



**PERHITUNGAN NERACA MASSA DAN NERACA
PANAS PADA PRA-RANCANGAN PABRIK
GLUSITOL DENGAN BAHAN BAKU D-GLUKOSA
KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh

Afiati Estrina Akhir

(5213415013)

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama Mahasiswa : Afiati Estrina Akhir

NIM : 5213415013

Skripsi Dengan Judul “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas pada Pra-Rancangan Pabrik Glusitol dengan Bahan Baku D-Glukosa Kapasitas 90.000 ton/tahun” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 5 Agustus 2019

Dosen Pembimbing



Ria Wulansarie, S.T., M. T.

NIP. 199001272015042001

PENGESAHAN

Skripsi Dengan Judul “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas pada Prarancangan Pabrik Glusitol dengan Bahan Baku D-Glukosa Kapasitas 90.000 ton/tahun” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada Tanggal.16.Bulan Agustus Tahun 2019.

Oleh

Nama : Afiati Estrina Akhir
NIM : 5213415013
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia:

Ketua

Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.
NIP. 197405191999032001

Sekretaris

Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji I

Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T.
NIP. 1971031961999032002

Penguji II

Dr. Widi Astuti, S. T., M. T.
NIP. 197310172000032001

Pembimbing

Ria Wulansarie, S.T., M.T.
NIP. 199001272015042001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik Unnes



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (Unnes) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 5 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan,



Afiati Estrina Akhir
NIM. 5213415013

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Jika kamu tidak dapat menahan lelahnya belajar, maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan.” (Imam Syafi’i)

“Jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolong mu. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.” (Q.S. Al-Baqarah: 153)

“And when you have decided, then rely upon Allah. Indeed, Allah loves who rely upon Him.” (Q.S. Ali ‘Imran: 159)

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT
2. Rasulullah Muhammad SAW
3. Ayah dan Ibu
4. Kakak dan Adik-adik
5. Keluarga Besar
6. Dosen-dosen Teknik Kimia
7. Teman-teman Teknik Kimia 2015
8. Almamaterku

ABSTRAK

Afiati Estrina Akhir. 2019. “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas pada Pra-rancangan Pabrik Glusitol dari D-glukosa dengan Kapasitas 90.000 ton/tahun”. Skripsi. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Ria Wulansarie, S. T., M. T.

Glusitol digunakan sebagai pemanis makanan, pelembab, bahan baku pasta gigi, dan Glusitol digunakan sebagai bahan baku dalam industri kimia. Guna pemenuhan kebutuhan glusitol di dalam negeri dan dunia, maka direncanakan pendirian pabrik glusitol dari d-glukosa dengan menggunakan proses hidrogenasi katalitik kapasitas 90.000 ton/tahun. Produk yang dihasilkan adalah glusitol cair. Kebutuhan d-glukosa sebesar 76.398 ton/tahun, kebutuhan hidrogen sebesar 11.673 ton/tahun, dan kebutuhan steam sebesar 708,220 m³/hari. Proses diawali dengan pengenceran larutan d-glukosa menggunakan air menjadi 40%-berat. Larutan d-glukosa kemudian dicampur gas hidrogen dengan perbandingan mol 1:2258. Selanjutnya, campuran masuk ke dalam reaktor fixed bed yang berisi katalis nikel pada kondisi operasi suhu 145°C, tekanan 51 atm untuk konversi reaksi 93,2%. Larutan d-glukosa dipisahkan dari gas hidrogen dengan menggunakan flash drum, produk kemudian dipekatkan menggunakan evaporator menjadi 80%-berat. Berdasarkan perhitungan neraca massa dan neraca panas secara keseluruhan, sistem berada pada keadaan setimbang (balance) dimana tidak ada massa/panas yang terbuang. Perpindahan panas yang terjadi dalam sistem yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

Kata kunci: Glusitol, D-glukosa, Neraca Massa, Neraca Panas.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi dengan judul “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas pada Pra-Rancangan Pabrik Glusitol dengan Bahan Baku D-glukosa Kapasitas 90.000 ton/Tahun”.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis memperoleh banyak bantuan baik berupa moral maupun spiritual dari berbagai pihak, oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
2. Ria Wulansarie, S. T., M. T., selaku dosen pembimbing yang selalu memberi bimbingan, motivasi dan arahan yang membangun dalam penyusunan Skripsi.
3. Dr. Widi Astuti, S. T., M. T., dan Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
4. Kedua orang tua dan keluarga atas dukungan doa, materi, dan semangat yang senantiasa diberikan tanpa kenal lelah.
5. Fran Hanung Wibowo sebagai partner setia yang selalu menemani proses selesainya skripsi ini.
6. Teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2015 serta semua pihak yang telah memberikan semangat dan dukungan sehingga kami dapat menyelesaikan Skripsi .

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun, guna menjadikan Skripsi ini lebih baik.

Semarang, 8 Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERHITUNGAN NERACA MASSA DAN NERACA	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pembatasan Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Glusitol	6
2.2 Kegunaan Produk	7
2.3 Tinjauan Termodinamika	9
2.4 Tinjauan Kinetika	12
2.5 Tinjauan Proses	16
2.6 Spesifikasi Bahan	18
2.7 Proses Pembuatan Glusitol	22
2.8 Neraca Massa	25
2.9 Neraca Energi	27
BAB III	31
METODE PENELITIAN	31

3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	31
3.2	Alat dan Bahan	31
3.3	Prosedur Kerja	31
3.4	Pengolahan Data	32
BAB IV		114
PEMBAHASAN		114
4.1	Perhitungan Neraca Massa	114
1.	Neraca Massa Reaktor (R-101)	117
2.	Neraca Massa Mixer (M-101)	120
	Fungsi : Mencampurkan larutan dekstrosa dengan air sehingga terbentuk larutan dekstrosa 40% w/w	120
3.	Neraca Massa Flash Drum (FE-101)	121
	Fungsi : Memisahkan gas hidrogen dari produk sorbitol.....	121
	121	
4.2	Perhitungan Neraca Panas	127
BAB V		193
PENUTUP		193
5.1	Kesimpulan	193
5.2	Saran	193
DAFTAR PUSTAKA		194

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1. Diagram Perhitungan Neraca Massa.....	114
Gambar 4. 2. Diagram Alir Neraca Massa Reaktor (R-101).....	117
Gambar 4. 3. Diagram alir Mixer (M-101)	120
Gambar 4. 4. Diagram Alir Flash Drum (FE-101).....	121
Gambar 4. 5. Diagram Alir Titik Pertemuan (TEE-101)	123
Gambar 4. 6. Diagram Alir Evaporator (FE-102).....	125
Gambar 4. 7. Diagram Perhitungan Neraca Panas.....	127
Gambar 4. 8. Diagram Alir Proses Secara Umum Perpindahan Energi Pada Sistem	128
Gambar 4. 9. Diagram Alir Neraca Panas M-101	134
Gambar 4. 10. Diagram Alir Neraca Panas JC-101	137
Gambar 4. 11. Approximate Polytropic Efficiencies Centrifugal and Axial –Flow Compressor.	142
Gambar 4. 12. Approximate Polytropic Efficiencies Centrifugal and Axial –Flow Compressor.	149
Gambar 4. 13. Approximate Polytropic Efficiencies Centrifugal and Axial –Flow Compressor.	156
Gambar 4. 14. Diagram Alir Neraca Panas di E-101	159
Gambar 4. 15. Diagram Alir Neraca Panas di E-102.....	163
Gambar 4. 16. Diagram Alir Neraca Panas di R-101.....	166
Gambar 4. 17. Diagram Alir Neraca Panas di E-103.....	170
Gambar 4. 18. Diagram Alir Neraca Panas di FE-101.....	174
Gambar 4. 19. Diagram Alir Neraca Panas di FE-102/103.....	176
Gambar 4. 20. Diagram Alir Neraca Panas di E-104.....	187
Gambar 4. 21. Diagram Alir Neraca Panas di TEE-101	190

