

LAPORAN TUGAS AKHIR
PRARANCANGAN PABRIK NATRIUM DIFOSFAT HEPTAHIDRAT
DARI NATRIUM KLORIDA DAN ASAM FOSFAT
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN



Dikompilasi sebagai salah satu permintaan penyelesaian
Pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Setiabudi, Surakarta

Mahasiswa :

Misbah Rahmawan

22160298D

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA

2020

**LEMBAR PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**PRARANCANGAN PABRIK NATRIUM DIFOSFAT HEPTAHIDRAT
DARI NATRIUM KLORIDA DAN ASAM FOSFAT
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN**

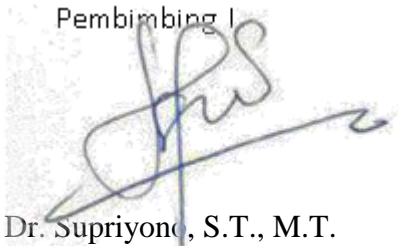
Dikompilasi Sama :

Misbah Rahmawan 22160298D

Dikompilasi Sama Moderator

Pada Masa.....

Pembimbing I



Dr. Supriyono, S.T., M.T.
NIS. 01199508011049

Moderator II



Gregorius Prima Indra B., S.T., M.Eng.
NIS. 01201407261183

Mengetahui,

Direktur Akademik

S1 Teknik Kimia



Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng.
NIS. 01201407261183

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN SKRIPSI

**PRARANCANGAN PABRIK NATRIUM DIFOSFAT HEPTAHIDRAT DARI
NATRIUM KLORIDA DAN ASAM FOSFAT
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN**

Sama :

Misbah Rahmawan

22160295D

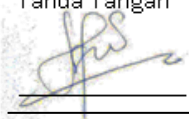
Didukung Sama Tim Pemeriksa

Pada Masa

Nama

Tanda Tangan

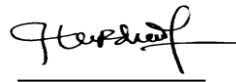
Penguji I : Dr. Supriyono, S.T., M.T.



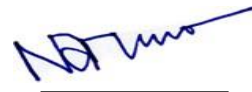
Penguji II : Gregorius Prima Indra Budiarto, S.T., M.Eng.



Penguji III : Ir. Sumardiyono, M.T.



Penguji IV : Dr. Narimo, S.T., M.M.



Mengesahkan

Penatua Akademik

Direktur Akademik



Dr. Suseno, M.Si.
NIS.0199408011044



G. Prima Indra B., S.T., M.Eng.
NIS.01201407261183

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah kepada kami semua sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir rancang bangun pabrik kimia ini dengan baik.

Judul tugas akhir ini adalah perancangan pabrik natrium difosfat heptahidrat dengan kapasitas tahunan 50.000 ton dari natrium klorida dan asam fosfat. Agenda rancang bangun pabrik kimia merupakan agenda akhir yang harus diselesaikan oleh seluruh mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Setiabudi Surakarta sebagai prasyarat untuk menyelesaikan studi sarjananya. Tugas ini menuntut kemampuan berpikir dan menerapkan teori-teori yang dipelajari dalam perkuliahan dan membuatnya lebih mudah untuk dipahami.

Penyusunan laporan akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pemangku kepentingan. Dalam laporan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa
2. Orang Tua dan Keluarga yang selalu mendukung dengan sepenuh hati
3. Yayasan Pendidikan Universitas Setia Budi yang telah memberikan kesempatan beasiswa belajar penuh kepada saya sehingga dapat menyelesaikan jenjang sarjana.
4. Dr. Djoni Tarigan, MBA., selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
5. Dr. Suseno, M.Si, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta
6. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta.
7. Dr. Supriyono, S.T., M.T. selaku pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.

