarna dengan bau yang khas dan mudah menguap. Sifat pelarutnya yang sangat baik dan *solubility* tinggi menjadikannya bahan yang sangat dicari dalam berbagai proses industri. Keunggulan-keunggulan ini menjadikan *methyl chloride* sebagai bahan yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Namun, meskipun pentingnya produk ini, Indonesia masih mengimpor *methyl chloride* dalam jumlah besar setiap tahunnya,

yang memengaruhi ketergantungan terhadap negara lain dan mempengaruhi keseimbangan neraca perdagangan (Badan Pusat Statistik).

Indonesia, sebagai salah satu negara penghasil klorin terbesar di dunia, memiliki potensi besar untuk memproduksi *methyl chloride* secara domestik. Dengan memproduksi *methyl chloride* di dalam negeri, Indonesia tidak hanya mengurangi ketergantungan pada impor, tetapi juga dapat memanfaatkan sumber daya alam yang melimpah untuk menghasilkan produk bernilai ekonomis lainnya. Produk samping dari produksi *methyl chloride*, seperti metilen klorida, kloroform, karbon tetraklorida, dan asam klorida, dapat dijual atau digunakan dalam berbagai industri, meningkatkan efisiensi ekonomi dan memberikan nilai tambah bagi perekonomian negara (Kirk-Othmer, 1999).

Proses produksi *methyl chloride* dapat dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu proses klorinasi metana dan hidroklorinasi metanol. Proses klorinasi metana lebih dipilih untuk perancangan pabrik ini karena selain menghasilkan *methyl chloride* sebagai produk utama, proses ini juga menghasilkan produk samping yang dapat dikomersialkan, seperti metilen klorida dan kloroform. Sebaliknya, proses hidroklorinasi metanol hanya menghasilkan *methyl chloride* sebagai produk utama dengan air sebagai produk samping yang tidak memiliki nilai jual signifikan (U.S. Environmental Protection Agency, 2015). Oleh karena itu, pemilihan proses klorinasi metana memberikan keuntungan yang lebih besar dari segi keberlanjutan ekonomi dan lingkungan.

Pra-rancangan pabrik *methyl chloride* di Indonesia dengan kapasitas 125.000 ton per tahun menggunakan proses klorinasi metana merupakan langkah strategis untuk memperkuat sektor industri kimia dalam negeri, mengurangi ketergantungan pada impor, dan mempercepat pertumbuhan ekonomi nasional. Selain itu, dengan mengutamakan proses yang ramah lingkungan, seperti menjaga suhu reaksi yang aman dan mencegah kebocoran klorin, pabrik ini dapat beroperasi secara efisien dengan dampak lingkungan yang minimal. Proyek ini juga berpotensi menciptakan lapangan pekerjaan baru, memperkuat daya saing industri Indonesia, dan mendorong pertumbuhan sektor industri lainnya yang bergantung pada *methyl chloride* (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2021).

Pra-rancangan pabrik *methyl chloride* ini akan memberikan kontribusi yang besar terhadap perekonomian Indonesia dalam menghadapi tantangan perdagangan bebas global dan meningkatkan kemandirian industri kimia domestik. Dengan demikian, pengembangan dan penerapan teknologi proses yang efisien dan berkelanjutan sangat diperlukan untuk mendukung pembangunan industri kimia yang lebih maju dan ramah lingkungan di Indonesia. Inovasi proses produksi maupun pembangunan pabrik baru yang menghasilkan produk bernilai ekonomis seperti *methyl chloride* sangat diperlukan dalam membantu menambah devisa negara.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah prarancangan pabrik *methyl chloride* dari metana dan klorin dengan proses klorinasi metana adalah sebagai berikut :

- 1) Apakah pembangunan pabrik *methyl chloride* dapat memenuhi kebutuhan *methyl chloride* di Indonesia dan mengurangi ketergantungan impor dari luar negeri?
- 2) Apakah pembangunan pabrik *methyl chloride* dengan kapasitas produksi 125.000 ton per tahun secara teknis dan ekonomis layak didirikan di Indonesia?

## 1.3 Tujuan Prancangan Pabrik

Tujuan yang mendasari dalam pembuatan pabrik *methyl chloride*:

- 1) Memenuhi kebutuhan *methyl chloride* di Indonesia, sehingga mengurangi ketergantungan pada impor dan menghemat devisa negara.
- 2) Mendorong pengembangan industri kimia dalam negeri, khususnya industri yang memanfaatkan *methyl chloride* sebagai bahan baku, serta meningkatkan daya saing industri Indonesia di pasar global.
- 3) Memberikan kontribusi terhadap perekonomian nasional melalui peningkatan ekspor hasil produksi *methyl chloride*, yang berpotensi meningkatkan devisa negara.

- 4) Menciptakan lapangan pekerjaan baru dalam sektor industri kimia, serta meningkatkan keterampilan dan kemampuan teknologi tenaga kerja lokal.

#### **1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik**

Manfaat prarancangan pabrik *methyl chloride* dari metana dan klorin dengan proses klorinasi metana adalah sebagai berikut :

- 1) Memenuhi kebutuhan *methyl chloride* di Indonesia, yang selama ini bergantung pada impor dari luar negeri.
- 2) Meningkatkan ekonomi negara dengan mengurangi defisit neraca perdagangan akibat impor bahan kimia, serta membuka peluang untuk ekspor produk *methyl chloride*.
- 3) Mengurangi tingkat pengangguran melalui penciptaan lapangan kerja baru dalam proses produksi, distribusi, dan sektor terkait.
- 4) Menunjukkan kemampuan sarjana-sarjana Indonesia dalam mengembangkan dan menerapkan teknologi industri modern, yang akan mengurangi ketergantungan terhadap negara lain.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah di dalam penyusunan dan penyelesaian tugas prarancangan pabrik *methyl chloride* ini yaitu:

- 1) Prarancangan difokuskan pada pabrik *methyl chloride* yang menggunakan proses klorinasi metana dengan bahan baku utama metana dan klorin.
- 2) Analisis yang dilakukan terbatas pada aspek teknis dan ekonomis pabrik *methyl chloride*, tanpa mencakup analisis lebih lanjut mengenai aspek sosial atau lingkungan secara mendalam.
- 3) Analisis kelangsungan ekonomi hanya mencakup analisis terhadap kelayakan finansial pabrik, termasuk biaya investasi, biaya operasional, serta proyeksi pendapatan dan laba dalam jangka panjang.
- 4) Aspek desain dan perencanaan pabrik didasarkan pada kapasitas produksi 125.000 ton per tahun.

