

LAPORAN CAPSTONE DESIGN II

**PRARANCANGAN PABRIK GARAM FARMASI
DARI GARAM INDUSTRI KAPASITAS 2000 TON/TAHUN**



**Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan Pendidikan
Strata Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi Surakarta**

**Oleh:
Fraya Kartika Sari
27210345D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN CAPSTONE DESIGN II

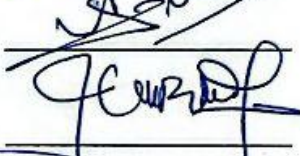
PRARANCANGAN PABRIK GARAM FARMASI DARI GARAM INDUSTRI KAPASITAS 2000 TON/TAHUN

Oleh:

FRAYA KARTIKA SARI

27210345D

Telah Dipertahankan Oleh Tim Penguji
Pada tanggal 5 April 2026

	Nama	Tanda Tangan
Penguji I	: Dr. Supriyono, S.T., M.T.	
Penguji II	: Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.	
Penguji III	: Ir. Sumardiyono, M.T.,	
Penguji IV	: Petrus Darmawan, S.T., M.T.	

Mengetahui,



Dr. Drs. Suseno, M.Si
NIS. 01199408011044

Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.
NIS. 01199601032053

LEMBAR PERSETUJUAN

LAPORAN *CAPSTONE DESIGN II*

PRARANCANGAN PABRIK GARAM FARMASI DARI GARAM INDUSTRI KAPASITAS 2000 TON/TAHUN

**Disusun Oleh:
Fraya Kartika Sari
27210345D**

**Telah Disetujui oleh Pembimbing
Pada Tanggal 5 April 2026**

Pembimbing I



Ir. Sumardiyono, M.T.
NIS. 01199403231041

Pembimbing II



Petrus Darmawan, S.T., M.T.
NIS. 01199905141068

**Mengetahui,
Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia**



Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng.
NIS. 01199601032053

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DOKUMEN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fraya Kartika Sari

NIM : 27210345D

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Hasil karya *Capstone Design II* berikut adalah benar hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan karya ciptaan pihak lain manapun serta tidak bertentangan dengan karya cipta pihak lain.
2. Jika ternyata di kemudian hari hasil karya *Capstone Design II* tersebut terbukti bertentangan dengan hak cipta pihak lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan secara hukum.

Demikian pernyataan keaslian hasil karya *Capstone Design II* ini saya buat dengan sebenarnya untuk menghindari adanya klaim pihak lain terhadap karya tersebut serta untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surakarta, 16 Februari 2026



Fraya Kartika Sari
27210345D

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(QS. Al-Baqarah: 286)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
(QS. Al-Insyirah:6)

“Bergerak atau mati”
(Adi Nurrohman)

“Setiap orang memiliki garis *start* dan *finish*-nya sendiri, tidak ada kata terlambat bagi mereka yang tidak berhenti berproses”
(Penulis)

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini di waktu terbaik. Sebagai wujud rasa syukur dan hormat, penulis mempersembahkan karya ini kepada:

1. Bapak 'Trimmo Edi Maulano' dan Ibu 'Haryati' selaku orang tua tercinta. Terima kasih atas doa-doa yang tidak pernah berhenti, kepercayaan yang tidak pernah goyah, dan kesabaran yang luar biasa dalam menanti keberhasilan anak pertama yang menjadi harapan pertama dalam keluarga.
2. Adi Nurrohman, S.Pd. *my best partner* yang tak kalah pentingnya dalam hidup penulis, yang senantiasa memberikan ketenangan. Disaat penulis terjebak dalam keraguan dan pikiran yang berantakan, dukungan serta pemikiran positifnya selalu ia berikan menjadi kekuatan bagi penulis untuk tetap melangkah hingga saat ini.
3. Adik tercinta, 'Dani Setyawan'. Terima kasih sudah memberikan dukungan dan selalu menjadikan penulis sebagai panutan yang baik dalam setiap langkahmu.
4. Sahabat dan teman-teman seperjuangan yang telah memberikan warna dan tawa di tengah penatnya proses ini. Terima kasih tetap merangkul penulis tanpa pernah membandingkan garis waktu pencapaian kita masing-masing.
5. Terakhir, penulis ingin menyampaikan kepada diri sendiri, 'Fraya Kartika Sari'. Terima kasih telah memilih untuk bertahan dan terus bernafas ketika berada di titik tergelap hingga kehilangan arah dan tujuan. Karya ini adalah hadiah terindah karena telah berjuang melewati setiap masalah berat yang terus datang. Terima kasih sudah menyelesaikan tanggung jawabmu ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “PRARANCANGAN PABRIK GARAM FARMASI DARI GARAM INDUSTRI KAPASITAS 2000 TON/TAHUN”.

Perjalanan menyelesaikan tugas akhir ini bukanlah proses yang singkat dan mudah. Terdapat banyak rintangan yang dilalui. Namun, penulis meyakini bahwa setiap individu memiliki garis waktu pencapaian masing-masing. Keberhasilan ini tentu tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan penghormatan dan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Dr. Drs. Suseno, S.Si. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi.
2. Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng. selaku Kepala Program Studi S1 Teknik Kimia Universitas Setia Budi.
3. Ir. Sumardiyono, M.T. dan Petrus Darmawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar memberikan ilmu, arahan, serta motivasi yang sangat berharga.
4. Dr. Supriyono, S.T., M.T. dan Dewi Astuti Herawati, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji tugas akhir ini.
5. Seluruh bapak dan ibu dosen Program Studi S1 Teknik Kimia, atas segala ilmu pengetahuan dan bekal berharga yang telah diberikan.
6. Kedua orang tua tercinta, sebagai sumber kekuatan utama penulis. Terima kasih atas doa yang tak pernah putus, kesabaran dan kasih sayang yang selalu menjadi alasan penulis untuk tidak menyerah.
7. *My best partner*, yang telah menjadi pendamping setia, memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
8. Adik penulis, yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk terus berjuang hingga saat ini.
9. Sahabat dan teman-teman seperjuangan yang telah berbagi tawa, semangat, dan kebersamaan selama ini.