8. Gregorius Prima Indra Budianto, S.T., M.Eng., selaku pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan nasehat hingga selesainya tugas akhir ini.
9. Ir. Sumardiyono, M.T. dan Dr. Narimo, S.T., M.M selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk menguji hasil laporan tugas akhir ini.
10. Bapak dan Ibu dosen jurusan teknik kimia atas ilmu dan bimbingannya selama kuliah.
11. Serta semua yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surakarta, 02 November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik.....	1
1.2 Kapasitas Rancangan Pabrik	2
1.2.1 Data Impor Produk.....	2
1.2.2 Kapasitas Pabrik yang Sudah Ada	3
1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik.....	4
1.4 Proses yang dipilih	5
1.5 Tinjauan Pustaka	16
1.5.1 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku	16
1.5.2 Proses Pembuatan	17
BAB II. SPESIFIKASI BAHAN	22
2.1 Spesifikasi Bahan Baku.....	22
2.2 Spesifikasi Produk.....	22
BAB III. DESKRIPSI PROSES	24
3.1 Diagram Alir Kualitatif	24
3.2 Diagram Alir Kuantitatif	25
3.3 Keterangan Proses	26
3.3.1 Persiapan Bahan Baku	26
3.3.2 Pembentukan Produk	27
3.3.3 Pemurnian Produk.....	28
BAB IV NERACA MASSA	29
4.1 Langkah-Langkah Pembuatan Neraca Massa	29
4.2 Penyelesaian Neraca Massa	29
4.3 Hasil perhitungan Neraca Massa.....	30
4.3.1 Kapasitas Produksi Tiap Jam	30

4.3.2 Neraca Massa	30
4.4 Hasil Perhitungan Neraca Panas	33
BAB V. SPESIFIKASI ALAT	37
5.1 Mixer	37
5.2 Reaktor	37
5.3 Evaporator	38
5.4 Kristaliser.....	38
5.5 Centrifuge	39
5.6 Rotary Dryer.....	39
5.7 Tangki Penyimpanan Asam Fosfat.....	39
5.8 Tangki Penyimpanan Asam Klorida	40
5.9 Hopper NaCl	41
5.10 Pompa.....	41
5.11 Pompa.....	41
5.12 Pompa.....	42
5.13 Pompa.....	42
5.14 Pompa.....	43
5.15 Pompa.....	43
5.16 Heater	43
5.17 Heater	44
5.18 Heater	44
5.19 Bucket Elevator	45
5.20 Bucket Elevator	45
5.20 Screw Conveyor.....	46
5.21 Screw Conveyor.....	46
5.22 Belt Conveyor	47
BAB VI. UTILITAS DAN LABORATORIUM	48
6.1 Unit Pendukung Proses (UTILITAS).....	48
6.1.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air	48
6.1.2 Unit Sanitasi.....	50
6.1.3 Unit Pengadaan Steam	51
6.2 Unit Pengadaan Listrik	53

6.3	Unit Pengadaan Bahan Bakar	56
6.4	Unit Penyediaan Udara Tekan	56
6.5	Unit Pengolahan Limbah.....	56
6.6	Laboratorium	57
6.7	Kesehatan dan Keselamatan Kerja.....	59
6.8	Alat-Alat Utilitas	60
	6.8.1 Bak Penampung Sementara	60
	6.8.2 Kation Exchanger.....	60
	6.8.3 Anion Exchanger	60
	6.8.4 Tangki Air Umpan Boiler	61
	6.8.5 Deaerator	61
	6.8.6 Boiler.....	61
	6.8.7 Tangki N ₂ H ₄	61
	6.8.8 Tangki karbon aktif.....	61
	6.8.9 Tangki kaporit	62
	6.8.10 Tangki air sanitasi	62
	6.8.11 Tangki larutan HCl.....	62
	6.8.12 Tangki larutan NaOH.....	62
	6.8.13 Tangki air pendingin	63
	6.8.14 Tangki air pendingin	63
	6.8.15 Tangki Demineralizer	63
	6.8.16 Cooling Tower	63
	6.8.17 Pompa Utilitas 1.....	64
	6.8.18 Pompa Utilitas 2.....	64
	6.8.19 Pompa Utilitas 3.....	64
	6.8.20 Pompa Utilitas 4.....	64
	6.8.21 Pompa Utilitas 5.....	64
	6.8.22 Pompa Utilitas 6.....	64
	6.8.23 Pompa Utilitas 7.....	64
	6.8.24 Pompa Utilitas 8.....	65
	6.8.25 Pompa Utilitas 9.....	65
	6.8.26 Pompa Utilitas 10.....	65