## 1.6 Penentuan Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas produksi akan ditentukan berdasarkan kebutuhan dalam negeri dan luar negeri.

### 1.6.1 Kebutuhan *Methyl Chloride* di Dalam Negeri

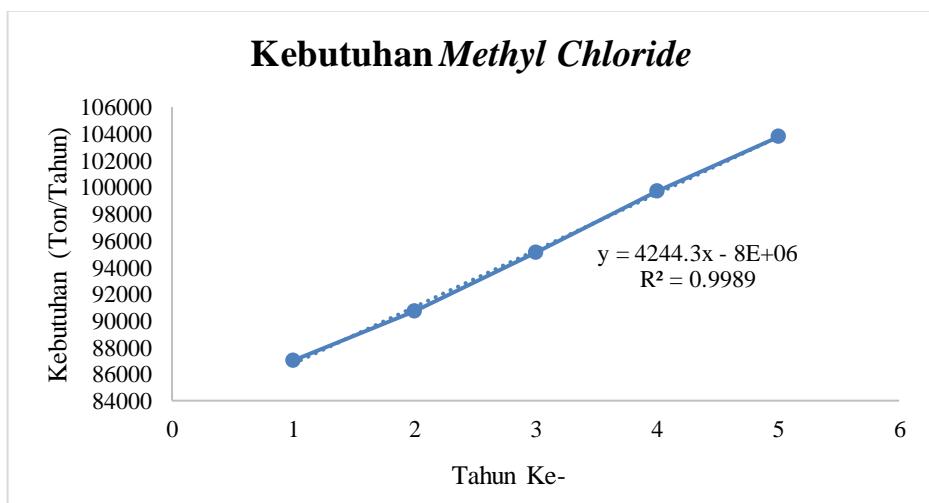
Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia, kebutuhan akan *methyl chloride* dari tahun 2018-2023 seperti terlihat pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Kebutuhan *Methyl Chloride* di Indonesia

Tahun Ke	Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
1	2020	87.009
2	2021	90.738
3	2022	95.097
4	2023	99.704
5	2024	103.748

**Sumber :** (Badan Pusat Statistik, 2024)

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas impor *methyl chloride* mengalami trend yang meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu direncanakan dibangun pabrik *methyl chloride* di Indonesia guna memenuhi kebutuhan dalam negeri serta diharapkan Indonesia menjadi negara pengekspor *methyl chloride* khususnya untuk wilayah Asia. Dari data pada Tabel 1.1, lalu dilakukan regresi linier dan dapat dilihat pada Gambar 1.1.



**Gambar 1.1** Grafik Kebutuhan *Methyl Chloride* di Indonesia Tahun 2020-2024

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus  $y = 4.244,3 x - 8.486.715,2$  dengan  $x$  sebagai fungsi tahun dan nilai  $R^2 = 0,9989$ . Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan *methyl chloride* dalam negeri pada tahun 2028 mendatang seperti persamaan 1.1.

$$y = 4.244,3 (2028) - 8.486.715,2$$

$$y = 129.213 \text{ Ton/Tahun}$$

Maka impor *Methyl Chloride* di Indonesia pada tahun 2030 meningkat menjadi sebesar 129.213 ton/tahun.

Dengan menggunakan persamaan tersebut maka perkiraan kebutuhan impor *Methyl Chloride* di Indonesia pada tahun 2030 disajikan pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2** Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan *Methyl Chloride* 2025-2028 di Indonesia

<b>Tahun Ke-</b>	<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan (Ton)</b>
1	2020	86,770.80
2	2021	91,015.10
3	2022	95,259.40
4	2023	99,503.70
5	2024	103,748.00
6	2025	107,992.30
7	2026	112,236.60
8	2027	116,480.90
9	2028	120,725.20

**Sumber :** (Badan Pusat Statistik, 2022)

Maka impor *methyl chloride* di Indonesia pada tahun 2028 meningkat menjadi sebesar 120.725,20 Ton/Tahun.

### 1.6.2 Kebutuhan *Methyl Chloride* di Luar Negeri

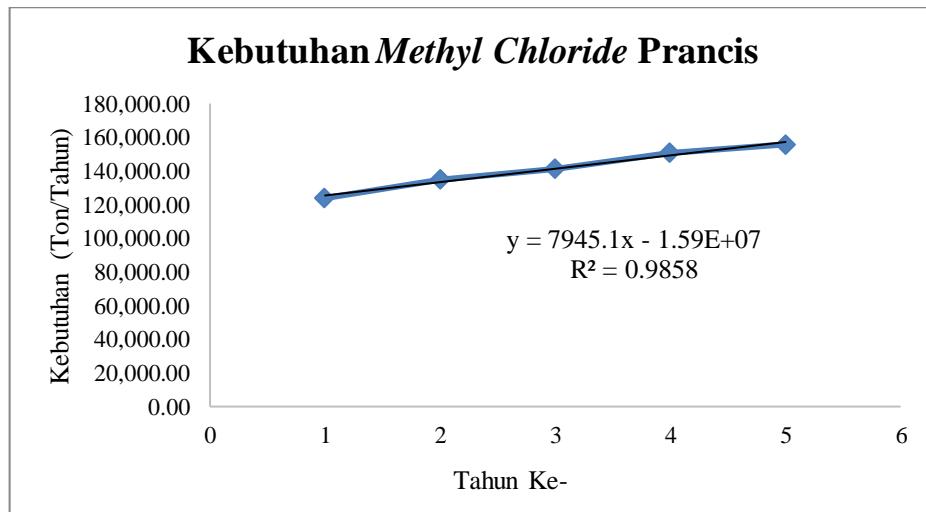
Berdasarkan data dari Statista, kebutuhan akan *methyl chloride* luar negeri dari tahun 2020-2024 seperti terlihat pada Tabel 1.3 dan Tabel 1.4.