10. Diri sendiri, yang telah berjuang hebat, mampu bertahan melewati banyaknya ujian dan memilih untuk tetap bertahan hingga *finish*.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surakarta, 16 Februari 2026

Penulis,



Fraya Kartika Sari

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DOKUMEN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik	1
1.2 Kapasitas Rancangan	2
1.3 Perbandingan Proses	5
1.4 Data-data Perancangan	8
BAB II PERANCANGAN PRODUK	15
2.1 Spesifikasi Bahan Baku	15
2.2 Spesifikasi Produk	17
2.3 Pengendalian Kualitas	17
BAB III URAIAN PROSES	22
3.1 Uraian Proses	22
3.2 Diagram Alir Kualitatif	25
3.3 Neraca Massa dan Energi	26
3.4 Diagram Alir Kuantitatif	31
3.5 Spesifikasi Alat Proses	32
BAB IV PERANCANGAN PABRIK	44
4.1 Lokasi Pabrik	44
4.2 Tata Letak Pabrik dan Alat Proses	48
4.3 Utilitas	50
4.4 Unit Pengolahan Limbah	74
4.5 Analisis Ekonomi	78
BAB V KESIMPULAN	89
5.1 Kesimpulan	89
DAFTAR PUSTAKA	P-1
LAMPIRAN	L-1

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Grafik Linier Impor Garam Farmasi di Indonesia.....	3
Gambar 2. Diagram Kualitatif	25
Gambar 3. Diagram Alir Kuantitatif.....	31
Gambar 4. Tata Letak Pabrik.....	48
Gambar 5. Tata Letak Alat Proses	49
Gambar 6. Unit Pengolahan Air	77
Gambar 7. Grafik Indexs Harga Alat.....	81
Gambar 8. Grafik BEP dan SDP.....	88

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Data Impor Garam Farmasi di Indonesia.....	2
Tabel 2. Data Produksi Garam Farmasi di Indonesia	3
Tabel 3. Perbandingan Proses Pemurnian Garam.....	7
Tabel 4. Tabel ΔH°_f dan ΔG°_f pada reaksi kimia pembuatan garam farmasi	9
Tabel 5. Komposisi Garam Industri yang Digunakan	15
Tabel 6. Komponen NaOH	16
Tabel 7. Komposisi Na ₂ CO ₃	16
Tabel 8. Neraca Massa	26
Tabel 9. Neraca Energi	29
Tabel 10. Spesifikasi Alat Proses.....	32
Tabel 11. Jumlah Steam yang Dibutuhkan untuk Memproduksi Garam (NaCl).....	51
Tabel 12. Kebutuhan Air Sanitasi Pabrik.....	52
Tabel 13. Kebutuhan Air proses	53
Tabel 14. Kebutuhan Air Pendingin	54
Tabel 15. Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Proses.....	57
Tabel 16. Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Utilitas	58
Tabel 17. Luas Lahan Pabrik	59
Tabel 18. Jumlah Lampu Mercury yang Dibutuhkan	60
Tabel 19. Limbah Padat dari Tickener.....	74
Tabel 20. Limbah Cair dari Nano Filtrasi.....	74
Tabel 21. Limbah dari Cation Exchanger dan Anion Exchanger	76
Tabel 22. Indeks Harga Alat	80
Tabel 23. <i>Physical Plant Cost</i> (PPC)	82
Tabel 24. <i>Direct Plant Cost</i> (DPC).....	82
Tabel 25. <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	82
Tabel 26. <i>Working Capital Investment</i>	82
Tabel 27. <i>Direct Manufacturing Cost</i>	82
Tabel 28. <i>Indirect Manufacturing Cost</i>	83
Tabel 29. <i>Fixed Manufacturing Cost</i>	83
Tabel 30. <i>Total Manufacturing Cost</i>	83
Tabel 31. <i>General Expense</i>	83
Tabel 32. <i>Fixed Cost</i>	86
Tabel 33. <i>Variable Cost</i>	87
Tabel 34. <i>Regulated Cost</i>	87

LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Neraca Massa.....	L-1
Lampiran 2. Neraca Panas	L-14
Lampiran 3. Desain Reaktor	L-24
Lampiran 4. Manajemen Perusahaan.....	L-34
Lampiran 5. Process Flow Diagram	L-36

ABSTRAK

Garam farmasi merupakan salah satu jenis garam yang memiliki tingkat kemurnian natrium klorida (NaCl) yang sangat tinggi, yaitu 99,8% dengan kadar impuritas mendekati 0%. Dalam industri farmasi, garam farmasi adalah satu di antara bahan baku yang paling utama dan banyak dimanfaatkan, di antaranya pembuatan minuman kesehatan, tablet, sirup, pelarut vaksin, sediaan infus, cairan pencuci darah, serta oralit. Sementara itu, di dalam bidang kosmetik, garam farmasi dimanfaatkan menjadi salah satu komponen dalam formulasi sampo dan sabun. Indonesia menempati peringkat ke-36 penghasil garam tersebar di dunia, namun kualitas garamnya belum mampu bersaing dengan garam luar negeri. Sedangkan kebutuhan garam farmasi terus meningkat. Pendirian garam farmasi berbahan baku garam industri merupakan langkah strategis untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya lokal melalui proses pemurnian yang tepat. Pemurnian ini bertujuan untuk menghilangkan berbagai pengotor dalam garam industri sehingga menghasilkan natrium klorida dengan kemurnian tinggi sesuai standar farmasi. Untuk mendapatkan kemurnian tinggi ini digunakan metode pemurnian *Chemical Treatment Process*. Metode yang lebih sederhana dibandingkan menggunakan metode lain dengan harga operasional yang lebih ekonomis. Pabrik ini direncanakan akan dibangun pada tahun 2030 dengan kapasitas 2000 ton/tahun di Tuban, Jawa Timur. Proses produksi dilakukan dengan garam industri direaksikan dengan natrium hidroksida dan natrium karbonat dalam reaktor *Continous Stirred Tank Reactor (CSTR)*. Reaksi ini bersifat eksotermis dan searah (*irreversible*). Kemudian memisahkan impuritas garam dan dikristalisasi untuk menghasilkan butiran (Kristal) NaCl 99,8%. Pendirian pabrik garam farmasi ini memerlukan modal tetap sebesar 210.911.154.548 dengan nilai ROI 23,95%, POT selama 3,13 tahun, BEP sebesar 48,40%, SDP 22,54%, dan DCFRR sebesar 10%. Menurut hasil perhitungan tersebut, disimpulkan bahwa pabrik garam farmasi dari garam industri kapasitas 2000 ton/tahun layak untuk didirikan.