6.8.27 Pompa Utilitas 11.....	65
6.8.28 Pompa Utilitas 12.....	65
6.8.29 Pompa Utilitas 13.....	65
6.8.30 Pompa Utilitas 14.....	65
BAB VII. ORGANISASI DAN TATA LETAK	66
7.1 Bentuk Perusahaan.....	66
7.2 Struktur Organisasi	67
7.2.1 Struktur Organisasi	68
7.2.2 Pemegang Saham	68
7.2.3 Dewan Komisaris.....	69
7.2.4 Direktur	69
7.2.5 Staf Ahli dan Litbang.....	70
7.2.6 Kepala Bagian	70
7.2.7 Karyawan	71
7.3 Sistem Kepegawaian dan Sistem Gaji.....	71
7.3.1 Sistem Kepegawaian	72
7.3.2 Penggolongan Jabatan.....	73
7.3.3 Sistem Gaji.....	74
7.4 Pembagian Jam Kerja Karyawan	75
7.5 Kesejahteraan Karyawan.....	81
7.6 Manajemen Produksi	82
7.6.1 Perencanaan Produksi	82
7.6.2 Pengendalian proses.....	83
7.7 Tata Letak (Lay Out) Pabrik.....	84
7.8 Tata Letak Alat	88
BAB VIII. EVALUASI EKONOMI.....	91
8.1 Harga Alat	91
8.2 Perhitungan Biaya	93
8.3 Total Fixed Capital Investment	96
8.4 Working Capital	96
8.5 Manufacturing Cost	96
8.6 General Expenses	97

8.7	Analisis Ekonomi	97
	8.7.1 Return On Investment (ROI)	97
	8.7.2 Pay Out Time (POT)	98
	8.7.3 Break Even Point (BEP)	98
	8.7.4 Shut Down Point (SDP)	99
	BAB IX. KESIMPULAN	101
	DAFTAR PUSTAKA	102
	LAMPIRAN I. DIAGRAM ALIR PROSES	103
	LAMPIRAN II. DIAGRAM ALIR UTILITAS.....	104
	LAMPIRAN III. PERHITUNGAN ALAT UTAMA	105

Bab 1 Alas Kata

1.1 Latar Belakang Pabrik

Selain kemajuan teknologi dan waktu, perkembangan di segala bidang perlu diperhitungkan. Saat ini perkembangan sektor ekonomi dan perkembangan sektor industri berkembang, termasuk industri kimia, dimana industri kimia merupakan produk jadi (ready-to-use product) dan produk antara untuk aktif lebih lanjut (intermediate). Kami memproduksi keduanya. Perkembangan dan perkembangan yang memenuhi maupun luar negeri. Saat ini, permintaan terhadap berbagai produk kimia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Dorongannya adalah untuk meningkatkan jumlah produk yang dibutuhkan masyarakat untuk kebutuhan sehari-hari. Salah satu bahan kimia yang banyak dibutuhkan adalah Sodium Diphosphate.

Natrium difosfat sering ditemukan dalam bentuk hidrat. Salah satunya adalah sodium diphosphate heptahydrate, yang merupakan bahan dalam pembuatan deterjen, agen proteksi kebakaran, pewarna tekstil, industri kertas, pengolahan air, dan sebagainya.

Dengan semakin banyaknya industri kimia khususnya Indonesia khususnya industri tekstil, deterjen dan kertas, diperkirakan kebutuhan natrium difosfat akan meningkat. Oleh karena itu, sangat penting untuk merencanakan pabrik natrium difosfat heptahidrat Indonesia sebagai pemasok bahan baku industri dan, mungkin, sebagai produk ekspor.

1.2 Kemampuan desain pabrik

Penentuan kapasitas pabrik natrium difosfat heptahidrat didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain:

