

NASKAH PUBLIKASI
PRARANCANGAN PABRIK BUTIL AKRILAT DARI
ASAM AKRILAT DAN BUTANOL
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN



Oleh:

ADI SETIAWAN

D500 110 003

Dosen Pembimbing:

Eni Budiwati, S.T., M.Eng

Tri Widayatno, S.T., M.Sc., Ph.D

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
SURAKARTA

2016

Surat Persetujuan Artikel Publikasi Ilmiah

Yang bertanda tangan di bawah ini pembimbing skripsi/ tugas akhir:

Nama : Eni Budiwati, S.T., M.Eng.

NIK : 991

Telah membaca dan mencermati naskah publikasi ilmiah, yang merupakan ringkasan skripsi/ tugas akhir dari mahasiswa :

Nama : Adi Setiawan

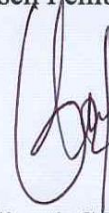
NIM : D500 110 003

Program studi : Teknik Kimia

Judul skripsi/ tugas akhir : Prarancangan Pabrik Butil Akrilat dari Asam
Akrilat dan Butanol Kapasitas 30.000 Ton/Tahun.

Surakarta, Februari 2016

Dosen Pembimbing



Eni Budiwati, S.T., M.Eng.

NIK. 991

INTISARI

Pabrik butil akrilat ($C_7H_{12}O_2$) dari asam akrilat ($C_3H_4O_2$) dan butanol (C_4H_9OH) didirikan untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri dan luar negeri dengan didasarkan pada kebutuhan akan $C_7H_{12}O_2$ yang dari tahun ke tahun menunjukkan angka yang terus meningkat. Pabrik $C_7H_{12}O_2$ dirancang dengan kapasitas 30.000 ton/tahun akan didirikan di Cilegon, Banten dengan luas tanah 50.000 m² pada tahun 2020. Pembuatan $C_7H_{12}O_2$ dilakukan dengan mereaksikan $C_3H_4O_2$ dan C_4H_9OH pada fase cair dengan perbandingan mol $C_4H_9OH:C_3H_4O_2 = 1,5:1,4377$. Reaksi bersifat eksotermis, *irreversible* dan dijalankan dalam reaktor *Continuous Stirred Tank Reaktor* (CSTR), serta kondisi operasi 85°C dan tekanan 1 atm.

Dalam pembuatan $C_7H_{12}O_2$ dengan kapasitas 3787,8788 kg/jam membutuhkan bahan baku $C_3H_4O_2$ sebanyak 2237,6815 kg/jam, C_4H_9OH sebanyak 2401,3856 kg/jam dan katalis padat *amberlyst-15* sebanyak 45,5554 kg. Sedangkan kebutuhan utilitas penyediaan air sebanyak 48.101,1063 kg/jam yang diperoleh dari waduk, *steam* sebanyak 3161,8059 kg/jam yang diperoleh dari boiler dengan bahan bakar sebanyak 98,1084 liter/jam, kebutuhan udara tekan sebanyak 50 m³/jam, kebutuhan listrik sebanyak 500 kW dan kebutuhan bahan bakar solar sebanyak 178,6487 liter/jam. Pabrik $C_7H_{12}O_2$ direncanakan akan dioperasikan selama 330 hari dengan jumlah karyawan sebanyak 101 orang.

Hasil analisis ekonomi terhadap pabrik $C_7H_{12}O_2$ diperoleh hasil *Percent Return On Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 37,76% dan *Percent Return On Investment* (ROI) setelah pajak sebesar 25,73%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak sebesar 2,66 tahun sedangkan *Pay Out Time* (POT) setelah pajak sebesar 3,76 tahun. *Break Even Point* (BEP) sebesar 42,35%, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20,51%. *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 46,9%. Berdasarkan hasil analisis maka pabrik $C_7H_{12}O_2$ dari $C_3H_4O_2$ dan C_4H_9OH cukup menguntungkan dan layak untuk didirikan.

Kata kunci : Butil akrilat, Asam akrilat, Butanol.