**Tabel 1.3** Kebutuhan *Methyl Chloride* di Prancis

<b>Tahun Ke</b>	<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan (Ton/Tahun)</b>
1	2020	123.845,00
2	2021	134.998,00
3	2022	141.254,00
4	2023	150.627,00
5	2024	155.756,00

**Sumber :** (Statista.com, 2024)

Adapun kebutuhan *Methyl Chloride* di Prancis dapat dilihat pada Gambar 1.2 sebagai berikut.



**Gambar 1.2** Grafik Kebutuhan *Methyl Chloride* di Prancis Tahun 2020-2024

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus  $y = 7.945,1x - 15.923.696,20$

dengan  $x$  sebagai fungsi tahun dan nilai  $R^2 = 0,9858$ . Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan *methyl chloride* luar negeri pada tahun 2028 mendatang seperti persamaan 1.2.

$$y = 7.945,1(2028) - 15.923.696,20$$

y = 188.966,60Ton/Tahun

**Tabel 1.4** Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan *Methyl Chloride* 2025-2028 di Prancis

<b>Tahun Ke-</b>	<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan (Ton/Tahun)</b>
1	2020	125,405.80
2	2021	133,350.90
3	2022	141,296.00
4	2023	149,241.10
5	2024	157,186.20
6	2025	165,131.30
7	2026	173,076.40
8	2027	181,021.50
9	2028	188,966.60

Maka impor *methyl chloride* di Prancis pada tahun 2028 meningkat menjadi sebesar 188.966,60Ton/Tahun.

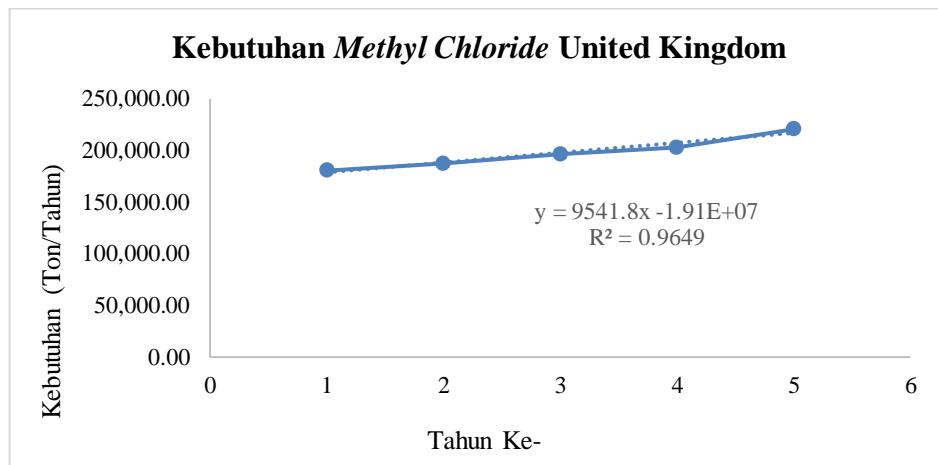
Adapun data kebutuhan *methyl chloride* di United Kingdom (UK) dapat dilihat pada Tabel 1.5

**Tabel 1.5** Kebutuhan *Methyl Chloride* di United Kingdom (UK)

<b>Tahun Ke</b>	<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan (Ton/Tahun)</b>
1	2020	180.322,00
2	2021	187.903,00
3	2022	196.855,00
4	2023	203.187,00
5	2024	220.389,00

**Sumber :** (Statista.com, 2024)

Dari data pada Tabel 1.5, dilakukan regresi linier dan dapat dilihat pada Gambar 1.3.



**Gambar 1.3** Grafik Kebutuhan *Methyl Chloride* di United Kingdom Tahun 2020-2024

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus  $y = 9.541,8x - 19.095.788,40$  dengan  $x$  sebagai fungsi tahun dan nilai  $R^2 = 0,9649$ . Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan *methyl chloride* luar negeri pada tahun 2028 mendatang seperti persamaan 1.3.

$$y = 9.541,8(2028) - 19.095.788,40$$

$$y = 254.982,00 \text{ Ton/Tahun}$$

Adapun hasil ekstrapolasi kebutuhan *Methyl Clorida* di United Kingdom dapat dilihat pada Tabel 1.6.

**Tabel 1.6** Hasil Ekstrapolasi *Methyl Chloride* 2025-2028 di United Kingdom

<b>Tahun Ke-</b>	<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan (Ton/Tahun)</b>
1	2020	178,647.60
2	2021	188,189.40
3	2022	197,731.20
4	2023	207,273.00
5	2024	216,814.80
6	2025	226,356.60
7	2026	235898.4
8	2027	245440.2
9	2028	254982

Berdasarkan data serta kurva, dapat dilihat bahwa kebutuhan *methyl chloride* di luar negeri mengalami trend yang meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu perencanaan pembangunan pabrik *methyl chloride* di Indonesia sangat perlu dan penting untuk didirikan guna meningkatkan devisa negara dari hasil produk *methyl chloride* yang di ekspor ke negara Asia.