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Data Berat Molekul pada Komposisi Bahan Baku dan Produk	116
Tabel 4. 2. Data Densitas Liquid dari Komponen Organik.....	116
Tabel 4. 3. Data Critical Properties and Acentric Factor Komponen Organik.	116
Tabel 4. 4. Neraca Massa Total Reaktor (R-101)	119
Tabel 4. 5. Neraca Massa Total Mixer (M-101)	121
Tabel 4. 6. Nilai Antoine Komponen	122
Tabel 4. 7. Tekanan Uap Murni pada $P = 3$ atm dan $T = 303,15$ K.....	123
Tabel 4. 8. Neraca Massa Total Flash Drum (FE-101).....	123
Tabel 4. 9. Neraca Masa Total Titik Pencampuran (TEE-101)	124
Tabel 4. 10. Neraca Masa Total Evaporator-01 (FE-102)	126
Tabel 4. 11. Neraca Masa Total Evaporator-02 (FE-102)	126
Tabel 4. 12. Data Koefisien Kapasitas Panas Gas	130
Tabel 4. 13. Koefisien Panas Cair.....	131
Tabel 4. 14. Koefisien Panas Padat.....	131
Tabel 4. 15. Koefisien Tekanan Uap Murni Dekstrosa.....	132
Tabel 4. 16. Koefisien Tekanan Uap Murni.....	132
Tabel 4. 17. Koefisien Tekanan Komponen Organik Liquid.....	133
Tabel 4. 18. Data Entalpi Pembentukan Panas Standar pada Suhu 298 K dan Tekanan 1 atm	133
Tabel 4. 19. Critical Properties and Acentric Factor of Component.....	134
Tabel 4. 20. Koefisien Tekanan Komponen Organik Liquid.....	134
Tabel 4. 21. Hasil Perhitungan Neraca Panas Umpan Q6 pada M-101	135
Tabel 4. 22. Hasil Perhitungan Neraca Panas Umpan Q7 pada M-101	135
Tabel 4. 23. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q8 Keluaran M-101	136
Tabel 4. 24. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total M-101	136
Tabel 4. 25. Data Perhitungan Kompresor Stage 1	141
Tabel 4. 26. Data Perhitungan Kompresor Stage 1	141
Tabel 4. 27. Energi yang Dibawa Masuk pada Stage 1	143
Tabel 4. 28. Energi yang Dibawa Keluar pada Stage 1	143
Tabel 4. 29. Neraca Energi pada Stage 1	144
Tabel 4. 30. Energi yang Dibawa umpan Intercooler pada Stage 1	144
Tabel 4. 31. Neraca Energi Intercooler 1	145
Tabel 4. 32. Data Perhitungan Kompresor Stage 2.....	148
Tabel 4. 33. Data Perhitungan Kompresor Stage 2.....	148
Tabel 4. 34. Energi yang Dibawa Masuk pada Stage 2	150
Tabel 4. 35. Energi yang Dibawa Keluar pada Stage 2	151
Tabel 4. 36. Neraca Energi pada Stage 2	151
Tabel 4. 37. Energi yang Dibawa umpan Intercooler pada Stage 2.....	151
Tabel 4. 38. Energi yang Dibawa Umpan Keluar Intercooler 2.....	152
Tabel 4. 39. Neraca Energi Intercooler 2	152

Tabel 4. 40. Data Perhitungan Kompresor Stage 3	155
Tabel 4. 41. Data Perhitungan Kompresor Stage 3	155
Tabel 4. 42. Energi yang Dibawa Masuk pada Stage 3	157
Tabel 4. 43. Energi yang Dibawa Keluar pada Stage 3	158
Tabel 4. 44. Neraca Energi pada Stage 3	158
Tabel 4. 45. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_4 pada E-101	160
Tabel 4. 46. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_5 pada E-101	161
Tabel 4. 47. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total pada E-101	162
Tabel 4. 48. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_8 pada E-102.....	164
Tabel 4. 49. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_9 pada E-102	164
Tabel 4. 50. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total pada E-102	166
Tabel 4. 51. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_9 pada R-101	168
Tabel 4. 52. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_5 pada R-101	168
Tabel 4. 53. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{10} saat $T_{10} = 145^{\circ}\text{C}$	169
Tabel 4. 54. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total pada E-102	170
Tabel 4. 55. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{10} pada E-103	171
Tabel 4. 56. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{11} pada E-102	172
Tabel 4. 57. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total pada E-103	173
Tabel 4. 58. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{11} pada FE-101.....	175
Tabel 4. 59. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{12} pada FE-101.....	175
Tabel 4. 60. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{13} pada FE-101	175
Tabel 4. 61. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total pada FE-101	176
Tabel 4. 62. Hasil Perhitungan Suhu Didih dengan Hukum Raoult	178
Tabel 4. 63. Neraca Panas Alur Q_{13}	180
Tabel 4. 64. Neraca Panas Alur Q_{13b}	181
Tabel 4. 65. Neraca Panas Alur Q_{13b}	181
Tabel 4. 66. Neraca Panas Evaporator-01 (FE-102)	185
Tabel 4. 67. Neraca Panas Evaporator -02 (FE-103)	186
Tabel 4. 68. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{14} pada E-104	188
Tabel 4. 69. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{15} pada E-104	188
Tabel 4. 70. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total pada E-104	190
Tabel 4. 71. Hasil Perhitungan Neraca Panas Q_{1a} pada TEE-101	191
Tabel 4. 72. Hasil Perhitungan Neraca Panas Total pada Titik Pertemuan Hidrogen (TEE-101)	192

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri kimia yang pesat di Indonesia diharapkan dapat memberikan kontribusi yang besar bagi pendapatan negara. Adanya perkembangan industri kimia maka kebutuhan akan bahan baku industri tersebut semakin meningkat. Bahan baku industri ada yang diperoleh dari dalam dan ada pula dengan cara impor, guna meningkatkan pendapatan negara maka impor bahan baku kimia perlu dikurangi, dan sebaliknya ekspor bahan kimia perlu ditingkatkan. Salah satunya dengan pendirian pabrik-pabrik baru untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri kimia dalam negeri saat ini.

Salah satu kebutuhan bahan kimia terbesar di dunia adalah gula. Secara historis industri gula merupakan salah satu industri perkebunan tertua dan terpenting yang ada di Indonesia. Sejarah menunjukkan bahwa Indonesia pernah mengalami era kejayaan industri gula pada tahun 1930-an dimana jumlah pabrik gula yang beroperasi adalah 179 pabrik gula (PG), produktivitas sekitar 14,8% dan rendemen mencapai 11-13,8% dengan produksi puncak mencapai sekitar 3 juta ton. Selain itu, ekspor gula juga pernah mencapai sekitar 2,4 juta ton (Sudana, et al., 2000).

Kebutuhan gula di dunia pada tahun 2015 mencapai 130-178 juta ton/tahun (World Cancer Research Fund International, 2015). Besarnya kebutuhan gula tersebut

memicu munculnya gula-gula alternatif sebagai bahan pemanis buatan. Berdasarkan proses produksi gula dikenal dua jenis yaitu sintesis dan alami. Pemanis sintesis menurut Karunia (2013) dihasilkan dari proses kimia diantaranya sakarin, siklamat, aspartame, adulsin, glusitol, dan masih banyak lagi. Contoh dari pemanis alami antara lain sukrosa, d-glukosa, dan fruktosa.

Salah satu pemanis buatan yang banyak digunakan di industri adalah glusitol. Glusitol mempunyai nama lain d-glusitol, glusitol, d-glukoheksana, 1-2-3-4-5-6 hexanol. Glusitol merupakan senyawa organik gugus heksitol yang termasuk dalam golongan polyol atau senyawa alkohol, serta memiliki rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ atau $C_6H_8(OH)_6$ (Othmer, 1960).

Glusitol digunakan sebagai pemanis makanan, pelembab, bahan baku pasta gigi, vitamin C, bahan baku pembuatan surfaktan dan bahan baku industri kimia lain. Kegunaan glusitol yang cukup luas menjadikan glusitol diproduksi secara komersial di berbagai negara di seluruh dunia (Ullmann's, 2003).