Abstract

Butyl acrylate plant design was established to fulfill the domestic market and abroad. This based on the necessary for such materials because of this materials have increasing from year to year. Butyl acrylate plant design is designed with the capacity of 30,000 tons per year for 330 days per year. The process of butyl acrylate is esterification process uses liquid phase and the mole ratio of acrylic acid and butanol 1:1.043. The reaction is exothermic and is run in a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR), on liquid - liquid, irreversible process and kept in isothermal operating conditions (85°C) and the pressure is 1 atm. butyl acrylate plant design is including in low risk plant because of atmospheric conditions process.

Butyl acrylate plant design with the capacity of 30,000 tons/year, it need of raw materials as much acrylic acid 2215.3046 kg/hour, butanol as much 2397.7835 kg/hour, and the catalyst Amberlyst-15 as much as 45.5554 kg/hour. Utility support processes include water supply of 3510 kg/h are obtained from Krenceng reservoirs, supplying saturated steam at 3161 kg/h are obtained from the boiler is 98 liters/hour, the need for compressed air is 50 m³ per hour, the demand for electricity is obtained from the PLN and two generators of 500 kW in reserve, fuel as much as 179 liters/hour. butyl acrylate plant design is planned to be established in the area of industry in Cilegon, Banten, on the land area 50,000 m² and the number of employees are 101 people.

Based on the analysis of the economic, butyl acrylate plant design has the Percent Return On Investment (ROI) before tax amounted to 37.76% and after tax is 25.73%. Pay Out Time (POT) before tax of 2.66 years, while after tax of 3.76 years. Break Even Point (BEP) amounted to 42.35% of capacity, and Shut Down Point (SDP) amounted to 20.51% of capacity. Discounted Cash Flow (DCF) amounted to 46.9%. Based on the data above, the Butyl Acrylate plant design of acrylic acid and butanol is quite feasible for established and profitable.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Perkembangan dunia industri menjadi bagian pembangunan ekonomi jangka panjang yang diarahkan untuk membentuk struktur ekonomi yang lebih kokoh dan seimbang. Seiring perkembangan industri tersebut terjadi pula peningkatan kebutuhan bahan baku dan bahan pembantu. Di Indonesia, industri kimia kini mulai berkembang dan merupakan salah satu tulang punggung pendorong pertumbuhan industri-industri lainnya, misalnya industri polimer. Perkembangan industri sangat pesat mengingat kebutuhan bahan-bahan berbasis polimer diperlukan baik bagi rumah tangga maupun industri.

Salah satu bahan dasar pembuatan produk polimer adalah ester akrilat misalnya, butil akrilat. Selama ini untuk kebutuhan butil akrilat dalam negeri dipenuhi oleh impor. Sehingga pendirian pabrik butil akrilat sangat potensial didirikan di Indonesia untuk menunjang kebutuhan bahan-bahan berbasis polimer. Selain pertimbangan tersebut, pendirian pabrik ini mampu menciptakan lapangan lapangan pekerjaan baru sehingga mengurangi jumlah pengangguran, memicu pertumbuhan industri-industri baru baik industri penghasil bahan baku butil akrilat, seperti asam akrilat dan butanol, maupun industri pengguna butil akrilat sebagai bahan bakunya terutama industri polimer, mengurangi ketergantungan pada negara asing dan meningkatkan pendapatan negara dari sektor industri, serta menghemat devisa negara memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri yang diharapkan mampu meningkatkan devisa negara.

B. Kapasitas Produksi

Pabrik $C_7H_{12}O_2$ diproduksi dengan menggunakan bahan baku $C_3H_4O_2$ dan C_4H_9OH . Persediaan $C_3H_4O_2$ diperoleh dari PT. Nippon Shokubai sedangkan C_4H_9OH diperoleh dari PT. Petro Oxo Nusantara. Perancangan pabrik $C_7H_{12}O_2$ dengan kapasitas produksi 30.000 ton/tahun yang akan diperdagangkan di dalam dan luar negeri dengan mempertimbangkan dari konsumsi $C_7H_{12}O_2$ pada Tabel 1. dan data produsen $C_7H_{12}O_2$ pada Tabel 2.