### 1.6.3 Kebutuhan *Methyl Chloride* di Tiongkok

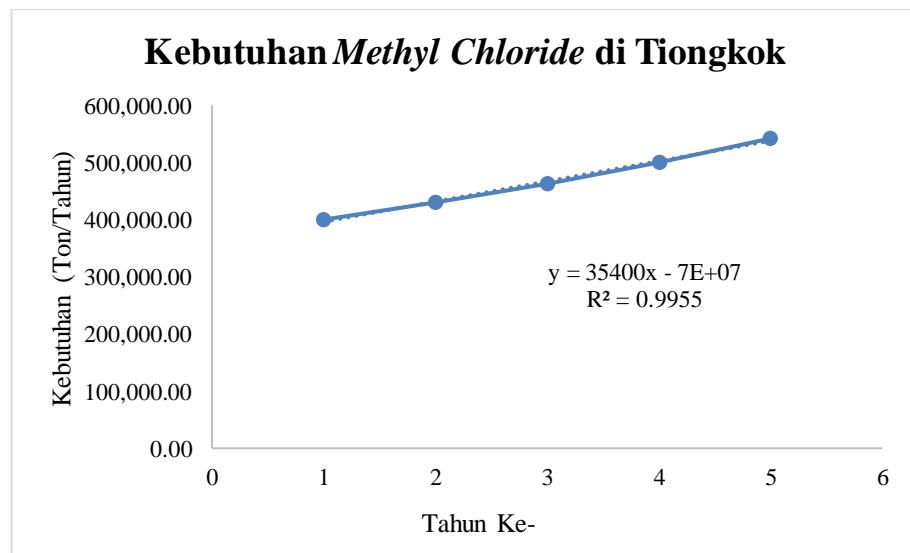
Berdasarkan data dari Statista, kebutuhan akan *methyl chloride* Tiongkok dari tahun 2020-2024 seperti terlihat pada Tabel 1.7 dan Tabel 1.8.

**Tabel 1.7** Kebutuhan *Methyl Chloride* di Tiongkok

Tahun Ke	Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
1	2020	400.000,00
2	2021	430.000,00
3	2022	463.000,00
4	2023	500.000,00
5	2024	542.000,00

**Sumber :** (Statista.com, 2024)

Adapun kebutuhan *Methyl Chloride* di Tiongkok dapat dilihat pada Gambar 1.4.



**Gambar 1.4** Grafik Kebutuhan *Methyl Chloride* di Tiongkok Tahun 2020-2024

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus  $y = 35.400x - 71.111.800$  dengan  $x$  sebagai fungsi tahun dan nilai  $R^2 = 0,9955$ . Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan *methyl chloride* Tiongkok pada tahun 2028 mendatang seperti persamaan 1.4.

$$y = 35.400(2028) - 71.111.800$$

$$y = 679.400,00 \text{ Ton/Tahun}$$

**Tabel 1.8** Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan *Methyl Chloride* 2025-2028 di Tiongkok

<b>Tahun Ke-</b>	<b>Tahun</b>	<b>Kebutuhan (Ton/Tahun)</b>
1	2020	396,200.00
2	2021	431,600.00
3	2022	467,000.00
4	2023	502,400.00
5	2024	537,800.00
6	2025	573,200.00
7	2026	608,600.00
8	2027	644,000.00
9	2028	679,400.00

Maka impor *methyl chloride* di Tiongkok pada tahun 2028 meningkat menjadi 679.400,00 Ton/Tahun.

Adapun data pabrik *methyl chloride* yang telah berdiri di beberapa negara seperti pada Tabel 1.9.

**Tabel 1.9** Data Pabrik *Methyl Chloride* di Luar Negeri

No.	Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	Down Chemical, Freeport, Tex.	42.500
2.	Dow Chemical, Plaquemine, La.	130.000
3.	Dow Corning, Carrollton, Ky.	225.000
4.	Dow Corning, Midland, Mich.	100.000

Lanjutan...

No.	Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
5.	GE Plastics, Waterford, N.Y.	82.500
6.	Vulcan Chemicals, Geismar, La.	85.000
7.	Vulcan Chemicals, Wichita, Kan.	45.000

**Sumber :** (Allstarts BPS RI, 2022)

Untuk membantu memenuhi kebutuhan Metil Klorida dalam negeri dan luar negeri, maka diambil kapasitas pra-rancangan pabrik sebesar 125.000 Ton/Tahun dengan mencakup kebutuhan Metil Klorida di Indonesia tidak lebih dari peluang kebutuhan Metil Klorida di Indonesia yaitu diambil 50% atau 62.500 Ton. Sedangkan Metil Klorida yang akan di ekspor untuk mencukupi kebutuhan di luar negeri dapat dilihat pada tabel 1.10.

**Tabel 1.10** Distribusi Metil Klorida ke Dalam dan Luar Negeri

No	Negara	Peluang Produksi	Jumlah Produksi	% Produksi
1	Indonesia	16.977,20	15.000	12
2	Tiongkok	137.400,00	50.000	40
3	Prancis	32.210,00	30.000	24
4	United Kingdom (UK)	34.593,00	30.000	24
<b>Jumlah</b>			<b>125.000</b>	

Berdasarkan data impor dan kebutuhan *methyl chloride* di Indonesia serta kebutuhan *methyl chloride* di luar negeri, asia dan kapasitas pabrik *methyl chloride* yang telah berdiri maka dapat disimpulkan besarnya kapasitas produksi pabrik pembuatan *methyl chloride* ini sebesar **125.000 ton/tahun**. Dimana sebesar 50% dari seluruh kapasitas tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan *methyl chloride* di Indonesia dan 25% dari kapasitas produksi untuk kebutuhan *methyl chloride* di Francis serta 25% lagi untuk kebutuhan *methyl chloride* di United Kingdom (UK).

Pengoperasian pabrik *methyl chloride* ini akan dimulai pada tahun 2028 dengan harapan sebagai berikut.

1. Mampu memenuhi kebutuhan *methyl chloride* dalam negeri yang terus meningkat setiap tahun.
2. Mampu memenuhi kebutuhan herbisida jenis paraquat dalam negeri yang terus meningkat.
3. Dapat menghemat devisa Negara yang cukup besar karena berkurangnya impor *methyl chloride* dan dapat memenuhi devisa Negara dengan mengekspor sebagian ke Negara luar.