Tabel 1. 1.Data Impor Glusitol di Indonesia Tahun 2012 - 2017

Tahun	Berat (Ton)	Nilai (USD)
2012	2056,992	2134954
2013	3468,489	3320994
2014	3016,771	2418118
2015	1412,926	1395374
2016	3289,570	2255100
2017	4267,790	3561545

(BPS, 2017)

Berikut merupakan data ekspor glusitol Indonesia tahun 2012 sampai 2017 berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2017.

Tabel 1. 2. Data Ekspor Glusitol di Indonesia Tahun 2012-2017

Tahun	Berat (Ton)	Nilai (USD)
2012	82899,20	57444613,00
2013	72574,99	50648536,00
2014	83548,98	55675456,00
2015	69612,11	45874458,11
2016	66601,93	43498169,83
2017	65177,69	41736248,53

(BPS, 2017)

Semakin meningkatnya industri kimia di Indonesia yang berbahan baku glusitol, maka permintaan produk glusitol akan terus mengalami peningkatan. Oleh karena itu, pabrik glusitol perlu didirikan di Indonesia dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Bahan baku pembuatan glusitol dapat disuplai dari dalam negeri.
2. Pabrik glusitol masih memiliki prospek yang bagus untuk memenuhi kebutuhan glusitol dalam negeri dan luar negeri.
3. Dapat memacu berdirinya pabrik-pabrik baru yang menggunakan bahan baku glusitol.
4. Dapat menciptakan lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat, sehingga dapat mengurangi angka pengangguran di Indonesia.

1.2 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dari pra-rancangan pabrik ini adalah Pabrik Glusitol dari D-glukosa dengan proses hidrogenasi katalitik. Objek pra-rancangan pabrik berupa semua alat proses pada pabrik glusitol yaitu berupa Mixer, Kompresor, Heater, Reaktor, Flash Drum, Evaporator, dan Cooler.

1.3 Rumusan Masalah

- 2 Bagaimana perhitungan neraca massa pada pra-rancangan pabrik glusitol dari D-glukosa dengan menggunakan proses hidrogenasi katalitik kapasitas 90.000 ton/tahun?
- 3 Bagaimana perhitungan neraca energi pada pra-rancangan pabrik glusitol dari D-glukosa dengan menggunakan proses hidrogenasi katalitik kapasitas 90.000 ton/tahun?

1.4 Tujuan

2. Mengetahui jumlah selisih massa yang masuk dan massa yang keluar pada perhitungan neraca massa pada pra-rancangan pabrik glusitol dari D-glukosa dengan menggunakan proses hidrogenasi katalitik kapasitas 90.000 ton/tahun.
3. Mengetahui jumlah selisih panas yang masuk dan panas yang keluar pada perhitungan neraca massa pada pra-rancangan pabrik glusitol dari D-glukosa dengan menggunakan proses hidrogenasi katalitik kapasitas 90.000 ton/tahun.
4. Mengetahui kebutuhan d-glukosa, hidrogen, dan steam pada pra-rancangan pabrik glusitol dari D-glukosa dengan menggunakan proses hidrogenasi katalitik kapasitas 90.000 ton/tahun.

5. Mengetahui perpindahan panas yang terjadi pada pra-rancangan pabrik glusitol dari D-glukosa dengan menggunakan proses hidrogenasi katalitik kapasitas 90.000 ton/tahun.

1.5 Manfaat

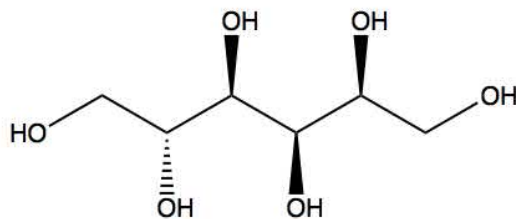
Hasil perhitungan neraca massa dan neraca energi pada pra-rancangan pabrik glusitol dari D-glukosa dengan kapasitas 90.000 ton/tahun diharapkan dapat diaplikasikan dalam perancangan pabrik glusitol. Selain itu, dapat dijadikan salah satu pedoman dan kajian karya tulis lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Glusitol

Salah satu pemanis buatan yang banyak digunakan di industri adalah glusitol. Glusitol mempunyai nama lain D-glusitol, glusitol, D-glukoheksana, 1-2-3-3-4-5-6 hexanol. Glusitol merupakan senyawa organik gugus heksitol yang termasuk dalam golongan polyol atau senyawa alkohol, serta memiliki rumus molekul $C_6H_{14}O_6$ atau $C_6H_8(OH)_6$ (Othmer, 1960).



Gambar 2. 1. Struktur Kimia Glusitol

Glusitol pertama kali ditemukan oleh ahli kimia dari Perancis yaitu Joseph Boosingault pada tahun 1872 dari biji tanaman bunga ros. Zat ini berupa bubuk kristal berwarna putih yang higroskopis, tidak berbau dan berasa manis. Glusitol larut dalam air, gliserol, propylene glycol, serta sedikit larut dalam metanol, etanol, asam asetat, phenol dan acetamida. Namun tidak larut hampir dalam semua pelarut organik. Glusitol merupakan pemanis yang sebagian besar ditemukan dalam berbagai produk makanan (Fleeson, 2017).

Glusitol digunakan sebagai pemanis makanan, pelembab, bahan baku pasta gigi, vitamin C, bahan baku pembuatan surfaktan dan bahan baku industri kimia lain. Kegunaan glusitol yang cukup luas menjadikan glusitol diproduksi secara komersial di berbagai negara di seluruh dunia (Ullmann's, 2003).

2.2 Kegunaan Produk

Produksi glusitol di seluruh dunia sebesar 900.000 ton/tahun dan akan meningkat dari tahun ke tahun. Glusitol diproduksi dalam bentuk padat dan cairan yang memiliki rasa manis dan banyak digunakan dalam industri makanan yang baik untuk penderita diabetes, industri kosmetik dan industri farmasi. Glusitol berfungsi sebagai stabilizer kelembaban dan pelembut, sebagai pengganti gula (Ullmann's, 2003). Secara lebih rinci penggunaan glusitol pada berbagai industri sebagai berikut:

1. Industri makanan

Penggunaan glusitol dalam industri makanan memiliki banyak keuntungan. Glusitol dipilih sebagai alternatif pengganti glukosa bagi penderita diabetes, glusitol cair dan glusitol sirup berfungsi sebagai pelembut dan stabilisator kelembaban (Aini, et al., 2016). Konsentrasi bubuk glusitol yang digunakan dalam industri makanan sekitar 10-100% tergantung pada makanan yang diproduksi.

2. Kosmetik

Glusitol banyak digunakan dalam industri kosmetik seperti krim, salep, emulsi, lotion, gel dan terutama pada pasta gigi. Dalam pasta gigi glusitol dipergunakan sebagai penyegar dan pencuci mulut yang dapat mencegah kerusakan gigi dan terbentuknya karies gigi (Othmer, 1960).

3. Farmasi

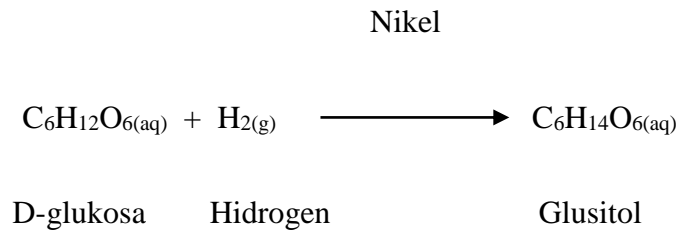
Mirip dengan penggunaannya dalam industri kosmetik glusitol juga dapat digunakan dalam industri farmasi. Glusitol bubuk telah digunakan sebagai bahan pengisi tablet, sebagai plasticizer dalam kapsul gelatin, dan glusitol dapat digunakan sebagai pelapis dalam tablet yang akan mengikat agen padat dan membentuk struktur halus tanpa granulasi. Selain itu, glusitol cair banyak dimanfaatkan sebagai bahan pemanis obat sirup ataupun gel yang divariasikan dengan glukosa. Glusitol sendiri memiliki kelebihan sendiri dibandingkan dengan pemanis lain diantaranya nilai kalori dan rasa manis yang lebih rendah sehingga baik bagi penderita diabetes (Chabib, 2013).