Tabel 1. Kebutuhan butil akrilat ($C_7H_{12}O_2$)

No	Tahun	Impor (kg/tahun)
1	2003	8240509
2	2004	13288879
3	2005	12954597
4	2006	16725155
5	2007	23681950
6	2008	34227554
7	2009	29387040
8	2010	26806574
9	2011	25800066
10	2012	27342138
11	2013	29464004

Tabel 2. Produsen butil akrilat ($C_7H_{12}O_2$)

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
Raj prakash Chemicals Limited (RPCL)	India	13.000
Nippon Shokubai Indonesia	Indonesia	40.000
Sasol dia acrylates pty Limited	Jepang	80.000
PT. Petronas	Malaysia	100.000

C. Pemilihan Proses

Butil akrilat dapat diproduksi dengan menggunakan beberapa macam proses, sehingga diperlukan pemilihan terhadap beberapa macam proses untuk mendapatkan hasil yang optimal sesuai kebutuhan pasar. Macam-macam proses produksi $C_7H_{12}O_2$ yaitu:

1. Pembuatan $C_3H_4O_2$ dengan C_4H_9OH menggunakan resin penukar kation.

Suatu proses yang menggunakan proses esterifikasi dalam *reactor batch* yang menggunakan resin penukar kation. Penambahan resin penukar kation berfungsi dapat meningkatkan laju reaksi. Fase menghasilkan konversi sebesar 76,4% dalam kondisi optimum 333–364 K dan tekanan 1 atm dengan perbandingan mol antara $C_3H_4O_2$ dan C_4H_9OH 9,72:2 mol/dm³.

2. Pembuatan $C_7H_{12}O_2$ dari $C_3H_4O_2$ dengan C_4H_9OH dengan proses esterifikasi

Suatu proses untuk memproduksi $C_7H_{12}O_2$ dan H_2O menggunakan penambahan katalis padat yaitu *amberlyst-15*. Pada proses ini dihasilkan konversi sebesar 96,3%. Dengan fase yang dijalankan pada kondisi operasi 358 K pada tekanan operasi 1 atm dengan perbandingan mol $C_4H_9OH:C_3H_4O_2 = 1,5:1,4377$.

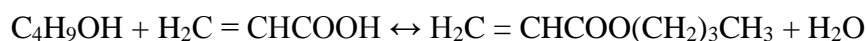
Berdasarkan penjabaran masing-masing proses diatas, dapat dipilih proses pembuatan $C_7H_{12}O_2$ dari $C_3H_4O_2$ dengan C_4H_9OH dengan proses esterifikasi, dengan mempertimbangkan nilai konversi yang tinggi sebesar 96,3% dan tidak memerlukan unit pemisahan katalis.

II. Deskripsi Proses

1. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika yaitu suatu tinjauan untuk mengetahui sifat reaksi, apakah sebuah reaksi tersebut eksotermis atau endotermis, dan untuk mengetahui apakah reaksi tersebut *reversible* atau *irreversible*. Tinjauan termodinamika dapat dihitung dengan cara menghitung perubahan entalpi selama reaksi dan menghitung panas pembentukan standar pada suhu 25°C

Reaksi



Tabel 3. Data Panas Pembentukan (ΔH_{f298}°) dan Energi Gibbs (ΔG_{f298}°)

Komponen	ΔH_{f298}° (j/mol)	ΔG_{f298}° (j/mol)
$C_3H_4O_2$	-336,230	-286,060
C_4H_9OH	-274,430	-150,670
$C_7H_{12}O_2$	-395,050	-233,000
H_2O	-241,800	-228,600

(Yaws,1991)

$$\begin{aligned} \Delta H_{r298}^\circ &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= (-395,050 + (-241,800)) - (-336,230 + (-274,430)) \\ &= -26.190 \text{ j/mol} \end{aligned}$$

Karena bernilai negatif, maka reaksi bersifat eksotermis (menghasilkan panas).