## 1.7 Seleksi Pemilihan Proses

Macam macam proses pembuatan metil korida secara komersial yang dikembangkan dibawah ini adalah:

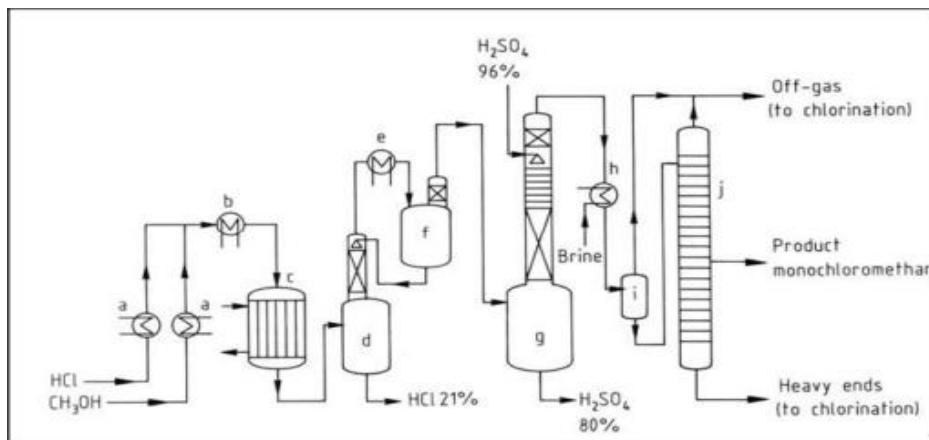
### 1.7.1 Proses Hidroklorinasi Metanol

Proses hidroklorinasi adalah suatu proses dengan atom halogen yang berasal dari asam klorida bergabung dengan suatu senyawa organik. Proses hidroklorinasi dengan reaksi substitusi terjadi pada pembuatan metil klorida. Metil klorida dihasilkan oleh reaksi antara  $\text{CH}_3\text{OH}$  dan  $\text{HCl}$ . Reaksi hidroklorinasi metanol dengan metil klorida sebagai produk utama dengan sejumlah kecil dimetil eter sebagai produk samping. Reaksi hidroklorinasi biasanya dapat dibuat dalam fasa *liquid* dan fasa gas. Hidrogen klorida adalah faktor yang menentukan dalam memilih rute yang terbaik untuk memproduksi metil klorida. Proses hidroklorinasi metanol menggunakan  $\text{HCl}$  *anhydrous* atau *aqueous hydrochloric*.

#### 1. Fasa Gas

Proses hidroklorinasi metanol pada fasa gas lebih banyak digunakan di Eropa dan Jepang daripada di Amerika Serikat. Proses nya biasanya dilakukan sebagai berikut, menguapkan metanol dan hidrogen klorida kemudian di campurkan dalam kesetimbangan dengan memanaskan sampai suhu 180-200°C. reaksi terjadi melewati reaktor *fix bed multitube* dengan katalis alumina gel pada suhu 300-350°C. Konversi yang didapat biasanya lebih dari 95%.

Campuran gas metanol dan HCl direaksikan kedalam reaktor jenis *fixed bed multitube* pada suhu 300°C dan tekanan 1,8 atm. *Yield* yang diperoleh cukup tinggi yaitu 98% metanol menjadi metil klorida, dengan menggunakan katalis Silika Alumina Gel. Adapun flowsheet metil klorida dengan proses hidroklorinasi metanol dapat dilihat pada Gambar 1.5.



**Gambar 1.5** Flowsheet Dasar Proses Hidroklorinasi Metanol  
(Kirk Othmer, 1997)

## 2. Fasa Cair

Berdasarkan Gambar 1.5 di atas, proses pada Fasa Cair memiliki proses yang sama namun dalam kondisi operasi yang berbeda. Produsen silikon menggunakan metil klorida di dalam proses pembuatannya dan memproduksi asam klorida encer sebagai produk samping. Produk samping HCl di konversi kembali menjadi metil klorida dengan hidroklorinasi. Faktanya, itu mungkin terjadi untuk memproduksi metil klorida secara langsung dari klorometilsilane hidrolisis pada proses pembuatan silikon. Pada proses ini menggunakan katalis *zinc chloride*, dimana katalis ini memerlukan biaya yang tidak sedikit dan konversi produk yang dihasilkan kurang dari 90%.

### 1.7.2 Proses Hidroklorinasi Pembuatan Metil Klorida

Proses pembuatan metil klorida dengan hidroklorinasi metana dapat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

#### 1. Persiapan Bahan Baku

Methanol biasanya diproduksi melalui proses sintesis dari gas alam atau produk sampingan dari proses kimia lainnya. Hidrogen klorida (HCl) dapat

diproduksi melalui reaksi antara klorin ( $\text{Cl}_2$ ) dan hidrogen ( $\text{H}_2$ ) atau dapat diperoleh dari sumber lain yang mengandung  $\text{HCl}$ .

## 2. Tahap Pembentukan Produk

Bahan baku methanol dan hidrogen klorida (HCl) dialirkan ke dalam reaktor hidroklorinasi yang bekerja pada suhu sekitar 250-400°C dan tekanan yang dikendalikan.

Reaksi yang terjadi yaitu:



Reaksi terjadi di dalam reaktor dengan menggunakan katalisator yang dapat berupa alumina ( $Al_2O_3$ ) atau katalis berbasis tembaga yang meningkatkan laju reaksi tanpa terlibat langsung dalam reaksi. Proses ini berlangsung secara eksotermik, yang berarti melepaskan panas.

### 3. Pemisahan Produk

Setelah reaksi selesai, campuran gas yang dihasilkan, yang mengandung metil klorida ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ), hidrogen klorida yang belum bereaksi, dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sebagai produk sampingan, akan diproses lebih lanjut. Gas metil klorida ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) dapat dipisahkan dari campuran dengan menggunakan distilasi atau penyerapan, karena titik didih metil klorida lebih rendah daripada air dan  $\text{HCl}$ .

### 1.7.3 Uji Ekonomi Awal

Uji ekonomi awal merupakan perhitungan jumlah dari harga bahan baku dan harga produk yang akan dijual sebagai penentu apakah pabrik yang akan dirancang dapat memberikan keuntungan atau memberikan kerugian. Berikut harga bahan baku dan produk dari situs [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com) pada tanggal 15 Februari 2025 berdasarkan nilai kurs US\$ 1 = Rp16.430 tertera pada Tabel 1.11.