4. Medis

Glusitol digunakan untuk pengobatan medis yang bebas pyrogen (bebas bakteri gram negatif), digunakan larutan 10-20% glusitol dengan atau tanpa asam amino, sebagai larutan infus untuk nutrisi bagi pasien penderita diabetes, mempercepat diuresis, diosmoterapi, merangsang pengendalian dalam kantong empedu dan penyakit hati, dan dapat berfungsi sebagai obat cuci perut (Pospisilova, et al., 2007).

2.3 Tinjauan Termodinamika

Reaksi hidrogenasi D-glukosa menjadi glusitol berlangsung sebagai berikut:



(Dechamp, et al., 1995)

2.1.1 Panas Reaksi

Reaksi kimia dapat berjalan secara eksotermis atau endotermis maupun secara searah atau bolak-balik. Sifat dan arah reaksi dihitung dengan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH_f°) dan energi bebas gibbs (ΔG_f°) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15 K. Entalpi pembentukan standar adalah besarnya perubahan entalpi dari 1 mol senyawa dari elemen-elemennya dalam keadaan standar. ΔG_f° merupakan perubahan energi bebas gibbs yang menyertai pembentukan 1 mol zat tersebut dari unsur penyusunnya pada keadaan standar.

Berdasarkan Dechamp, et al., (1995) data entalpi reaksi standar pada 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Data Entalpi Pembentukan Panas Standar pada Suhu 298K dan Tekanan 1 atm

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/mol)
D-glukosa (aq)	- 1295,2
Hidrogen (g)	0
Glusitol (aq)	- 1353,7

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r^\circ &= \sum \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\
 &= \Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6 - (\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \Delta H_f^\circ \text{ H}_2) \\
 &= -1353,7 \text{ kJ/mol} - (-1295,2 \text{ kJ/mol} + 0) \\
 &= -58,5 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. 2. Data Energi Bebas Gibbs Standar pada Suhu 298K dan Tekanan 1 atm

Komponen	Harga ΔG_f° (kJ/mol)
D-glukosa (aq)	-842,95
Hidrogen (g)	0
Glusitol (aq)	-978,6

(Perry, 1999)

$$\begin{aligned}
 \Delta G_r^\circ &= (\sum \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \sum \Delta G_f^\circ \text{ reaktan}) \\
 &= \sum \Delta G_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6 - (\Delta G_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \Delta G_f^\circ \text{ H}_2) \\
 &= -978,6 \text{ kJ/mol} - (-842,95 \text{ kJ/mol} + 0 \text{ kJ/mol}) \\
 &= -135,65 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, diperoleh nilai ΔH_r° negatif untuk reaksi tersebut, dengan demikian reaksi berjalan secara eksotermis dan ΔG_r° bernilai negatif yang artinya reaksi berjalan secara spontan (Smith, et al., 2001). Untuk mengetahui reaksi berjalan searah atau bolak-balik, maka dapat diketahui dari harga konstanta kesetimbangan menurut persamaan Van't Hoff yang ditunjukkan pada Persamaan 1.1.

$$\frac{d \ln K_o}{dT} = -\frac{\Delta G}{RT^2} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.1)}$$

(Smith, et al., 2001)

$$\Delta G^\circ_{298K} = -R T \ln K_o$$

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

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

$$= \frac{-135.650 \text{ J/mol}}{-8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}} \cdot 298 \text{ K}}$$

$$K_o = \exp(54,7511)$$

$$K_o = 5,99 \times 10^{23}$$

Dari persamaan:

$$\ln \frac{K}{K_o} = -\frac{\Delta H}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.2)}$$

Keterangan:

K = Konstanta kesetimbangan

T = Suhu (K)

ΔH = Panas pembentukan standar pada 298 K

Jika reaksi dijalankan pada suhu 130° C (403K), maka konstanta kesetimbangan reaksinya menjadi:

$$\ln \frac{K}{5,99 \times 10^{23}} = -\frac{58.500}{8,314} \left[\frac{1}{403} - \frac{1}{298} \right]$$

$$\ln \frac{K_{298}}{5,99 \times 10^{23}} = -7036,3 \quad (-0,00087)$$

$$\ln \frac{K_{298}}{5,99 \times 10^{23}} = 6,12155$$

$$\ln K = 3,66 \times 10^{24}$$

$$K = 9,94 \times 10^{24}$$

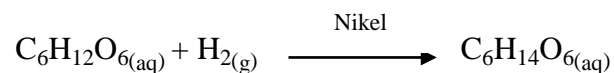
Jika dilihat dari nilai K, reaksi pembentukan glukitol bersifat searah. Harga K bernilai besar, dimana $K = k_1/k_2$ menunjukkan bahwa nilai k_2 jauh lebih kecil jika

dibandingkan dengan nilai k_1 sehingga nilai k_2 diabaikan dan dianggap berjalan satu arah (irreversible) (Smith, et al., 2001).

2.4 Tinjauan Kinetika

Kinetika suatu reaksi sangat berpengaruh terhadap kondisi operasi baik suhu, tekanan serta alat yang digunakan sehingga perlu adanya kajian yang dipertimbangkan adalah konstanta kecepatan reaksi (k) dimana menentukan kecepatan suatu zat atau senyawa untuk bereaksi menjadi produk.

Reaksi yang terjadi dalam pembentukan glusitol adalah:



Menurut Dechamp et al., (1995) persamaan laju reaksi pembentukan glusitol adalah:

$$r = k \frac{(K_d C_d \cdot K_{H_2} P_{H_2})}{((1 + K_d C_d + K_{H_2} P_{H_2})^2)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2.3)}$$

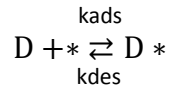
Mekanisme reaksi hidrogenasi katalitik D-glukosa menjadi glusitol terjadi sebagai berikut:

1. Difusi molekul D-glukosa dan hidrogen menuju permukaan katalis

Pada proses difusi terjadi perpindahan partikel D-glukosa dan hidrogen melewati liquid. Umumnya proses difusi menuju permukaan berlangsung relatif lambat.

2. Adsorbs molekul D-glukosa dan hidrogen pada permukaan katalis

Proses adsorpsi dapat diilustrasikan menjadi bentuk persamaan neraca kesetimbangan kimia sebagai berikut:

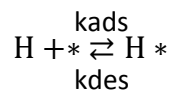


$$r = k_{ads} C_D C_* - k_{des} C_{D^*}$$

$$K_D = \frac{k_{ads}}{k_{des}}$$

$$C_{*0} = C_* + C_{A^*}$$

$$\theta_D = \frac{C_{D^*}}{C_{*0}} = \frac{K_D C_D}{1 + K_D C_D}$$



$$r = k_{ads} P_H C_* - k_{des} P_{H^*}$$

$$K_H = \frac{k_{ads}}{k_{des}}$$

$$C_{*0} = C_* + P_{H^*}$$

$$\theta_H = \frac{P_{H^*}}{C_{*0}} = \frac{K_H P_H}{1 + K_H P_H}$$

Ketika kedua molekul reaktan teradsorpsi, maka persamaan neraca dipermukaan katalis sebagai berikut:

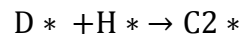
$$C_{*0} = C_* + P_{D^*} + P_{H^*}$$

$$\theta_H = \frac{K_D C_D}{1 + K_D C_D + K_H P_H}$$

$$\theta_H = \frac{K_H P_H}{1 + K_D C_D + K_H P_H}$$

3. Reaksi berlangsung di permukaan katalis

Reaksi pada permukaan katalis telah dijelaskan pada persamaan Langmuir Hinshelwood bahwa agar pereaksi tersebut harus teradsorpsi dipermukaan. Setelah kedua reaktan teradsorpsi pada permukaan katalis, reaksi baru dapat terjadi dipermukaan katalis. Reaksi pada permukaan dapat ditulis sebagai berikut:



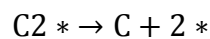
$$r = k C_{D*} P_{H*}$$

$$r = k \theta_D P_H$$

$$r = k \left(\frac{K_D C_D}{1 + K_D C_D + K_H P_H} \right) \left(\frac{K_H P_H}{1 + K_D C_D + K_H P_H} \right)$$

$$r = \frac{k K_D C_D K_H P_H}{(1 + K_D C_D + K_H P_H)^2}$$

Setelah terjadinya reaksi, desorpsi glusitol dari permukaan katalis dengan mekanisme sebagai berikut:



4. Difusi glusitol meninggalkan permukaan katalis

Berdasarkan Dechamp, et, al., (1995) laju reaksi pembentukan glusitol dipengaruhi oleh reaksi permukaan antara D-glukosa teradsorpsi dan hidrogen teradsorpsi. Tahap mekanisme reaksi yang menentukan adalah tahap reaksi yang berjalan paling lambat. Reaksi yang paling lambat terjadi dipermukaan katalis dengan nilai $k = 497 \text{ mmol/jam.gNi}$, $K_D = 0,8654 \text{ l/mol}$, dan $K_H = 0,0723 \text{ Mpa}^{-1}$, maka persamaan kecepatan reaksi menjadi:

$$r = \frac{k K_D C_D K_H P_H}{(1 + K_D C_D + K_H P_H)^2}$$

$$r = \frac{\left(\frac{497 \text{ mmol}}{\text{jam}} \cdot \text{gNi}\right) \left(0,8654 \frac{\text{L}}{\text{mol}}\right) C_D (0,0723^{-1}) P_H}{\left(1 + \left(\frac{0,8654 \text{ L}}{\text{mol}}\right) C_D + (0,0723 \text{ Mpa}^{-1}) P_B\right)^2}$$

Dari percobaan yang telah dilakukan Dechamp, et, al., (1995), energi aktivasi reaksi tersebut adalah 67 kJ/mol sehingga persamaan kecepatan reaksi secara umum:

$$r = \frac{1,3 \times 10^{10} C_D P_H}{\left(1 + \left(\frac{0,8654 \text{ L}}{\text{mol}}\right) C_D + (0,0723 \text{ Mpa}^{-1}) P_B\right)^2} e^{-8000/T}$$

Keterangan:

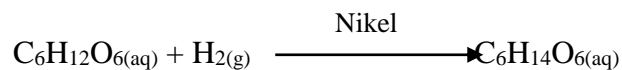
D	= Dekstorsa
H	= Hidrogen
*	= Katalis
θ	= Surface coverage of adsorbs
C_D	= Konsentrasi D-glukosa (mol/l^{-1})
r	= Laju hidrogenasi dari D-glukosa ($\text{mmol D-glukosa} \cdot \text{h}^{-1} \text{gNi}^{-1}$)
P_{H_2}	= Tekanan hidrogen (MPa)
k	= Konstanta laju reaksi ($\text{mmol} \cdot \text{h}^{-1} \text{gNi}^{-1}$)
K_D	= Konstanta kesetimbangan adsorpsi D-glukosa ($\text{l} \cdot \text{mol}^{-1}$)
K_{H_2}	= Konstanta kesetimbangan adsorpsi hidrogen (MPa^{-1})

2.5 Tinjauan Proses

2.5.1 Tinjauan Proses Secara Umum

Glusitol dapat dihasilkan oleh reaksi hidrogenasi katalitik dengan menggunakan D-glukosa dan hidrogen dengan menggunakan bantuan katalis nikel.

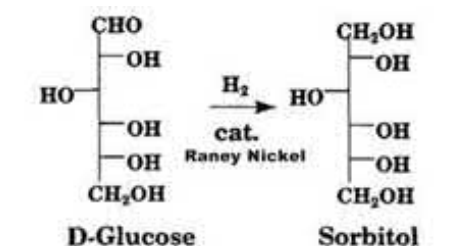
Reaksi antara D-glukosa dan hidrogen adalah sebagai berikut:



Reaksi hidrogenasi katalitik berlangsung pada fase gas-cair dengan kondisi tekanan 51 atm dan suhu 145°C menggunakan katalis nikel.

2.5.2 Dasar Reaksi

Pada Hidrogenasi katalitik D-glukosa menjadi glusitol laju perbandingan volum umpan hidrogen: larutan D-glukosa yang digunakan adalah 2258:1. Konversi reaksi 93,2% (US Patent, 1982). Dengan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 2. Reaksi Pembuatan Glusitol

(Dechamp, et al., 1995)

2.5.3 Pemakaian Katalis

Proses pembuatan glusitol dari reaksi hidrogenasi katalitik antara D-glukosa dan hidrogen lebih baik dengan bantuan katalis. Katalis berfungsi untuk

menurunkan energi aktivasi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih cepat. Katalis yang digunakan dalam reaksi hidrogenasi katalitik dari D-glukosa dan hidrogen menjadi glusitol adalah nikel.

Katalis nikel dipilih karena kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan katalis jenis lain, selain itu katalis Nikel ini lebih stabil pada aktivitas reaksi yang tinggi (Hoffer, 2003; US Patent, 1982).

2.5.4 Kondisi Operasi

Kondisi operasi sangat menentukan proses dan produk reaksi. Operasi reaktor pada pembuatan glusitol berlangsung pada suhu 130-180° C dan tekanan 34-136 atm (US Patent, et al., 1982). Pada prarancang ini dipilih kondisi operasi pada suhu 145° C dan tekanan 51 atm. Kondisi ini dipilih berdasarkan pertimbangan dari persamaan kecepatan reaksi yaitu jika suhu tinggi maka kecepatan reaksi akan semakin besar, sehingga konversi reaksi akan semakin besar pula. Tetapi karena reaksi hidrogenasi glusitol ini merupakan reaksi katalis maka kondisi operasi harus berada pada range suhu dimana katalis dalam keadaan aktif. Aktivitas katalis Nikel berada pada range suhu 85-146°C (Merck, 2006). Oleh karena itu, dipilih suhu dimana kecepatan reaksi tidak terlalu kecil dan katalis masih dalam keadaan aktif, kemudian dipilih tekanan sebesar 51 atm dengan alasan bila tekanan terlalu tinggi diperlukan konstruksi alat yang harus kuat dan kemungkinan timbulnya resiko lebih tinggi.

2.6 Spesifikasi Bahan

Spesifikasi terhadap bahan merupakan hal yang sangat penting dikarenakan untuk mengetahui sifat fisik dan sifat kimia bahan yang digunakan. Spesifikasi bahan meliputi spesifikasi bahan baku dan produk.

2.6.1 Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan glusitol dengan proses hidrogenasi katalitik yaitu berupa D-glukosa dan hidrogen dengan menggunakan Nikel sebagai katalis. D-glukosa didapatkan dari PT. Insoclay Acidatama, hidrogen diperoleh dari PT. Air Liquide dan katalis Katalis Nikel yang digunakan berasal dari BESK Technology (Shenzen) Co., Ltd di China.

1. D-glukosa

➤ Sifat Fisik dari Pabrik

- a. Sumber : PT. Insoclay Acidatama Indonesia
- b. Rumus Kimia : $C_6H_{12}O_6$
- c. Fase : Cair
- d. Warna : Bening
- e. Rasa : Manis
- f. Komposisi :
 - D-glukosa : 85%
 - Air : 15 %

(PT. Insoclay Acidatama Indonesia, 2016)

➤ Sifat Fisika

- a. Kenampakan : Bening

- b. Rumus molekul : $C_6H_{12}O_6$
- c. Berat molekul : 180,16 g/mol
- d. Titik leleh : 150°C
- e. Massa jenis : 1,560 g/cm³ (suhu 18 °C)
- f. pH : 5,9 (0,5 M larutan)
- g. Kelarutan : Sangat mudah larut dalam air

(Pfaffly, 2001)

➤ Sifat Kimia

D-glukosa mudah teroksidasi pada beberapa kondisi yang berbeda. D-glukosa dapat teroksidasi dengan oksidator seperti bromide dan aldonic, serta oksidator kuat seperti asam nitrat dan asam aldaric. Selain itu, D-glukosa dapat mengalami reduksi dengan natrium boron hidrida (Pfaffly, 2001).