$$\Delta G_{r298}^{\circ} = \sum \Delta G_{\text{produk}} - \Delta G_{\text{reaktan}}$$

$$= -233,000 - (-228,600) - (-286,060 - (-150,670))$$

$$\Delta G_r^{\circ} = -24.870 \text{ j/mol}$$

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

pada keadaan standar 298 K,

$$K = e^{(\Delta G^{\circ}/RT)}$$

$$= e^{(24.870/8,314 \times 298)}$$

$$= 22.765,5388$$

pada temperatur operasi, 358 K:

$$\ln (K/K_1) = - (\Delta H^{\circ}/R) (1/T - 1/T_1)$$

$$K = 1,33E+05$$

Karena harga $K \gg 1$, maka reaksi yang terjadi bersifat irreversible (searah).

2. Tinjauan Kinetika

Reaksi pembuatan $C_7H_{12}O_2$ dijalankan dengan kinetika seperti

$$r_{AA} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = k_1 \exp \left[\frac{k_2}{RT} \right] \left[\frac{\alpha \text{BuOH} - \frac{1}{k_a} \alpha \text{BA} \cdot \alpha \text{H}_2\text{O}}{(k_3 \alpha \text{BuOH} + \alpha \text{AA} + k_4 \cdot \alpha \text{H}_2\text{O})} \right]$$

Dimana

$$k_1 (\text{kmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}) = 8,12 \cdot 10^9, k_2 (1/\text{mol}) = 8,37 \cdot 10^4, k_3 = 1,864, k_4 = 1,308$$

$$\ln k = -8,805 + 0,05743 (T/K) - 6,429 \cdot 10^{-5} (T/K)^2 + 3,821 \cdot 10^{-9} (T/K)^3$$

dengan

$$r = \text{kecepatan reaksi} \quad (\text{kmol}/\text{m}^3 \cdot \text{s})$$

$$\alpha = \text{konsentrasi komponen} \quad (\text{kmol})$$

$$T = \text{suhu} \quad (\text{K})$$

III. SPESIFIKASI PERALATAN PROSES

1. *Reactor (R-100)*

Fungsi	: Untuk mereaksikan arus 10 sebanyak 2.401,3856 kg/jam dan arus 11 sebanyak 2.237,6815 kg/jam.
Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel SA-304</i>
<u>Kondisi Operasi</u>	:
Tekanan	: 1 atm
Suhu	: 85°C
<u>Dimensi Tangki</u>	:
Volume reaktor	: 38,094 m ³
Diameter <i>shell</i>	: 3,64 m
Tebal <i>plate shell</i>	: 0,375 in
Tinggi <i>plate head</i>	: 0,2 in
Tinggi total reaktor	: 5,465 m
<u>Spesifikasi pengaduk</u>	:
Jenis	: Turbin dengan 6 blade disk
Kecepatan	: 76,87 rpm
Diameter	: 1,21 m
Tinggi	: 0,24 m
<i>Power</i> motor	: 60 hp
Lebar pengaduk	: 0,30 m
Lebar <i>baffle</i>	: 0,30 m
<u>Spesifikasi pendingin</u>	:
Diameter luar jaket	: 3,87 m
Tinggi jaket	: 5,46 m
Tebal dinding jaket	: 0,25 in

2. *Flashdrum (H-110)*

Fungsi	: Memisahkan komponen uap dan cair arus 3 sebanyak 4.639,0670 kg/jam.
--------	-----------------------------------------------------------------------

Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel SA-304</i>
<u>Kondisi Operasi</u>	:
Tekanan	: 1 atm
Suhu	: 130°C
<u>Dimensi tangki</u>	:
Volume	: 5,8316 m ³
Diameter	: 1,47 m
Panjang	: 2,94 m
Tebal <i>plate shell standar</i>	: 0,1875 in
Tebal <i>plate head standar</i>	: 0,25 in
Tinggi total	: 3,41 m