Kata Kunci: Garam Farmasi, Garam Industri, Proses Pengolahan Kimia, CSTR.

ABSTRACT

Pharmaceutical-grade salt is a type of salt characterized by an exceptionally high sodium chloride (NaCl) purity level of 99.8%, with impurities approaching 0%. In the pharmaceutical industry, it serves as a critical raw material used extensively in the production of health beverages, tablets, syrups, vaccine solvents, intravenous fluids, hemodialysis solutions, and oral rehydration salts. Furthermore, it is utilized within the cosmetics industry as a key component in shampoo and soap formulations. Although Indonesia ranks as the 36th largest salt producer in the world, the quality of its local salt has yet to compete effectively with international products, even as the domestic demand for pharmaceutical-grade salt continues to rise. The establishment of a pharmaceutical salt plant using industrial salt as a raw material represents a strategic step toward increasing the value of local resources through precise purification. This process aims to eliminate various impurities in industrial salt to yield high-purity sodium chloride that meets pharmaceutical standards. To achieve this, the Chemical Treatment Process is employed, as it is simpler and more cost-effective than alternative methods. The plant is planned for construction in 2030 in Tuban, East Java, with an annual capacity of 2,000 tons. The production process involves reacting industrial salt with sodium hydroxide and sodium carbonate within a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). This reaction is both exothermic and irreversible. Following the reaction, impurities are separated, and the solution undergoes crystallization to produce NaCl crystals with a purity of 99.8%. The establishment of this facility requires a fixed capital of IDR 210,911,154,548. Financial analysis indicates a Return on Investment (ROI) of 23.95%, a Pay Out Time (POT) of 3.13 years, a Break-Even Point (BEP) of 48.40%, a Shut Down Point (SDP) of 22.54%, and a Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) of 10%. Based on these calculations, the pharmaceutical salt plant is deemed highly feasible for establishment.

Keywords: Pharmaceutical-Grade Salt, Industrial Salt, Chemical Treatment Process, CSTR.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki sumber daya laut yang melimpah, salah satunya adalah air laut yang dapat diolah sebagai garam. Indonesia menempati peringkat ke-36 menjadi negara penghasil garam paling banyak di dunia. Tetapi saat ini, kebutuhan garam nasional sedang bergantung pada impor dari berbagai negara misalnya Belanda dan Australia. Satu di antara faktor yang mengakibatkan adalah kualitas garam lokal yang belum dapat bersaing dengan garam luar negeri. Berbagai macam industri di Indonesia yang memakai natrium klorida sebagai salah satu bahan baku masih menggantungkan pasokan impor. Satu di antara jenis garam yang hingga saat ini masih diimpor yaitu garam farmasi. Garam farmasi adalah salah satu jenis garam yang memiliki tingkat kemurnian natrium klorida (NaCl) sangat tinggi, yaitu 99,8% dengan kadar impuritas mendekati 0% (Fadila et al., 2024; Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2014). Dalam industri farmasi, garam farmasi adalah satu di antara bahan baku yang paling utama dan banyak dimanfaatkan, di antaranya pembuatan minuman kesehatan, tablet, sirup, pelarut vaksin, sediaan infus, cairan pencuci darah, serta oralit. Sementara itu, di dalam bidang kosmetik, garam farmasi dimanfaatkan menjadi salah satu komponen dalam formulasi sampo dan sabun (Tansil *et al.*, 2016). Berdasarkan data dari Kementerian Kesehatan, kurang lebih 90% bahan dasar obat-obatan masih mendatangkan dari luar negeri. Dengan bertambahnya kebutuhan produk kosmetik dan farmasi di Indonesia, terus bertambah juga permintaan garam farmasi. Meskipun demikian garam farmasi di dalam negeri masih terbatas ketersediannya, akibatnya perlu tindakan strategis guna meningkatkan produksinya untuk memenuhi kebutuhan industri nasional secara mandiri.

Pendirian pabrik garam farmasi berbahan baku garam industri merupakan langkah strategis untuk meningkatkan nilai tambah sumber daya lokal melalui proses pemurnian yang tepat. Pemurnian ini bertujuan untuk menghilangkan berbagai pengotor dalam garam industri sehingga menghasilkan natrium klorida

dengan kemurnian tinggi sesuai standar farmasi. Dengan demikian, penggunaan garam industri sebagai salah satu bahan baku utama dapat membantu pemberdayaan petani garam setempat, membangun industri berbasis sumber daya lokal yang lebih berdaya saing, dan memajukan kesejahteraan masyarakat pesisir. Pabrik ini direncanakan dengan kemampuan produksi yang optimal supaya mampu berkontribusi dalam mencukupi kebutuhan pasar lokal sekaligus menurunkan keterikatan terhadap impor dari luar.