2. Hidrogen

➤ Sifat Fisik dari Pabrik

- a. Sumber : PT. Air Liquide Indonesia
- b. Fase : Gas
- c. Komposisi :
Hidrogen : 99,9995%
- d. Laju alir : 500 Nm³/h

(Air Liquide Indonesia, 2009)

➤ Sifat Fisika

- a. Kenampakan : Tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa
- b. (Suhu dan tekanan standar)

- c. Rumus Molekul : H_2
- d. Berat Molekul : 2,0159 gr/mol
- e. Titik Didih : $-252,88^\circ C$ (fase cair pada 1 atm)
- f. Titik Leleh : $-259,35^\circ C$ (fase padat pada 1 atm)
- g. Titik Nyala : $500-571^\circ C$
- h. Massa Jenis : $0,08988 \text{ kg/m}^3$ (fase gas kondisi $0^\circ C$, 1 atm) 70,8
 kg/m^3 (fase cair kondisi titik didih normal, 1 atm)
- i. Specific Volume : $11,9 \text{ m}^3/\text{kg}$ (fase gas kondisi $20^\circ C$, 1 atm) 0,014
 m^3/kg (fase cair kondisi titik didih normal 1 atm)
- j. Batas Peledakan : 4-76% (volume % di udara)
- k. Kelarutan : $0,0214 \text{ cm}^3/\text{g}$ (dalam air kondisi $0^\circ C$, 1 atm)

Sumber: Energi Carriers and Conversion Systems (Abe): Hidrogen Fuel Cell
Engines and Related Technologies (2001)

➤ Sifat Kimia

- a. Hidrogen bisa bereaksi dengan logam maupun non logam, membentuk ikatan ionik atau kovalen. Mampu bereaksi secara kimia dengan sebagian besar elemen. Seperti yang diketahui hidrogen mudah bereaksi dengan oksigen pada ratio pencampuran yang bervariasi dan membentuk air.
- b. Campuran hidrogen dengan udara mudah terbakar dengan percikan kecil. Reaktivitas hidrogen dengan elemen lain dimanfaatkan pada berbagai industri kimia. Reaksi hidrogen dengan komponen organik bisa digunakan untuk penyimpanan dan pembawa hidrogen.

- c. Contohnya, reaksi hidrogen dengan benzene membentuk sikloheksana memungkinkan hidrogen disimpan dalam bentuk sikloheksana, dimana nanti bisa dipisah benzene dengan hidrogen.

3. Katalis Nikel

➤ Sifat Fisik dari Pabrik

- a. Sumber : Besk Technology (Shenzhen) Co., Ltd
- b. Fase : Fine grained solid
- c. Komposisi :
- Ni : $\geq 90\%$
- Al : $\leq 7\%$
- Mo : -
- pH : 8-11
- Ukuran partikel : $50\mu\text{m}$
- Surface area : $100\text{ m}^2/\text{g}$
- Densitas : $6,5\text{ g}/\text{cm}^3$

(Besk Technology (Shenzhen) Co.Ltd, 2013)

2.6.2 Produk

Produk yang dihasilkan dari proses hidrogenasi katalitik D-glukosa dan hidrogen yaitu berupa glusitol.

1. Glusitol

➤ Sifat Fisika

- a. Kenampakan : Berwarna bening, tidak berbau, dan berasa
- b. Rumus Molekul : $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_6$

- c. Berat Molekul : 182,17 g/mol
- d. Titik Leleh : 88-102° C (stabil 97,7 °C)
- e. Titik Didih : 295° C
- f. Massa Jenis : 1.294,125 kg/m³
- g. pH : 6-7 (70% larutan)
- h. Kelarutan : mudah larut dalam air

(Fisher Scientific, 2014)

➤ Sifat Kimia

Reaksi esterifikasi glusitol dengan asam stearat menghasilkan campuran stearate dengan sorbitan dan isosorbida. Oksidasi glusitol dengan fermentasi menggunakan *Acetobacter suboxydane* menjadi L-sorbosa, intermediet dalam sintesis asam askorbat. Oksidasi dengan larutan bromida menghasilkan campuran aldosa dan ketosa. Selanjutnya, glusitol berubah menjadi campuran D-glukosa, Dfruktosa, L-glukosa, dan L-sorbosa. Aldose dan ketosa juga merupakan hasil dari oksidasi ozon dengan glusitol dan manitol (Othmer, 1960).

2.7 Proses Pembuatan Glusitol

Pada proses pembuatan glusitol dari D-glukosa yang merupakan reaksi hidrogenasi katalitik dengan bantuan katalis nikel dengan kondisi operasi yang dipilih berdasarkan pada Tabel di US Patent (1982). Proses pembuatan glusitol dibagi dalam tiga tahap yaitu:

1. Tahap Penyiapan dan Pencampuran Bahan Baku

D-glukosa cair disimpan dalam tangki dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Gas hidrogen dialirkan langsung dari PT. Air Liquide Indonesia dengan suhu 30°C dan tekanan 3 atm.

D-glukosa dari tangki (TT-103) dengan kemurnian 85%, suhu 30°C, dan tekanan 1 atm dipompa menuju mixer (M-101) untuk dicampur dengan air dari tangki (TT-102) dengan kondisi suhu 30°C dan tekanan 1 atm, kemudian konsentrasi larutan D-glukosa yang diinginkan adalah 40% berat. Air yang digunakan berasal dari unit utilitas. Gas hidrogen yang dialirkan melalui pipa dari PT. Air Liquide Indonesia dicampur dengan hidrogen hasil recycle di dalam pipa dengan suhu 30°C dan tekanan 3 atm. Setelah itu, hidrogen dialirkan ke kompresor (JC-101) untuk dinaikkan tekanannya menjadi 51 atm. Larutan D-glukosa dipompa untuk dinaikkan tekanannya menjadi 51 atm. Kemudian larutan D-glukosa dan gas hidrogen dipanaskan di dipanaskan dalam heater (E-101) dan (E-102) hingga suhu 145°C. Rasio volume antara larutan D-glukosa dan gas hidrogen pada kondisi standar antara 1 : 2258 (US Patent, 1982).

2. Tahap Pembentukan Produk (Hidrogenasi)

Tahap ini terjadi di dalam reaktor hidrogenasi katalitik. Reaktor yang digunakan adalah Reaktor fixed bed (R-101). Reaktan berupa larutan D-glukosa dan gas hidrogen masuk kedalam reaktor fixed bed (R-101) dengan katalis padat nikel. Kondisi operasi yang terjadi dalam reaktor adalah isothermal pada suhu 145°C dan tekanan 51 atm. Konversi dari reaksi ini

adalah 93,2% (US Patent, 1982). Mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut:



Hasil keluaran reaktor dialirkan menuju cooler (E-103) untuk diturunkan suhunya.

3. Tahap Pemisahan dan Pemurnian produk

Pada tahap ini dilakukan pemurnian gas hidrogen dan larutan campuran glusitol. Setelah keluar dari reaktor, produk diturunkan suhunya menggunakan cooler (E-103). Selanjutnya, produk dialirkan menuju ke flash drum (FE-101) ada kondisi operasi 3 atm dan suhu 30°C dimana terjadi pemisahan antara gas hidrogen dan larutan produk berdasarkan perbedaan tekanan uap murni. Produk atas keluaran flash drum mengandung hidrogen dialirkan melalui pipa menuju titik pertemuan antara make up gas hidrogen dan gas hidrogen hasil recycle yang selanjutnya dikompresi untuk digunakan kembali. Kemurnian gas hidrogen yang dihasilkan yaitu $\pm 99\%$.