**Tabel 1.11** Harga Bahan Baku dan Produk

No.	Bahan baku dan Produk	Berat molekul (g/mol)	Kebutuhan	Harga (Rp/Kg)
1.	Metanol	32,04	1 mol = 0,03204 kg	Rp20.000,00
2.	Asam Klorida	36,461	1 mol = 0,036461 kg	Rp10.550

No.	Bahan baku dan Produk	Berat molekul (g/mol)	Kebutuhan	Harga (Rp/Kg)
3.	Katalis Silika Alumina	60,01	1 mol = 0,06001 kg	Rp19.913,00
4.	Metil Klorida	50,488	1 mol = 0,050488 kg	Rp49.750,00
5.	Air	18	1 mol = 0,018 kg	-

**Sumber:** (Alibaba, 2025)

Untuk menghitung kebutuhan bahan baku dan produk maka harus dikonversikan terlebih dahulu.

Bahan Baku :

$$\begin{aligned}
 \text{a. Metanol (CH}_3\text{OH)} &= 0,03204 \text{ kg} \times \text{Rp. } 20.000/\text{kg} \\
 &= \text{Rp. } 640,800,- \\
 \text{b. Asam Klorida (HCl)} &= 0,036461 \text{ kg} \times \text{Rp } 10.550/\text{kg} \\
 &= \text{Rp } 384,663,-
 \end{aligned}$$

Bahan Pendukung:

$$\begin{aligned}
 \text{Silika Alumina} &= 0,06001 \text{ kg} \times \text{Rp19.913,00} \\
 &= \text{Rp. } 1,194.98
 \end{aligned}$$

Produk :

$$\begin{aligned}
 \text{a. Metil Klorida (CH}_3\text{Cl)} &= 0,050488 \text{ kg} \times \text{Rp } 49.750/\text{kg} \\
 &= \text{Rp. } 2.511,986
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Analisa ekonomi awal} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= \text{Rp. } 2.511,986 - \text{Rp. } 2.220,445 \\
 &= \text{Rp. } 291,5424,-
 \end{aligned}$$

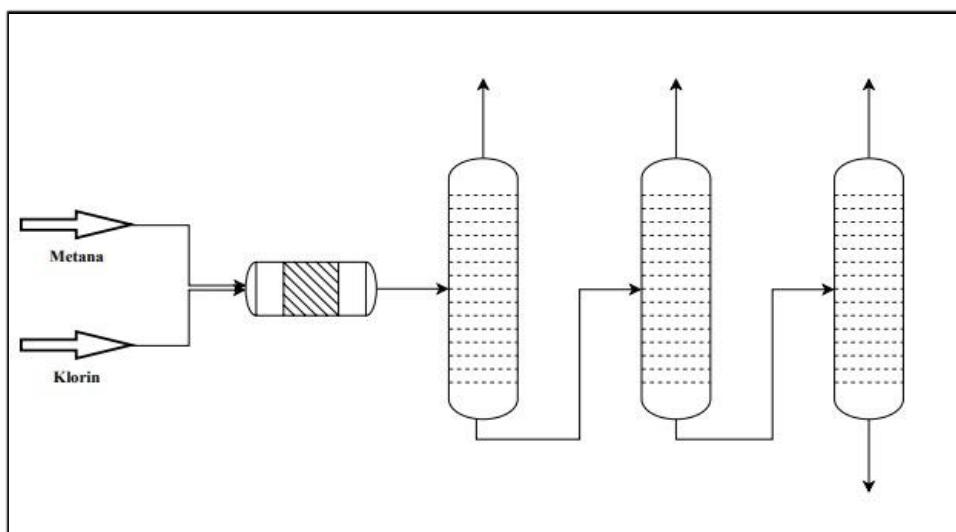
Berdasarkan hasil Analisa ekonomi awal pada Tabel 1.13 maka persentase keuntungan diperoleh berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. } 2.511,986}{\text{Rp. } 2.220,445} \times 100 \% \\
 &= 113\%
 \end{aligned}$$

#### 1.7.4 Proses Klorinasi Metana

Pada proses klorinasi metana, metil klorida bukan merupakan produk tunggal karena terbentuk produk lain seperti asam klorida. Pada klorinasi metana digunakan klorin dan metana sebagai bahan baku dalam fasa gas. Reaksi berjalan secara eksotermis dengan suhu reaksi  $200-450^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 3 atm sehingga sangat diperlukan pengontrolan suhu (Kirk Othmer, 1997).

Proses klorinasi ini didasarkan pada reaksi klorinasi metana dengan bantuan katalis silika alumina. Bahan baku yang digunakan adalah metana dengan kemurnian tinggi. Konversi dari proses ini adalah 95%. Adapun reaktor yang digunakan adalah *plug flow multi tube* katalitik. Keuntungan dari proses ini adalah *yield* yang cukup tinggi dan impuritas yang sedikit. Adapun flowsheet metil klorida dengan proses klorinasi metana dapat dilihat pada Gambar 1.6.



**Gambar 1.6** Flowsheet Metil Klorida dengan Proses Klorinasi Metana  
(Kirk Othmer, 1997)

#### 1.7.5 Proses Pembuatan Metil Klorida

Proses pembuatan metil klorida dengan klorinasi metana dapat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

1. Tahap persiapan bahan baku.
2. Tahap reaksi pembentukan metil klorida
3. Tahap pemurnian.

## 1. Persiapan Bahan Baku

Metana (biasanya diperoleh dari gas alam) dan klorin (biasanya dalam bentuk gas) disiapkan dalam jumlah yang sesuai untuk reaksi.

## 2. Reaksi Pembentukan Metil Klorida

Campuran metana dan klorin dipanaskan dalam reaktor, dan reaksi klorinasi dimulai di bawah suhu tinggi (sekitar 400-500°C). Temperatur dan tekanan yang tepat diperlukan untuk mengendalikan laju reaksi dan mengurangi pembentukan produk sampingan berupa asam klorida. Konversi reaksi yang terjadi didalam reaktor sebesar 97%.