Terciptanya industri yang berkelanjutan dengan memberikan manfaat yang luas adalah harapan pendirian pabrik ini, mulai dari pengurangan impor, penguatan ketahanan industri farmasi dalam negeri, serta meningkatkan pemanfaatan garam industri. Terlebih lagi, keberadaan pabrik ini dapat memiliki potensi menciptakan lapangan kerja untuk masyarakat sekitar dan mendukung berkembangnya sektor industri untuk lebih mandiri serta dapat berdaya saing yang tinggi.

1.2 Kapasitas Rancangan

Kapasitas adalah komponen yang penting dan harus menjadi pertimbangan di dalam merencanakan suatu pabrik karena akan berpengaruh pada aspek ekonomi dan teknis. Perancangan pembangunan pabrik garam farmasi direncanakan memiliki kapasitas 2000 ton per tahun yang dapat beroperasi mulai pada tahun 2030. Dalam menetapkan kapasitas produksi pabrik garam farmasi, terdapat beberapa aspek yang menjadi bahan pertimbangan, antara lain:

1.2.1 Kebutuhan Garam Farmasi di Indonesia

Kebutuhan Garam Farmasi di Indonesia berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2019-2021 dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Impor Garam Farmasi di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2025)

Tahun	Impor (ton/tahun)
2017	2.367,39
2019	2.593,15
2020	2.605,14
2021	2.828,57

Dari data diatas, didapatkan grafik linier antara data tahun pada sumbu x dan data impor pada sumbu y:



Gambar 1. Grafik Linier Impor Garam Farmasi di Indonesia

Berdasarkan grafik di atas, bisa diketahui jika kebutuhan impor garam farmasi terdapat kecenderungan bahwa setiap tahunnya mengalami peningkatan. Data impor yang digunakan dalam analisis regresi linier adalah data tahun 2017, 2019, 2020, dan 2021. Data tahun 2018 tidak digunakan dalam pembentukan persamaan regresi karena menunjukkan lonjakan nilai impor yang sangat signifikan dibandingkan tahun lainnya, sehingga berpotensi menjadi *outlier*. Keberadaan *outlier* tersebut dapat mempengaruhi kemiringan garis regresi dan menurunkan akurasi proyeksi jangka panjang.

Oleh sebab itu, pemilihan data dilakukan untuk mendapatkan model regresi linier yang lebih representatif terhadap tren pertumbuhan impor garam farmasi yang stabil. Grafik tersebut diperoleh persamaan linier untuk mengetahui proyeksi kebutuhan garam farmasi di tahun 2030:

$$y = 106,16x - 211.774$$

$$\text{jumlah impor tahun 2030} = 106,16x - 211.774$$

$$= 106,16 (2030) - 211.774$$

$$= 3.730,8 \text{ ton/tahun}$$

1.2.2 Data Produksi Garam Farmasi di Indonesia

Tabel 2. Data Produksi Garam Farmasi di Indonesia

Nama Pabrik	Kapasitas(ton/tahun)
PT Karya Daya Syafarmasi	1.300
PT Tudung Karya Daya Inovasi	1.300

Pada saat ini, Indonesia hanya memiliki dua pabrik produksi garam farmasi yang bersertifikasi CPOB, yaitu PT Karya Daya Syafarmasi, yang berlokasi di Bogor, Jawa Barat, dan PT Tudung Karya Daya Inovasi yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur dengan kapasitas produksi sebesar 1.300 ton per tahun. Kapasitas produksi pabrik ini diperkirakan akan tetap pada angka tersebut hingga tahun 2030 karena telah mencapai kapasitas operasional maksimumnya. Tetapi, jumlah produksi ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan garam farmasi dalam negeri (BPOM, 2025).

1.2.3 Ekspor Garam Farmasi di Indonesia

Berdasarkan data yang ada pada saat ini jumlah ekspor garam farmasi masih 0 karena untuk memenuhi kebutuhan garam farmasi di Indonesia, pemerintah melakukan impor guna menunjang permintaan yang ada.

1.2.4 Data Konsumsi Garam Farmasi Dalam Negeri

Kebutuhan garam farmasi di Indonesia diperkirakan berada dalam rentang 5.000 – 7.000 ton per tahun, yang sebagian besar masih dipenuhi melalui impor. Sejalan dengan perkembangan industri farmasi serta bertambahnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan, permintaan penggunaan garam farmasi diperhitungkan akan meningkat sekitar 8% per tahun dalam 6 tahun kedepan. Tetapi, produksi dalam negeri belum dapat mencukupi seluruh kebutuhan nasional dan masih terbatas, sehingga ketergantungan terhadap impor masih cukup besar (BPOM, 2025). Dalam studi ini, angka konsumsi garam farmasi akan diambil angka terbesar yaitu sebesar 7.000 ton per tahun sebagai dasar dalam perhitungan kapasitas pabrik untuk menjamin perkiraan produksi yang maksimal dan sesuai dengan penggunaan industri farmasi di Indonesia.

1.2.5 Kapasitas Pabrik

Untuk menentukan kapasitas produksi perlu diperhatikan beberapa aspek yaitu:

- a. *Supply* = produksi + impor
 $= 2.600 + 3.730,8$
 $= 6.330,8 \text{ ton/tahun}$
- b. *Demand* = konsumsi + ekspor
 $= 7.000 + 0$
 $= 7.000 \text{ ton/tahun}$

- c. Peluang kapasitas pabrik (dengan impor)
 $demand - supply = 7.000 - 6.330,8$
 $= 669,2 \text{ ton/tahun}$
- d. Peluang kapasitas pabrik (tanpa impor)
 Peluang kapasitas (dengan data impor) + data impor
 $= 669,2 + 3.730,8$
 $= 4.400 \text{ ton/tahun}$

Berdasarkan perhitungan diatas, total pasokan garam farmasi saat ini berasal dari produksi dalam negeri sebesar 2.600 ton/tahun dan tambahan impor sebanyak 3.730,8 ton/tahun, sehingga total pasokan mencapai 6.330,8 ton/tahun. Sementara itu, kebutuhan nasional mencapai 7.000 ton/tahun. Jika memasukkan angka impor, peluang kapasitas baru hanya sekitar 669,2 ton/tahun. Namun, karena tujuan utama pendirian pabrik ini adalah untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor, maka peluang kapasitas dilakukan tanpa memperhitungkan impor, sehingga diperoleh peluang sebesar 4.400 ton/tahun. Dengan mempertimbangkan peluang tersebut, maka kapasitas produksi yang akan didirikan pada tahun 2030 sebesar 2000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia.