3. *Decanter (H-120)*

Fungsi	: Memisahkan C ₃ H ₄ O ₂ , C ₄ H ₉ OH, C ₇ H ₁₂ O ₂ dengan H ₂ O pada arus 4 sebanyak 762,7778 kg/jam
Tipe	: Tangki horizontal
Bahan konstruksi	: <i>Stainless Steel SA-304</i>
<u>Kondisi operasi</u>	:
Tekanan	: 1 atm
Suhu	: 40°C
<u>Dimensi tangki</u>	:
Volume dekanter	: 0,3599 m ³
Diameter	: 0,78 m
Panjang	: 2,33 m
Tebal <i>plate shell standar</i>	: 0,1875 in
Tebal <i>plate head standar</i>	: 0,1875 in
Panjang total dekanter	: 3,36 m

4. *Menara Distilasi (D-130)*

Fungsi	: Memisahkan C ₇ H ₁₂ O ₂ pada arus 5
--------	------------------------------------------------------------------------

sebanyak 3.876,2892 kg/jam nyang
diinginkan

Jenis	: <i>Plate Sieve Tray</i>
Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel SA-304</i>
<u>Kondisi Operasi</u>	:
- Umpan	: $P = 1 \text{ atm}$ $T = 147^{\circ}\text{C}$
- Top	: $P = 1 \text{ atm}$ $T = 140^{\circ}\text{C}$
- Bottom	: $P = 1,1 \text{ atm}$ $T = 151^{\circ}\text{C}$
Tinggi total menara distilasi	: 21,8 m
Jumlah <i>plate</i> minimum	: 62 <i>plate</i>
Jumlah <i>plate</i> teoritis	: 74 <i>plate</i>
Jumlah <i>plate</i> aktual	: 107 <i>plate</i>
Seksi <i>stripping</i> (bawah)	: 94 <i>plate</i>
Seksi <i>enriching</i> (atas)	: 11 <i>plate</i>
Diameter atas	: 0,43 m
Diameter bawah	: 1,29 m
Tebal <i>shell</i>	: 0,1875 in
Tinggi <i>head</i>	: 0,1875 in
<i>Tray spacing</i>	: 0,15 m
<i>Pressure drop</i>	: 0,0062 atm
Umpan masuk	: <i>Tray no 94</i> dari atas
<u>Kondisi atas</u>	:
- FLV	: 0,0443
- An	: 0,1267 m ²
- Ad	: 0,0173 m ²
- Uf	: 0,859 m/s
<u>Kondisi bawah</u>	:
- FLV	: 0,0375
- An	: 1,1432 m ²
- Ad	: 0,1559 m ²