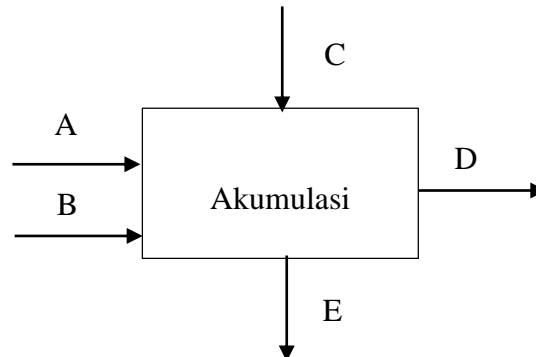
Larutan produk keluar dari bawah flash drum dengan suhu 30°C dan tekanan 3 atm ini diturunkan tekanannya menjadi 1 atm dengan melewati larutan ke enlargement pipe yang selanjutnya dialirkan menuju evaporator (FE-102). Proses ini bertujuan untuk mereduksi jumlah air dalam produk glusitol. Pada evaporator (FE-103) diperoleh produk glusitol cair yang lebih terkonsentrasi. Selanjutnya, produk diturunkan suhunya dari 94°C menjadi 30°C menggunakan cooler (E-104). Produk keluaran evaporator mengandung

80% glusitol, 15% air, dan 5% D-glukosa yang selanjutnya dialirkan menuju tangki penyimpanan produk (TT-104).

2.8 Neraca Massa

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan hukum kekekalan massa yakni: massa tak dapat dijelmakan atau dimusnahkan. Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah persamaan-persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan-persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah komposisi massa yang tidak diketahui (Wuryanti, 2016). Menurut Wirakartakusumah (dikutip dalam Maflahah, 2010), Wirakartakusumah menyatakan bahwa jumlah materi dalam suatu sistem apapun akan tetap walaupun terjadi perubahan bentuk ataupun keadaan fisik. Oleh sebab itu, dalam suatu proses pengolahan akan terjadi jumlah bahan yang masuk akan sama dengan jumlah bahan yang keluar sebagai produk yang dikehendaki ditambah dengan jumlah yang hilang atau produk samping.

Persamaan neraca massa secara umum adalah:



Gambar 2. 3. Diagram Alir Neraca Massa

Persamaan neraca massa:

Massa masuk = massa keluar + massa yang terakumulasi

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E + M_{\text{akumulasi}} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.4})$$

Bila tidak adan massa yang terakumulasi, maka persamaan menjadi:

Massa masuk = massa yang keluar

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.5})$$

Menurut Ni'mah (2017) secara umum, neraca massa dapat dibedakan menjadi

2 macam yaitu:

1. Neraca massa overall

Neraca massa overall merupakan neraca massa dimana semua komponen bahan masuk dan keluar dihitung dari proses awal sampai akhir dan merupakan suatu kesatuan.

2. Neraca massa komponen

Neraca massa komponen merupakan neraca massa yang perhitungannya berdasarkan atas satu komponen baha yang masuk saja.

Komponen bahan masuk = komponen bahan keluar

Parameter-parameter yang digunakan pada neraca massa tidak semuanya diketahui nilainya, terutama parameter yang menjadi output. Oleh sebab itu harus dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter-parameter neraca massa. Dalam melakukan perhitungan neraca massa, diambil beberapa asumsi antara lain:

- a. Kondisi aliran massa steady state.
- b. Kondisi 1 jam operasi.
- c. Hidrogen yang dimurnikan di recycle dengan kemurniannya 99%.

2.9 Neraca Energi

Neraca energi adalah persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara energy masuk dan energy keluar suatu system yang berdasarkan pada satuan waktu operasi (Wuryanti, 2016).

$$\left[\begin{array}{l} \text{Energi} \\ \text{masuk} \\ \text{ke sistem} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Energi yang} \\ \text{timbul} \\ \text{dalam sistem} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Akumulasi} \\ \text{energi} \\ \text{dalam sistem} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Energi} \\ \text{keluar} \\ \text{dari sistem} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Energi yang} \\ \text{dipakai} \\ \text{dalam sistem} \end{array} \right]$$

$$E1 + Q = \Delta E + E2 + W \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.6})$$

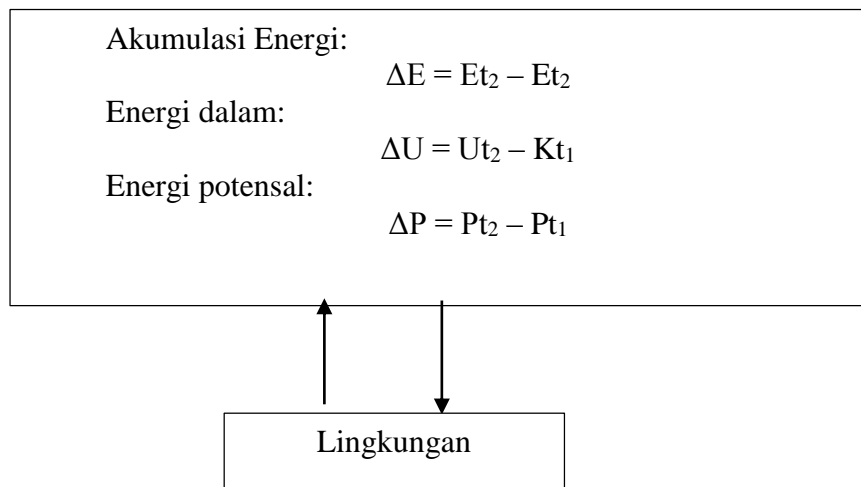
Neraca energi dapat digunakan untuk flow process pada setiap tekanan dan non-flow process yang berada dalam tekanan konstan (Smith, 1956).

1. Flow Process

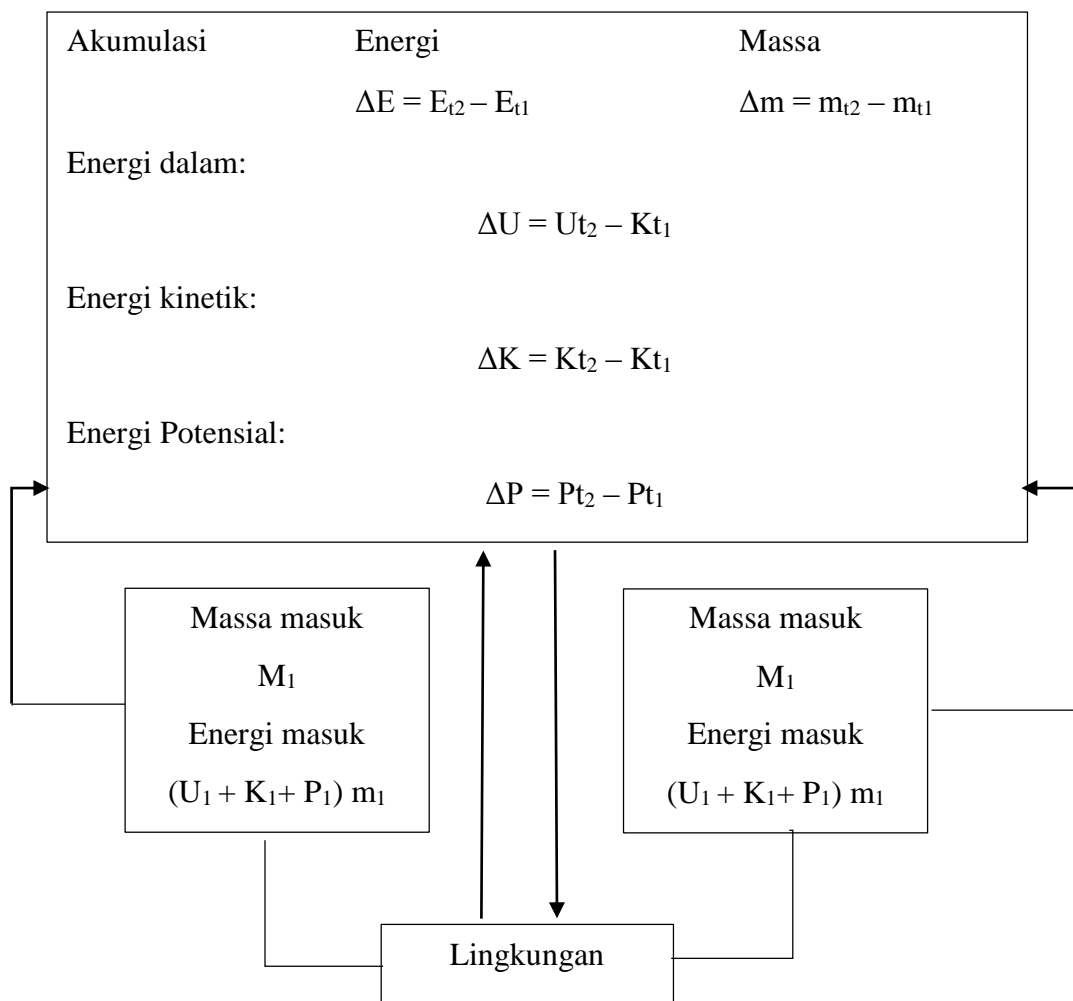
Pada flow process bahan masuk dan keluar berlangsung terus menerus selama proses operasi. Pada keadaan ini, suhu susunan campuran pada setiap titik bernilai sama. Keadaan ini disebut sebagai keadaan steady state.