1.3 Perbandingan Proses

Terdapat beberapa cara guna menghilangkan berbagai impuritas dari garam bahan baku selama proses pemurnian sodium klorida (NaCl), yaitu:

1.3.1 Proses Pemurnian menggunakan *Ion Exchange*

Dalam proses *ion exchange*, ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} dihilangkan dengan resin Amberlite IRD 747 dari Rohm Haas Co. Resin ini digunakan karena kapasitas pertukarannya yang tinggi. Dalam proses ini, garam umpan terlebih dahulu dicuci untuk regenerasi dan tretament. Larutan brine dipompakan ke bed resin. Membutuhkan waktu sekitar dua puluh menit. Metode ini dapat menghilangkan ion Mg^{2+} sebesar lebih dari 99,85% dan Ca^{2+} sebesar 99,87%. Untuk menghilangkan kondisi jenuh resin, resin IRD 747 diregenerasi setiap 24 jam.

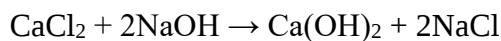
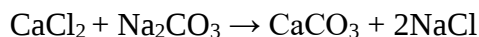
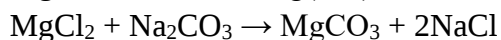
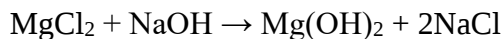
1.3.2 *Chemical Treatment Process*

Secara umum garam komersial mengandung beberapa komponen, dengan natrium klorida (NaCl) sebagai unsur utama, serta air (H_2O) dan berbagai impuritas seperti kalsium klorida

(CaCl₂), magnesium sulfat (MgSO₄), magnesium klorida (MgCl₂), dan beberapa logam berat dalam konsentrasi ppm. Meningkatkan standar garam tidak dapat dilakukan hanya dengan pencucian karena sebagian besar impuritas dalam garam industri memiliki kelarutan rendah dalam air. Oleh karena itu, diperlukan metode pemurnian berbasis proses kimia.

Pemurnian garam dapat dilakukan melalui perlakuan kimia dan presipitasi yang melibatkan proses filtrasi. Dalam metode perlakuan kimia ini, ditambahkan zat tertentu ke dalam garam industri guna meningkatkan kadar NaCl serta mengurangi kandungan senyawa pengotor, terutama yang mengandung magnesium dan kalsium. Ion Na⁺ dan Cl⁻ dalam air laut tidak berada dalam perbandingan yang proporsional, sehingga perlu dilakukan perlakuan kimia menggunakan donor Na⁺ untuk meningkatkan kadar NaCl. Bahan kimia yang berperan sebagai donor Na⁺ dalam proses ini adalah natrium hidroksida (NaOH) dan natrium karbonat (Na₂CO₃).

Reaksi kimia yang berlangsung dalam proses ini adalah:



1.3.3 Proses Pemurnian menggunakan Nano Filtrasi (NF) Membran

Pada membran nanofiltrasi, ukuran pori membran diperhitungkan menggunakan eksperimen filtrasi dengan solut tak bermuatan (maltose, galaktosa, dan raffinose), dan dianalisis memakai model *steric hindrance pore (SHP)*. Koefisien refleksi dihitung berdasarkan hubungan antara fluks dan retensi menggunakan persamaan Spiegler-Kedem. Setelah itu dilakukan pengukuran retensi terhadap larutan garam Tunggal seperti Na₂SO₄, NaCl, MgSO₄, dan MgCl₂ dalam berbagai konsentrasi. Pengujian dilakukan dalam system filtrasi *cross-flow* skala laboratorium. Sampel dari aliran umpan dan permeat dianalisis menggunakan pengukuran konduktivitas guna menetapkan tingkat retensi masing-masing ion. Oleh karena itu diperoleh mekanisme pemisahan ion pada membrane nanofiltrasi, baik berdasarkan pada efek difusi maupun muatan (Anurag *et al.*, 2005).

Tabel 3. Perbandingan Proses Pemurnian Garam

Proses	Kelebihan	Kekurangan
<i>Ion Exchange</i>	1. Dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pengolahan air dan industri kimia 2. Efektif dalam menghilangkan ion spesifik, seperti logam berat, magnesium, dan kalsium 3. Regenerasi resin dapat dilakukan untuk memperpanjang umur pakai 4. Pengoperasian yang lebih stabil	1. Memerlukan regenerasi yang kompleks 2. Biaya operasi tinggi 3. Resin bisa mengalami keausan dan perlu diganti secara berkala 4. Tidak efektif untuk menghilangkan partikel non-ionik atau senyawa organik kompleks
<i>Chemical Treatment</i>	1. Proses mudah dioperasikan 2. Biaya peralatan relatif rendah untuk skala besar 3. Cepat menyesuaikan komposisi kimia atau larutan 4. Efektivitas tinggi untuk menghilangkan kontaminan spesifik seperti senyawa organik beracun dan logam berat 5.	1. Berpotensi menghasilkan limbah sekunder yang memerlukan pengolahan lebih lanjut 2. Membutuhkan bahan kimia tambahan 3. Penggunaan bahan kimia bisa menyebabkan risiko lingkungan dan kesehatan
<i>Membrane Nanofilter</i>	1. Proses yang lebih ramah lingkungan 2. Dapat mengurangi kesadahan 3. Memerlukan energi lebih rendah dibandingkan <i>reverse osmosis</i> (RO) 6. Mampu menghilangkan partikel kecil seperti ion divalen, virus, dan bakteri	1. Biaya peralatan mahal 2. Membutuhkan energi yang tinggi 3. Membran dapat tersumbat 4. Tidak efektif untuk ion monovalent seperti natrium dan klorida dalam jumlah besar 4. Biaya investasi awal relatif tinggi