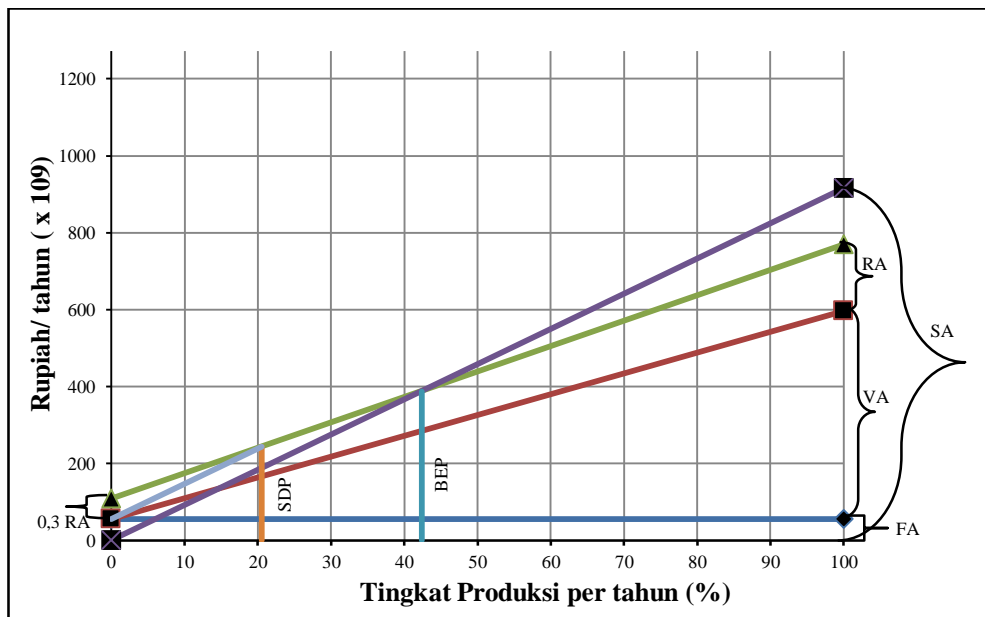
- Uf

: 0,597 m/s

IV. ANALISIS EKONOMI

Pabrik $C_7H_{12}O_2$ dari $C_3H_4O_2$ dengan C_4H_9OH kapasitas 30.000 ton/tahun direncanakan beroperasi 330 hari/tahun. Berdasarkan analisis ekonomi diperoleh keuntungan sebelum pajak Rp. 146.192.188.603 dan keuntungan setelah pajak Rp. 102.334.532.022. Dengan BEP (*Break Even Point*) sebesar 42,35% dan SDP (*Shut Down Point*) sebesar 20,51%. Sehingga ROI (*Return on Investment*) sebelum pajak sebesar 37,76%, ROI (*Return on Investment*) setelah pajak sebesar 25,73%, DCF (*Discount Cash Flow*) 46,9%, memiliki masa pengembalian POT (*Pay Out Time*) sebelum pajak pada 2,66 tahun.

Gambar 1. Grafik Analisis Kelayakan Pabrik Butil Akrilat



Keterangan :

Ra : Biaya regulasi

Va : Biaya variabel

Fa : Biaya tetap

Sa : penjualan

Berdasarkan hasil perhitungan analisis kelayakan pabrik diperoleh kesimpulan bahwa pendirian pabrik $C_7H_{12}O_2$ pada tahun 2020 menguntungkan dan layak untuk didirikan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S., dan Newton, R.D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw Hill Book Company. New York.
- Badan Pusat Statistik, 2014, *Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia*, <http://www.bps.go.id>, diakses Selasa, 20 Juni 2014, pukul 13:10 WIB.
- Branan, C. R., 1994, *Rules of Thumb for Chemical Engineers*, Gulf Publishing Company, Houston Brown, G. G., 1978, *Unit Operations*, John Wiley and sons, Inc, New York.
- Brownell, L. E., and Young, E. H. 1979, *Process Equipment Design*, Wiley Eastern Limited, New Delhi.
- Chien, I-lung., and Zeng, K. L., 2005, *Design and Control of Butyl Acrylate Reactive Distillation Column System*, University of Science and Technology, Taipe, Taiwan.
- Coulson, J. M. and Richardson, J. F., 1983, *Chemical Engineering*, 1st edition, Volume 6, Pergason Press, Oxford.
- Faith, W. L., Keyes, 1957, *Industrial Chemical*, 2nd edition, John Wiley and Sons Inc. New York.
- Fessenden, Ralph J. and Fessenden, Joan. S., 1992, *Kimia Organik*, Erlangga. Jakarta.
- Indonesia Salary Guide, 2016, <http://www.kellyservices.co.id>. Diakses Rabu, 6 Januari 2016, pukul 18.37
- Kern, D.Q., 1950, *Process Heat Transfer*, Mc. Graw-Hill International Book Company Inc., New York.
- Kirk, R.E., dan Othmer, D.F. 1983. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Matches. 2014. <http://www.matche.com/EquipCost.html> Diakses Rabu, 6 Januari 2016, pukul 15.38
- Mc Cabe, W. L, 1976, "Unit Operation of Chemical Engineering", 3rd ed., Mc Graw Hill Book Company, Inc., Tokyo.
- Perry, R.H. dan Green, D.W. 1994. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 6th ed. McGraw Hill Book Company, Inc. New York.
- Peters and Timmerhaus, 1991, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 4th ed, McGraw-Hill International Edition Chemical and Petroleum Engineering Series
- Smith, J. M. and Van Ness, H. C., 1987, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamic", 3 edition, McGraw-Hill Kogakusha Ltd, Tokyo.

Yaws, 1979, *Thermodynamic and Physical Properties Data*, Mc Graw Hill Book Co., Singapore.