Reaksi yang terjadi yaitu:



### 3. Pemisahan dan Pemurnian

Produk utama (metil klorida) dan produk sampingan (seperti HCl) dipisahkan menggunakan proses pemurnian seperti distilasi. Metil klorida yang dihasilkan biasanya dipisahkan dari HCl dan produk sampingan lainnya.

### 1.7.6 Uji Ekonomi Awal

Uji ekonomi awal merupakan perhitungan jumlah dari harga bahan baku dan harga produk yang akan dijual sebagai penentu apakah pabrik yang akan dirancang dapat memberikan keuntungan atau memberikan kerugian. Berikut harga bahan baku dan produk dari situs [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com) pada tanggal 15 Februari 2025 berdasarkan nilai kurs US\$ 1 = Rp16.430 tertera pada Tabel 1.12.

**Tabel 1.12** Harga Bahan Baku dan Produk

No.	Bahan baku dan Produk	Berat molekul (g/mol)	Kebutuhan	Harga (Rp/Kg)
1.	Metana	16,043	1 mol = 0,016043 kg	Rp11.004,75
2.	Klorin	70,906	1 mol = 0,070906 kg	Rp12.000,00
3.	Katalis Silika Alumina	61,01	1 mol = 0,06001 kg	Rp19.913,00
4.	Metil Klorida	50,488	1 mol = 0,050488 kg	Rp49.750,00
5.	Asam Klorida	36,461	1 mol = 0,036461 kg	Rp31.870,00

Sumber: (Alibaba, 2025)

Untuk menghitung kebutuhan bahan baku dan produk maka harus dikonversikan terlebih dahulu.

Bahan Baku :

- a. Metana (CH<sub>4</sub>) = 0,016043 kg x Rp11.004,75/kg  
= Rp. 176,55
- b. Klorin (Cl<sub>2</sub>) = 0,070906 kg x Rp 12.000/kg  
= Rp. 850,87,-

Bahan Pendukung:

- Silika Alumina = 0,06001 kg x Rp19.913,00  
= Rp. 1.194,98

Produk :

- b. Metil Klorida (CH<sub>3</sub>Cl) = 0,050488 kg x Rp 49.750/kg  
= Rp. 2.511,78
- c. Asam Klorida (HCl) = 0,036461 kg x Rp31.870,00/kg  
= Rp. 1.162,01

- Analisa ekonomi awal = Harga Produk – Harga Bahan Baku  
= Rp. 3.673,79 – Rp. 2.222,40  
= Rp. 1.451,39

Berdasarkan hasil Analisa ekonomi awal pada Tabel 1.13 maka persentase keuntungan diperoleh berikut:

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{\text{Rp. } 3.673,79}{\text{Rp. } 2.222,40} \times 100 \% \\ = 165\%$$

Dilihat dari total harga bahan baku dengan harga produk, dimana total harga produk lebih besar dari harga bahan baku maka pabrik ini layak untuk didirikan.

### 1.7.7 Perbandingan Proses

Adapun perbandingan antara proses klorinasi metana dan hidroklorinasi metanol dapat dilihat pada Tabel 1.13.

**Tabel 1.13** Perbandingan Proses yang Digunakan

Formula	Jenis Proses	
	Hidroklorinasi	Klorinasi
Bahan baku	Metanol dan asam klorida	Metana dan klorin
Katalis	Silika alumina gel	Silika alumina gel
Tekanan (atm)	1,8	3 atm
Suhu (°C)	300-390	200-450
<i>Yield (%)</i>	98 % Metil Klorida dan 2 % Air	51 % Metil Klorida, dan 49 % Asam Klorida,
Konversi Reaksi	95%	97%
Analisa Ekonomi	Rp. 291,5424,-	Rp. 1,451.39
% Keuntungan	113%	165%
Produk Utama	Metil Klorida	Metil Klorida
Produk Samping	Air	Asam Klorida.

**Sumber:** (Kirk Othmer, 1997)

Dengan melihat kedua macam proses diatas maka dalam prarancangan pabrik metil klorida dipilih **proses klorinasi metana** dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Memiliki persen keuntungan sebesar 165 %.
2. Produk samping mempunyai nilai ekonomi.
3. Konversi reaksi yang tinggi.
4. Selektivitas metil klorida tinggi.

## 1.8 Lokasi Pabrik

Beberapa faktor penting yang menjadi acuan dalam menentukan lokasi pabrik antara lain adalah ketersediaan bahan baku, akses pemasaran produk, fasilitas transportasi, serta ketersediaan tenaga kerja. Berdasarkan tabel perbandingan proses di atas, proses produksi metil klorida menggunakan bahan baku utama berupa metana dan klorin. Bahan baku klorin dapat diperoleh dari PT. Asahimas Chemical yang berlokasi di Cilegon, sedangkan metana dapat disuplai oleh PT. Badak NGL yang berada di Bontang, Kalimantan Timur. Dengan

mempertimbangkan lokasi ketersediaan sumber bahan baku, efisiensi transportasi, serta potensi pengembangan kawasan industri, maka lokasi pabrik metil klorida dipilih di Desa Martadinata, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Peta lokasi pabrik ditampilkan pada Gambar 1.7.



**Gambar 1.7** Lokasi Pabrik Metil Klorida

Berdasarkan tinjauan tersebut maka lokasi pabrik metil klorida ini dipilih dengan pertimbangan sebagai berikut:

### 1. Penyediaan Bahan Baku

Bahan baku klorin dapat diperoleh dari PT. Assahimas, Cilegon memiliki kapasitas produksi klorin sebesar 612.500 ton per tahun, yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pabrik *methyl choride*. Sedangkan metana dari PT. Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur yang memiliki kapasitas produksi gas alam cair (LNG) sebesar 22,5 juta ton per tahun, yang sebagian besar terdiri dari metana sebagai komponen utama dalam LNG. Dengan ketersediaan bahan baku klorin dari PT Asahimas Chemical dan metana dari PT Badak NGL, operasional pabrik Anda dapat didukung dengan pasokan bahan baku yang stabil dan efisien.