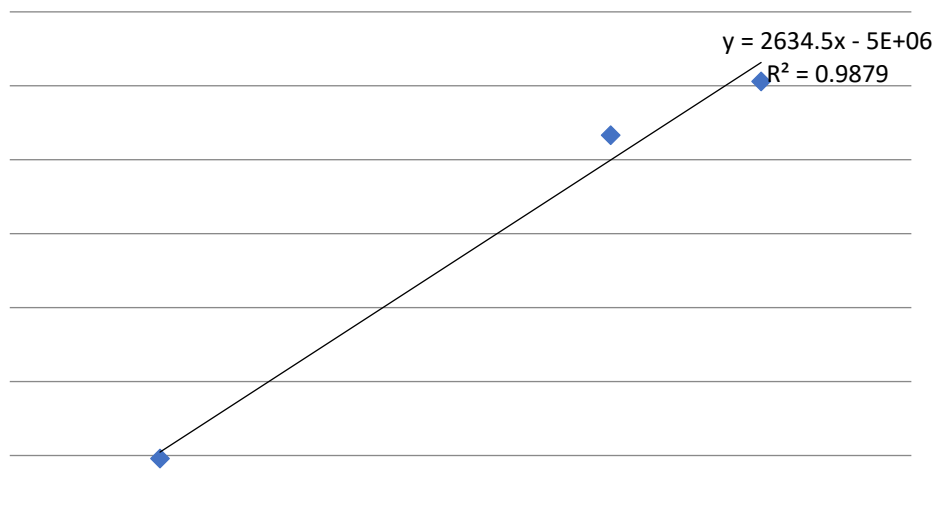
1.2.1 Data impor produk

Permintaan natrium difosfat heptahidrat di Indonesia berfluktuasi, menurut data Badan Pusat Statistik. Akibat minimnya produksi NDH, Indonesia harus mengimpor dari luar negeri.

Tabel 1. Impor NDH

Nomer	Tahun	(Ton)
1	2014	1923,662
2	2017	10669,157
3	2018	12124,891

Sumber : (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019)



Gambar 1. Grafik hubungan volume impor NDH dengan waktu (tahun) di Indonesia

Impor NDH bervariasi. Artinya, kebutuhan impor NDH untuk tahun berikutnya dapat diperkirakan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil ($y = a + bx$). Sebagai contoh, pada tahun 2025, kebutuhan natrium difosfat heptahidrat diperkirakan mencapai 28.708.

1.2.2 Jumlah Industri Yang Telah Berdiri

Meja 2. Industri Sodium Diphosphate Hexahydrate

Pabrik	(ton/tahun)
Tianjin Hutong Global Trade Co., Ltd, China	50.000
Rhodia, Port Maintland, USA	80.000
Astaris, Carondelet, USA	55.000

Berdasarkan Tabel 2, kapasitas produksi natrium difosfat heptahidrat dunia berkisar antara 50.000 hingga 80.000 ton/tahun. Pabrik natrium difosfat heptahidrat belum didirikan di Indonesia dan perlu didirikan di Indonesia dengan kapasitas 50.000 ton/tahun. Mengingat pabrik natrium difosfat heptahidrat belum didirikan di Indonesia dan diharapkan dapat didirikan, diambil dengan 50.000 ton/tahun adalah 174,2% dari kebutuhan impor pada tahun 2020. 2025 , yaitu 28.708 ton. /lima. . Digunakan 100% untuk kebutuhan dalam negeri yaitu 28.708 ton/tahun dan 74,2% untuk kebutuhan ekspor yaitu 21.292 ton/tahun.

1.3 Pemilihan lokasi pabrik

Lokasi memiliki dampak pada kesuksesan bisnis. Faktor yang digunakan sebagai kriteria penentuan lokasi suatu fasilitas pabrik, antara lain sebagai berikut:

A. Ketersediaan Bahan Baku

Diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik dan PT. Toya Indo Manunggal Sidoarjo.

B. Promosi produk

Terciptanya industry natrium difosfat heptahidrat di Gresik, kebutuhan natrium difosfat heptahidrat dapat terpenuhi, sekaligus membuka pintu bagi terbentuknya industri yang menggunakan bahan baku natrium difosfat heptahidrat.

C. Dibandingkan dengan Kereta Pemilihan lokasi pabrik di Gresik, Jawa

Timur, bertujuan untuk memperlancar pasokan bahan baku serta proses pemasaran, karena lokasi yang dipilih adalah lokasi industri.

D. Keperluan Ketersediaan

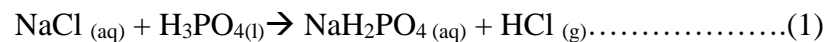
sarana penunjang seperti air, listrik dan bahan bakar harus diperhatikan dengan baik agar tidak mengganggu produksi natrium difosfat heptahidrat.