Berdasarkan uraian diatas, metode *chemical treatment* dipilih dalam pendirian pabrik ini karena memiliki biaya operasional yang lebih ekonomis dibandingkan dengan metode yang lain seperti nanofiltrasi, yang memerlukan penggunaan

pompa bertekanan tinggi, maupun *ion exchange* yang membutuhkan proses regenerasi resin secara rutin. Disamping itu, metode ini tergolong lebih sederhana dan cocok diterapkan dalam skala industri tanpa perlu infrastruktur rumit contohnya sistem membran atau kolom pertukaran ion.

1.4 Data-data Perancangan

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika adalah analisis yang diterapkan guna mengetahui karakteristik suatu reaksi, termasuk apakah reaksi tersebut bersifat endotermis atau eksotermis, serta apakah berlangsung secara *irreversible* atau *reversible*. Analisis ini dapat dilakukan dengan mengamati perubahan nilai entalpi selama proses reaksi berlangsung. Adapun reaksi yang terbentuk:

- Pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Karbonat (Na_2CO_3) $\text{MgCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{MgCO}_3 + 2\text{NaCl}$
- Pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH) $\text{MgCl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$
- Pengendapan Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH) $\text{CaCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{NaCl}$
- Pengendapan Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Karbonat (Na_2CO_3) $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$

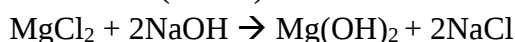
Perubahan entalpi menggambarkan jumlah kalor yang diserap atau dilepaskan selama berlangsungnya suatu reaksi kimia. Besarnya perubahan entalpi (ΔH) mengindikasikan seberapa banyak kalor yang tercampur dalam proses tersebut. Jika ΔH bernilai positif, berarti reaksi membutuhkan energi dari lingkungan supaya bisa berlangsung. Penentuan apakah suatu reaksi bersifat endotermis atau eksotermis bisa dihitung menggunakan panas penguapan standar (ΔH_g) dan panas pembentukan standar (ΔH_f) pada suhu 298 K dan tekanan 1 atm.

Tabel 4. Tabel ΔH°_f dan ΔG°_f pada reaksi kimia pembuatan garam farmasi (Yaws, 1999)

Zat Kimia	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG°_f (kJ/mol)
MgCl ₂	-641,30	-591,80
NaOH	-425,60	-379,50
Mg(OH) ₂	-924,7	-833,6
MgCO ₃	-1095,8	-1028,3
NaCl	-411,20	-384,1
CaCl ₂	-795,8	-748,1
Na ₂ CO ₃	-1130,7	-1046,8
Ca(OH) ₂	-986,2	-945,3
CaCO ₃	-1207	-1129,1

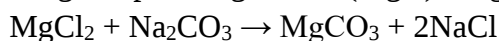
Jumlah energi yang dibutuhkan dalam suatu reaksi dipengaruhi oleh besarnya panas reaksi yang terjadi. Semakin tinggi nilai ΔH_f , maka semakin besar juga energi yang harus disediakan supaya reaksi bisa berlangsung. Kondisi ini berdampak pada penambahan biaya guna mencukupi kebutuhan energi tersebut. Sebaliknya, apabila ΔH_f bernilai negatif, berarti reaksi melepaskan panas selama proses berlangsung. Dalam keadaan ini, reaksi tidak membutuhkan suplai energi tambahan, namun tetap membutuhkan pengendalian suhu supaya panas yang ditimbulkan tidak mengganggu jalannya reaksi.

- a. Pengendapan Magnesium (Mg²⁺) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)



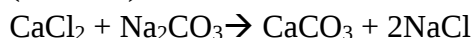
$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_f \text{ reaksi} &= \Delta H^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= [(\Delta H^{\circ}_f \text{ Mg(OH)}_2 + 2 \times \Delta H^{\circ}_f \text{ NaCl}) - (\Delta H^{\circ}_f \text{ MgCl}_2 + 2 \times \Delta H^{\circ}_f \text{ NaOH})] \\ &= [(-924,7 + (2 \times (-411,20))) - (-641,30 + (2 \times (-425,60)))] \\ &= [(-1747,1) - (-1492,5)] \\ &= -254,6 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}\end{aligned}$$

- b. Pengendapan Magnesium (Mg²⁺) dengan Natrium Karbonat (Na₂CO₃)



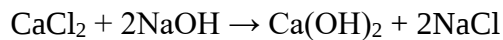
$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_f \text{ reaksi} &= \Delta H^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ reaktan} \\ &= [(\Delta H^{\circ}_f \text{ MgCO}_3 + 2 \times \Delta H^{\circ}_f \text{ NaCl}) - (\Delta H^{\circ}_f \text{ MgCl}_2 + \Delta H^{\circ}_f \text{ Na}_2\text{CO}_3)] \\ &= [(-1095,8 + (2 \times (-411,20))) - ((-641,30) + (-1130,7))] \\ &= [(-1918,2) - (-1771,7)] \\ &= -146,5 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}\end{aligned}$$