### 2. Pemasaran Produk

Pabrik *methyl chloride* yang direncanakan dengan kapasitas produksi sebesar 125.000 ton/tahun akan mengalokasikan 50% dari kapasitasnya, yaitu 62.500 ton, untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik Indonesia, yang terus meningkat seiring pertumbuhan industri kimia. Sebanyak 25% atau 31.250 ton akan

dipasarkan ke Prancis, yang memiliki permintaan tinggi untuk *methyl chloride* dalam sektor *agrochemical* dan farmasi, sementara 25% lainnya, juga 31.250 ton, akan disalurkan ke pasar United Kingdom (UK), yang merupakan salah satu pasar terbesar di Eropa untuk produk kimia.

### 3. Sarana Transportasi

Transportasi di Bontang baik darat maupun laut cukup lancar, karena dekat dengan jalan raya, dan pelabuhan Tanjung Laut maupun pelabuhan yang ada di Bontang sehingga memudahkan pendistribusian bahan baku ke pabrik dan produk ke konsumen.

#### 4. Penyediaan Tenaga Kerja

Penyediaan tenaga kerja yang terampil dan terdidik tersedia di Perguruan Tinggi Negeri ataupun Perguruan Swasta di sekitar lokasi pendirian pabrik seperti Sekolah Tinggi Teknologi Industri Bontang (STTIB). Masyarakat di daerah industri akan lebih mudah menerima pendirian suatu pabrik didaerahnya, selain itu masyarakat sekitar juga dapat mengambil keuntungan dengan pendirian pabrik metil klorida ini, keuntungan diperoleh antara lain lapangan kerja baru.

## 5. Keadaan lingkungan

Lokasi pendirian pabrik yang dipilih merupakan kawasan industri. Dengan adanya kebijakan pemerintah tersebut, pendirian pabrik di kawasan ini tidak akan menimbulkan masalah lingkungan karena dari segi pembuangan limbah dan sampah telah dipertimbangkan.

## 1.9 Tinjauan Termodinamika

Proses klorinasi metana untuk menghasilkan *methyl chloride* ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ) merupakan reaksi yang melibatkan perubahan energi, baik dalam bentuk energi panas maupun energi bebas. Untuk menganalisis kelayakan termodinamika dari proses ini, kita harus mempertimbangkan entalpi ( $\Delta H$ ), entropi ( $\Delta S$ ), dan perubahan energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ ) dari reaksi tersebut.

## Reaksi Klorinasi Metana:



**a. Perubahan Energi ( $\Delta H$ )**

Reaksi klorinasi metana pada dasarnya adalah reaksi eksotermik (melepaskan panas), karena produk lebih stabil dibandingkan dengan reaktan.

Untuk menghitung perubahan entalpi reaksi ( $\Delta H$ ), kita memerlukan data entalpi pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) dari masing-masing senyawa. Secara umum,  $\Delta H$  untuk reaksi klorinasi metana diperkirakan bernilai negatif, menunjukkan bahwa reaksi ini melepaskan energi.

Dengan memperhatikan data standar entalpi pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ):

- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4)$  = -74,8 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2)$  = 0 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_3\text{Cl})$  = -80,7 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ(\text{HCl})$  = -92,3 kJ/mol

Maka,  $\Delta H$  reaksi dapat dihitung sebagai berikut:

Dengan memperhatikan data standar entalpi pembentukan ( $\Delta H_f^\circ$ ):

- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_4)$  = -74,8 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2)$  = 0 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ(\text{CH}_3\text{Cl})$  = -80,7 kJ/mol
- $\Delta H_f^\circ(\text{HCl})$  = -92,3 kJ/mol

Maka,  $\Delta H$  reaksi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = (-80,7 \text{ kJ/mol}) + (-92,3 \text{ kJ/mol}) - ((-74,8 \text{ kJ/mol}) + 0)$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -173 \text{ kJ/mol} + (-74,8 \text{ kJ/mol})$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -98,2 \text{ kJ/mol}$$

Ini menunjukkan bahwa reaksi klorinasi metana adalah eksotermik dan melepaskan energi

**b. Perubahan Entropi ( $\Delta S$ )**

Entropi ( $\Delta S$ ) adalah ukuran ketidakteraturan atau kebebasan gerak partikel dalam sistem.

Perubahan entropi reaksi ( $\Delta S$ ) dapat dihitung dengan rumus 1.9:

Pada reaksi klorinasi metana, perubahan entropi dapat dihitung dengan menggunakan data entropi standar ( $S^\circ$ ) masing-masing senyawa.

- $S^\circ(\text{CH}_4) = 186,3 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$
- $S^\circ(\text{Cl}_2) = 223,1 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$
- $S^\circ(\text{CH}_3\text{Cl}) = 186,0 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$
- $S^\circ(\text{HCl}) = 186,7 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$

Maka;

$$\Delta S_{\text{reaksi}} = (186,0 + 186,7) - (186,3 + 223,1)$$

$$\Delta S_{\text{reaksi}} = 372,7 - 409,4$$

$$\Delta S_{\text{reaksi}} = -36,7 \text{ J/mol.K}$$

Nilai  $\Delta S$  yang negatif menunjukkan bahwa reaksi ini mengarah pada penurunan ketidakteraturan sistem, yang berarti molekul produk lebih terorganisir dibandingkan dengan molekul reaktan.

c. Perubahan Energi Bebas Gibbs ( $\Delta G$ )

Energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ ) adalah parameter penting untuk menentukan apakah suatu reaksi secara termodinamika dapat berlangsung spontan. Reaksi akan berlangsung spontan jika  $\Delta G$  bernilai negatif.

$\Delta G$  dapat dihitung menggunakan persamaan:

Menggunakan suhu reaksi standar sekitar 298 K, kita dapat menghitung  $\Delta G$ :

$$\Delta G = (-173 \text{ kJ/mol}) - (298\text{K}) (-0,0367 \text{ kJ/mol.K})$$

$$\Delta G = 173 \text{ kJ/mol} + 10,95 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = -162,05 \text{ kJ/mol}$$

Karena  $\Delta G$  negatif, maka reaksi klorinasi metana adalah spontan pada suhu kamar dan dapat terjadi dengan sendirinya.