2. Non-flow Process

Pada *non-flow process*, proses operasinya bersifat berkala. Susunannya pun berubah sesuai dengan waktu teradinya proses bila tidak ada arus masuk dan arus keluar secara kontinyu.



Gambar 2. 4. Skema Proses pada Sistem Flow Process



Gambar 2. 5. Skema Proses Sistem Non- Flow Process

Keterangan Skema:

Energi dapat berada dalam beberapa bentuk, yakni sebagai berikut:

1. Energi dalam (U), persatuan massa (mU), untuk massa m

Energi dalam ini tidak ada instrument yang dapat mengukurnya, sehingga energi dalam harus dinyatakan dalam variable lain, seperti: tekanan, volume, suhu atau komposisi.

2. Energi berupa kerja

Untuk memasukkan bahan ke dalam sistem, kerja tersebut dinyatakan dalam: $m_2 (P_2 V_2) - m_1 (P_1 V_1)$ (Persamaan 2.7)

Dimana:

P = tekanan sistem

V = volume persatuan massa

3. Energi potensial

$EP = m \times gL/gc \times h$ (Persamaan 2.8)

Dimana:

h = beda tinggi terhadap reference

m gL = gravitasi ditempat ketinggian L, m/s^2

gc = konstanta gravitasi, m/s^2

4. Energi kinetic

5. Energi dari bahan yang masuk dan keluar sistem dinyatakan dengan:

$EK = \frac{1}{2} mv^2$ (Persamaan 2.8)

Energi dapat dipindahkan dalam bentuk panas (Q) atau dalam bentuk kerja

(W).

Energi dapat masuk atau keluar bersama bahan atau tanpa bahan. Neraca zat memiliki energi karena posisinya, kecepatan atau keadaan fisisnya. Ketentuan Skema:

1. Panas yang diserap sistem (+), yang dikeluarkan sistem (-).
2. Kerja yang dilakukan oleh system terhadap lingkungan (+), kerja yang dilakukan terhadap sistem (-).
3. Notasi:

U = energi dalam

K = energi kinetik

P = energi potensial

m = massa

t_1 = pada saat 1

t_2 = pada saat 2

Asumsi yang digunakan dalam penyusunan neraca energi meliputi :

- a. Kondisi aliran *steady state*
- b. Proses reaksi eksotermis adiabatik
- c. Kemungkinan terjadinya reaksi-reaksi kimia tambahan diluar proses hidrogenasi diabaikan.
- d. Energi yang terlibat diklasifikasikan sebagai energi sensibel (energi yang dibawa aliran massa) dan energi *latent* untuk melangsungkan proses-proses pembentukan glukitol, perubahan fase dll.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan neraca massa alat secara keseluruhan, tidak ada selisih massa yang masuk dan massa yang keluar, maka neraca massa sistem berada pada kesetimbangan (*balance*).
2. Berdasarkan perhitungan neraca panas alat secara keseluruhan, tidak ada selisih panas yang masuk dan panas yang keluar, maka neraca panas sistem berada pada kesetimbangan (*balance*). Artinya tidak ada panas yang terbuang.
3. Kebutuhan D-glukosa sebesar 76.398 ton/tahun dan kebutuhan hidrogen sebesar 11.673 ton/tahun untuk kapasitas produksi sorbitol 90.000 ton/tahun, dan kebutuhan steam pada neraca panas sebesar 708,220 m³/hari.
4. Perpindahan panas yang terjadi dalam sistem (Mixer, Heater, Reaktor, Kompresor, Cooler, Flash Drum, Evaporator) diantaranya adalah konduksi, konveksi, dan radiasi.

5.2 Saran

1. Perlakuan optimasi perlu diterapkan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih baik pada alat di pra-rancangan pabrik glusitol ini.
2. Perhitungan neraca massa dan neraca panas menggunakan software Hysys perlu dilakukan agar hasil yang keluar lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Indonesia Tahun 2017. Impor Glusitol Indonesia dari Tahun 2012 sampai Tahun 2016. Jakarta.
- Boerio-Goates, J., *Heat-capacity measurements and thermodynamic functions of crystalline α -D-glucose at temperatures from 10K to 340K*, J. Chem. Thermodynam., 1991, 23, 403-409.
- Chao, J.C. and Huibers, D.T.A. 1982. *Catalytic Hydrogenation of Glucose to Produce Sorbitol*. New York: United States Patent 4322569.
- Dechamp, N., Gamez, A., Perrard, A., and Gallezot, P. 1995. *Kinetics of Glucose Hydrogenation in Trickle Bed Reactor*. Elsevier, Villeurbanne
- Dewi, Hellen Kartika., dkk. 2014. Pra Desain Pabrik Sorbitol dari Tepung Tapioka dengan Hidrogenasi Katalitik.
- Fisher Scientific. 2014. *Safety Data Sheet: Sorbitol*. Part of Thermo Fisher Scientific
- Himmelblau.1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. London: Prentice Hall International.
- Karunia, Finisa B. 2013. *Kajian Penggunaan Zat Adiktif Makanan (Pemanis dan Pewarna) Pada Kudapan Bahan Pangan Lokal di Pasar Kota Semarang*. Semarang: Jurusan Teknik Jasa Produksi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Kirk, R. E. and Othmer, D. F. 1960. *Encyclopedia of Chemical Technology*. 2th ed. Vol 2. New York: John Willey and Sons, Inc.
- Pfaffly, Jennifer R. 2001. *Glucose: A Little Goes a Long Way*. Iowa: Free Radical in Biology and Medicine, The University of Iowa, 77:222, Spring 2001.
- Perry, Robert H, Green, Don W. 1997. *Perry's Chemical Engineers'*, 7th ed. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Pospisilova, Marie, et.al. 2007. *Determination of Mannitol and Sorbitol In Infusion Solutions By Capillary Zone Electrophoresis Using On-Column Complexation With Borate and Indirect Spectrophotometric Detection*. Czech Republik: Journal of Chromatography A, 1143. Faculty of Pharmacy, Charles University 258–263.

- Smith, J.M, Van Ness, H.C, Abbott, M.M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 6th ed.* The McGraw-Hill Companies, Inc. New York
- Sudana, W., P. Simatupang, S. Friyanto, C. muslim, dan T. Soelistiyo. 2000. *Dampak Deregulasi Industri Gula Terhadap Realokasi Sumberdaya, Produksi Pangan, dan Pendapatan Petani.* Laporan Penelitian, Pusat Penelitiann Sosial Ekonomi Pertanian, Bogor.
- Ullmann's. 2003. *Encyclopedia of Industrial Chemistry A-1.* Germany: VCH Verlagsgesell Schaff mb.
- UN data. 2017. *Berita Resmi Statistik: Kebutuhan Sorbitol Negara 2017.* Banten.
- V, Oja and E. M. Suuberg. *Vapor Pressures and Enthalpies of Sublimation of D-Glucose, S-Xylose, Cellobiose, and Levoglucosan.* J Chem. Eng. 1999, 44, 26-29.
- World Cancer Research Fund International. 2015. *Kebutuhan Gula di Dunia Tahun 2015.* <https://www.wcrf.org/>. November 2018 (10.30).
- Wuryanti, Sri. 2016. *Neraca Massa dan Neraca Energi.* Politeknik Negeri Bandung. Bandung: Jurusan Teknik Konversi Energi.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook.* United States: The McGraw-Hill Companies Inc.