- c. Pengendapan Kalsium (Ca²⁺) dengan Natrium Karbonat (Na₂CO₃)



$$\begin{aligned}
\Delta H^{\circ}_{\text{reaksi}} &= \Delta H^{\circ}_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{\text{reaktan}} \\
&= [(\Delta H^{\circ}_{\text{CaCO}_3} + 2 \times \Delta H^{\circ}_{\text{NaCl}}) - (\Delta H^{\circ}_{\text{CaCl}_2} + \Delta H^{\circ}_{\text{Na}_2\text{CO}_3})] \\
&= [(-1207 + (2 \times (-411,20))) - (-795,8 + (-1130,7))] \\
&= [(-2029,4) - (-1926,5)] \\
&= -102,9 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}
\end{aligned}$$

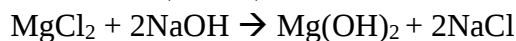
- d. Pengendapan Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)



$$\begin{aligned}
\Delta H^{\circ}_{\text{reaksi}} &= \Delta H^{\circ}_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{\text{reaktan}} \\
&= [(\Delta H^{\circ}_{\text{Ca(OH)}_2} + 2 \times \Delta H^{\circ}_{\text{NaCl}}) - (\Delta H^{\circ}_{\text{CaCl}_2} + 2 \times \Delta H^{\circ}_{\text{NaOH}})] \\
&= [(-986,2) + (2 \times -411,20)) - (-795,8 + 2 \times (-425,60))] \\
&= [(-1808,6) - (-1647)] \\
&= -161,6 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}
\end{aligned}$$

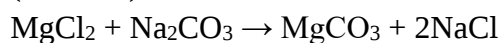
Energi Gibbs standar dimanfaatkan untuk menetapkan apakah suatu reaksi kimia berlangsung secara spontan atau tidak. Apabila ΔG mempunyai nilai positif, berarti reaksi tidak bisa berlangsung secara spontan dan membutuhkan tambahan energi dari lingkungan agar dapat terjadi. Reaksi dengan ΔG positif dikenal sebagai reaksi endergonik. Sebaliknya, jika ΔG bernilai negatif, reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa membutuhkan energi eksternal, karena sistem sendiri yang membebaskan energi selama proses terjadi. Reaksi dengan ΔG negatif disebut sebagai reaksi eksotermis.

- a. Pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)



$$\begin{aligned}
\Delta G^{\circ}_{\text{reaksi}} &= \Delta G^{\circ}_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}_{\text{reaktan}} \\
&= [(\Delta G^{\circ}_{\text{Mg(OH)}_2} + 2 \times \Delta G^{\circ}_{\text{NaCl}}) - (\Delta G^{\circ}_{\text{MgCl}_2} + 2 \times \Delta G^{\circ}_{\text{NaOH}})] \\
&= [(-833,6 + (2 \times (-384,1))) - (-591,80 + (2 \times (-379,50)))] \\
&= [(-1601,8) - (-1350,8)] \\
&= -251 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}
\end{aligned}$$

- b. Pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Karbonat (Na_2CO_3)

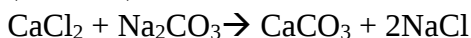


$$\begin{aligned}
\Delta G^{\circ}_{\text{reaksi}} &= \Delta G^{\circ}_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}_{\text{reaktan}} \\
&= [(\Delta G^{\circ}_{\text{MgCO}_3} + 2 \times \Delta G^{\circ}_{\text{NaCl}}) - (\Delta G^{\circ}_{\text{MgCl}_2} + \Delta G^{\circ}_{\text{Na}_2\text{CO}_3})] \\
&= [(-1028,3 + (2 \times (-384,1))) - ((-591,80) + (-1046,8))]
\end{aligned}$$

$$= [(-1796,5) - (-1638,6)]$$

$$= -157,9 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}$$

- c. Pengendapan Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Karbonat (Na_2CO_3)



$$\Delta G^\circ_{\text{reaksi}} = \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}}$$

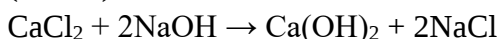
$$= [(\Delta G^\circ_{\text{CaCO}_3} + 2 \times \Delta G^\circ_{\text{NaCl}}) - (\Delta G^\circ_{\text{CaCl}_2} + \Delta G^\circ_{\text{Na}_2\text{CO}_3})]$$

$$= [(-1129,1 + (2 \times (-384,1))) - (-748,1 + (-1046,8))]$$

$$= [(-1897,3) - (-1794,9)]$$

$$= -102,4 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}$$

- d. Pengendapan Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)



$$\Delta G^\circ_{\text{reaksi}} = \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}}$$

$$= [(\Delta G^\circ_{\text{Ca(OH)}_2} + 2 \times \Delta G^\circ_{\text{NaCl}}) - (\Delta G^\circ_{\text{CaCl}_2} + 2 \times \Delta G^\circ_{\text{NaOH}})]$$

$$= [(-945,3) + (2 \times -348,1)) - (-748,1 + 2 \times ((-379,50)))]$$

$$= [(-1641,5) - (-1507,1)]$$

$$= -134,4 \text{ kJ/mol (reaksi eksotermis)}$$

Konstanta kesetimbangan (K) merupakan nilai yang bersumber pada data eksperimen. Secara kuantitatif, konstanta ini menyebabkan perhitungan konsentrasi pereaksi dan produk dalam suatu sistem yang berada dalam kondisi setimbang. Secara kualitatif, K memberikan bayangan mengenai sejauh mana suatu reaksi berjalan menuju kesetimbangan atau mendekati reaksi yang sempurna. Hubungan antara konstanta kesetimbangan dan energi bebas bisa ditetapkan menggunakan persamaan berikut (Smith *et al.*, 1993):

$$\Delta G = -RT \ln K$$

Keterangan:

ΔG = Energi Bebas Gibbs

R = Konstanta Gas ($8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol.K}$)

T = Temperatur (K)