1.4 Proses yang dipilih

Tabel 3. Perbandingan Proses dengan Kedua Metode

No.	Keadaan	Metode 1	Metode 2
1.	Bahan Baku Utama	Na ₂ CO ₃ , H ₃ PO ₄	NaCl, H ₃ PO ₄
2.	Pelarut H ₃ PO ₄	Kemurnian tinggi	Dapat menggunakan kemurnian yang lebih rendah (54%)
3.	Tipe Reaksi	Eksotermis	Endotermis
4.	Konversi	90%	95%
5.	Produk Samping	CO ₂	HCl

NDH rumus kimia Na₂HPO₄ adalah bahan padat tidak berwarna. Adalah yang pertama mengembangkan natrium difosfat, setelah menemukan diagram fase natrium arthofosfat. Sebelumnya, natrium difosfat hanya digunakan oleh Wendrau dan Cobe sebagai penyangga. Awalnya, 90 ° C untuk membebaskan CO₂ dari larutan (Kirk Othmer, 1978). Namun saat ini metode yang digunakan adalah dengan (Faith and Keyes, 1957). Reaksinya adalah sebagai berikut:



Dengan melarutkan dalam, kemudian mereaksikan bejana reaksi tekanan 1 atm, yang dari reaksi yang dibawa ke evaporator untuk diuapkan, udara yang terkandung di dalamnya. Produk dari evaporator dan menghasilkan kemudian dalam crystallizer untuk udara. Crystal pergi ke sentrifug. Cairan dikembalikan ke barel pencampur. Kristal tumbuh, kehilangan molekul udara dan membentuk heptahidrat saat terkena udara. Produk yang telah mengkristal akan dikeringkan dengan rotary dryer dengan media pengering udara. Beberapa pertimbangan yang digunakan untuk mendefinisikan proses: digunakan, di antaranya:

Satu. Hasil konversi tinggi, mencapai 95%
B. Biaya NaCl lebih murah daripada Na₂CO₃
dibandingkan dengan asam fosfat dengan kemurnian lebih rendah
(54%) dapat digunakan

1.5 Dokumen Ikhtisar

1.5.2 Proses manufaktur

A. Dasar reaksi

Reaksi antara asam fosfat dan natrium klorida terjadi dalam keadaan cair dari cairan di mana asam fosfat dan natrium klorida dilarutkan. Proses konversi menggunakan reaktor tangki pengaduk (RTB). Pembentukan natrium difosfat heptahidrat menjadi asam fosfat adalah 95% (Faith Keyes, 1957). Produk yang meninggalkan reaktor diumpankan ke crystallizer untuk mengkristalkan produk. Produk kristalisasi diumpankan ke centrifuge yang membantu memisahkan kristal dari induk, dan kemudian dikeringkan dalam pengeringan putar untuk mendapatkan produk kristal kering.

B. Tahap reaksi

Berdasarkan termodinamika dengan persamaan ($\Delta H_{R0298K} = H_{fo}$ produk H_{fo} reaktan), H_R positif, sehingga reaksi bersifat endotermik dan terjadi dalam fase cair. Karena reaksi dilakukan dalam fase cair, pilih reaktor tangki pengaduk (RATB) sebagai reaktornya. (Ullmann, 2002)

C Kondisi operasi

Kondisi operasi untuk proses produksi NDH dari NaCl dan H₃PO₄ dilakukan pada suhu 90 ° C dan tekanan 1 atmosfer. Dalam keadaan ini, fase cair memudahkan untuk mengontrol reaksi yang sedang berlangsung. Reaksi ini tidak dapat diubah (satu arah). Laju konversi

reaksi yang dicapai pada kondisi ini adalah 95%.
(www.indiamart.com/trivenichemikalien, 2000)

D Ulasan Thermodinamika

Menetapkan eksoterm/endoterm dan arah reaksi reversibel/ireversibel, dilakukan kalkulasi kalor pembentukan standar (ΔH_f°) pada reaktan 1 atm dan 25°C. Dan produk. Tabel 4. Harga Hf

Komponen	ΔH_f° (Kkal/mol) , 25°C
NaH ₂ PO ₄ (aq)	-417,4
NaCl (aq)	-98,232
H ₃ PO ₄ (l)	-306,2
HCl (g)	-22,063

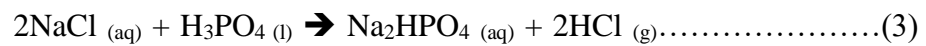
(Perry, 1997)