K = Konstanta Kesetimbangan Reaksi

Pada keadaan standar, harga konstanta kesetimbangan ($T = 298\text{K}$) sebagai berikut:

- a. Pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)

$$\ln K_{298} = \frac{-\Delta G^\circ}{RT}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{-(-251 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298\text{K}} \\
&= 101,309 \\
K_{298} &= \exp(\ln K_{298}) \\
&= \exp(101,309) \\
&= 9,95 \times 10^{43} \\
\ln \frac{K_{298}}{K} &= \frac{-\Delta H^\circ}{RT} \left[\frac{1}{298\text{K}} - \frac{1}{T} \right] \\
&= \frac{-(-254,6) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left[\frac{1}{298\text{K}} - \frac{1}{418\text{K}} \right] \\
&= 29,501 \\
K &= \frac{K_{298}}{\exp(29,501)} \\
&= \frac{9,95 \times 10^{43}}{6,49 \times 10^{12}} = 1,49 \times 10^{31}
\end{aligned}$$

- b. Pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Karbonat (Na_2CO_3)

$$\begin{aligned}
\ln K_{298} &= \frac{-\Delta G^\circ}{RT} \\
&= \frac{-(-157,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298\text{K}} \\
&= 63,732 \\
K_{298} &= \exp(\ln K_{298}) \\
&= \exp(63,732) \\
&= 4,77 \times 10^{27} \\
\ln \frac{K_{298}}{K} &= \frac{-\Delta H^\circ}{RT} \left[\frac{1}{298\text{K}} - \frac{1}{T} \right] \\
&= \frac{-(-146,5) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left[\frac{1}{298\text{K}} - \frac{1}{418\text{K}} \right] \\
&= 16,975 \\
K &= \frac{K_{298}}{\exp(16,975)} \\
&= \frac{4,77 \times 10^{27}}{23.558.564,8} = 2,02 \times 10^{20}
\end{aligned}$$

- c. Pengendapan Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Karbonat (Na_2CO_3)

$$\begin{aligned}
\ln K_{298} &= \frac{-\Delta G^\circ}{RT} \\
&= \frac{-(-102,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298\text{K}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 41,331 \\
 K_{298} &= \exp(\ln K_{298}) \\
 &= \exp(41,331) \\
 &= 8,91 \times 10^{17} \\
 \ln \frac{K_{298}}{K} &= \frac{-\Delta H^\circ}{RT} \left[\frac{1}{298K} - \frac{1}{T} \right] \\
 &= \frac{-(-102,9) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left[\frac{1}{298K} - \frac{1}{418K} \right] \\
 &= 11,923 \\
 K &= \frac{K_{298}}{\exp(11,923)} \\
 &= \frac{8,91 \times 10^{17}}{150.693,01} = 5,91 \times 10^{12}
 \end{aligned}$$

- d. Pengendapan Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298} &= \frac{-\Delta G^\circ}{RT} \\
 &= \frac{-(-134,4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298K} \\
 &= 54,247 \\
 K_{298} &= \exp(\ln K_{298}) \\
 &= \exp(54,247) \\
 &= 83,62 \times 10^{23} \\
 \ln \frac{K_{298}}{K} &= \frac{-\Delta H^\circ}{RT} \left[\frac{1}{298K} - \frac{1}{T} \right] \\
 &= \frac{-(-161,6) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{8,314 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \left[\frac{1}{298K} - \frac{1}{418K} \right] \\
 &= 15,573 \\
 K &= \frac{K_{298}}{\exp(15,573)} \\
 &= \frac{83,62 \times 10^{23}}{5.797.863,24} = 1,44 \times 10^{18}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data tinjauan termodinamika diatas, reaksi berlangsung secara *irreversible* ke arah produk, yang ditunjukkan oleh nilai konstanta kesetimbangan pada suhu 25°C (298K) dan 145°C (418K) yang sangat tinggi. Disamping itu, konstanta energi Gibbs bernilai negatif, berarti reaksi dapat berjalan secara spontan.

1.4.2 Tinjauan Kinetika

- a. Reaksi Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Katbonat (Na_2CO_3)
 $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{NaCl}(\text{aq})$

Laju reaksi kimia:

$$-r_A = k \cdot C_A^m \cdot C_B^n$$

$$-r \text{ Ca}^{2+} = k [\text{Ca}^{2+}]^m [\text{CO}_3^{2-}]^n$$

Model kinetika:

$$R_g = k_g(S)^g$$

- b. Reaksi Kalsium (Ca^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)
 $\text{CaCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{NaCl}(\text{aq})$

Laju reaksi kimia;

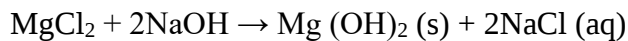
$$-r_A = k \cdot C_A^m \cdot C_B^n$$

$$-r \text{ Ca}^{2+} = k [\text{Ca}^{2+}]^m [\text{OH}^-]^n$$

Model kinetika:

$$R_g = k_g(C_A - C_{Ae})$$

- c. Reaksi pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Hidroksida (NaOH)



Laju reaksi kimia;

$$-r_A = k \cdot C_A^m \cdot C_B^n$$

$$-r \text{ Mg}^{2+} = k [\text{Mg}^{2+}]^m [\text{OH}^-]^n$$

Model kinetika:

$$J = A \exp\left(-\frac{\Delta G^\ddagger}{kT}\right)$$

- d. Reaksi pengendapan Magnesium (Mg^{2+}) dengan Natrium Katbonat (Na_2CO_3)

Laju reaksi kimia;

$$-r_A = k \cdot C_A^m \cdot C_B^n$$

$$-r \text{ Mg}^{2+} = k [\text{Mg}^{2+}]^m [\text{CO}_3^{2-}]^n$$

Model kinetika:

$$-r = k_f [\text{Mg}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] - k_r [\text{MgCO}_3]$$

(Levenspiel, 1999)