Dengan pembentukan natrium difosfat heptahidrat, reaksi berikut terjadi: 2NaCl (berbasis air) + H_3PO_4 (l) \rightarrow Na_2HPO_4 (berbasis air) + 2HCl (g) (3) $H_{R0298K} = H_{fo}$ reaktan produk $H_{fo} = (\Delta H_{foNaH_2PO_4} + H_{fo HCl}) - (\Delta H_{foNaCl} + H_{fo H_3PO_4}) = (417,4 + (22.063 (2)) - (98.232 (2) + (306.2))) = 41.138 \text{ kkal / mol} = 41138 \text{ kal / mol}$ Data yang diperoleh dengan H_{R0298K} adalah 63.201 kkal/mol. Ini karena reaksinya endotermik karena H_{R0298K} positif. Konversi pembentukan Na_2HPO_4 menjadi NaCl adalah 95%. Pada perbandingan molar $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{NaCl} = 1 : 2$. Reaksi netralisasi terjadi secara spontan atau tanpa menggunakan katalis, dan reaksi bersifat irreversible (satu arah), yang dapat dibuktikan dengan perhitungan berikut. $G_f^0 = RT \ln K_{298 K}$ Nilai G_f^0 untuk setiap komponen (suhu 298 K) adalah:

Tabel 5. Entalpi bahan Gibbs

Komponen	ΔG_f^0 (kkal/mol)
NaCl (aq)	-48,0843
H ₃ PO ₄ (l)	-265,524
HCl (g)	-22,7627
Na ₂ HPO ₄ (aq)	-427,506

(Perry 7th ed, Table 2-220)



$$\Delta G_f^0 = \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}}$$

$$= (\Delta G_f^0 \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \Delta G_f^0 \text{HCl}) - (\Delta G_f^0 \text{NaCl} + \Delta G_f^0 \text{H}_3\text{PO}_4)$$

$$= (-427,506 + (-22,7627)) - ((-48,0843 (2)) + (-265,524))$$

$$= -88,5761 \text{ kkal/mol} = -88.576,1 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta G_f^0 = -RT \ln K_{298 \text{ K}}$$

$$-88576,1 \text{ kal/mol} = -1,987 \text{ kal/Kmol} \times 363 \text{ K} \times \ln K_{298\text{K}}$$

$$\ln K = \frac{-88576,1 \text{ kal/mol}}{-1,987 \frac{\text{kal}}{\text{Kmol}} \times 363 \text{ K}}$$

$$\ln K = 122,80387$$

$$K = 2,152995377 \times 10^5$$

Nilai konstanta kesetimbangan pada 90°C dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Smith, J.M. and Van Ness, H.C. 1975):

$$\ln \left(\frac{K}{K_1} \right) = -\frac{\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)$$

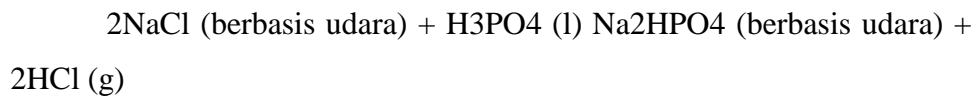
$$\ln \left(\frac{K}{2,152995377 \times 10^5} \right) = -\frac{63201 \text{ kal/mol}}{1,987 \text{ kal/Kmol}} \times \left(\frac{1}{363 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right)$$

$$K = 4,300202511 \times 10^{13}$$

Dari perhitungan nilai K, kita dapat menyimpulkan bahwa reaksi ini tidak dapat diubah ke kanan.

Tinjauan kinetika reaksi

Kinetika reaksi yang membentuk natrium difosfat meningkat dengan suhu. Reaksi untuk membentuk natrium difosfat dilakukan pada tekanan 1 atmosfer dengan tujuan untuk menjaga larutan natrium difosfat dalam keadaan cair di dalam reaktor. reaksi pembentukan natrium difosfat merupakan reaksi sekunder (Sarto & Alamsyah, 2007 & Trivenichicals, 2000) dengan waktu reaksi 1 jam (US Pat. No. 3,421846 & Hal Archivesouvertes, 2018).



$$r_a = dC_a / dt = kC_{\text{NaCl}}C_{\text{H}_3\text{PO}_4}$$

$$r_a = kC_A.C_B$$

$$(dC_A) / dt = kC_A.C_B \quad C_{B0} = C_{A0}$$

$$r_a = kC_{A0}^2 (1-X_A) (1-1/2X_A)$$

Nilai k kemudian diberikan ke persamaan Levenspiel.

$$\tau = X_A / kC_A C_B$$