

# ANALISIS METODE PRODUKSI BUTADIENA YANG EFISIEN DITERAPKAN DI INDONESIA

Heri Budi Wibowo

Peneliti Pusat Teknologi Roket, LAPAN  
e-mail: heribw@lapan.go.id, heribw@hotmail.com

## ABSTRACT

Butadiene production technology is important because butadiene is main raw material to produce synthetic rubber and elastomer. Elastomer is a material have elasticity like a rubber. Hydroxy Terminated Polybutadiene (HTPB) is polymer based on butadiene that have high strategic for rocket propellant binder. Generally, Butadiene can be produced by three methods, *Haundry Catadiene*, *Philips*, and *Nippon Zeon Process*. The raw material for produce butadiene is alcohol or butane. To compare these process are analyzed the reaction kinetic aspect, thermodynamic aspect, process production and their production machine. Efficient process is selected base on raw material available, technology, cheap, and the machine available. Base on the overall analysis (simplification process, cheap investment, raw and support material available), *Haundry Catadiene* process is most efficient process that can be applied in Indonesia.

Keywords: *Butadiene, Haundry Catadiene, Philips, Nippon Zeon*

## ABSTRAK

Upaya produksi butadiena menjadi penting karena butadiena merupakan bahan baku utama untuk pembuatan karet sintesis maupun elastomer. Elastomer adalah suatu material yang memiliki elastisitas mirip karet. Butadiena juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku utama pembuatan *Hydroxy Terminated Polybutadiene* (HTPB), sebagai binder propelan yang memiliki nilai strategis cukup tinggi. Secara garis besar, terdapat tiga metode pembuatan butadien, yaitu Proses *Haundry Catadiene*, Proses *Philips*, dan Proses *Nippon Zeon*. Bahan baku untuk pembuatan butadien dapat dari alkohol atau butana. Analisis terhadap ketiga proses telah dilakukan baik dari sisi kinetika reaksi, termodinamika, serta tinjauan proses produksinya yang mungkin beserta keseluruhan peralatan produksinya. Pemilihan proses yang efisien ditinjau dari ketersediaan bahan baku, kesulitan teknologi proses, murah, serta peralatan yang mungkin dilakukan di Indonesia. Hasil analisis menunjukkan bahwa dilihat dari kemudahan proses, biaya investasi yang diperkirakan paling murah, serta ketersediaan bahan baku dan bahan pendukung maka proses yang paling efisien diaplikasikan di Indonesia adalah proses *Haundry Catadiene*.

Kata kunci: *Butadiena, Haundry Catadiene, Philips, Nippon Zeon*

## 1 PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara yang sedang berkembang pada saat ini berusaha untuk memenuhi kebutuhan berbagai bahan kimia untuk melancarkan proses industrialisasi. Bahan tersebut dapat berupa bahan baku, bahan setengah jadi maupun bahan pembantu untuk industri. Pada kenyataannya sampai saat

ini banyak sekali bahan kimia yang belum dapat dipenuhi sendiri dan harus mengimpor dari negara lain. Salah satu bahan baku industri yang belum tercukupi di Indonesia adalah senyawa butadiena (Wibowo, H.B., 2009).

Kegunaan penting dari butadiena adalah bahan baku utama untuk pembuatan karet sintesis dan elastomer

seperti *Acrylonitrile Butadiene Styrene Rubber* (ABS), serta yang lebih penting lagi adalah sebagai bahan baku pembuatan *Hydroxy Terminated Polybutadiene* (HTPB) untuk bahan baku propelan roket yang memiliki nilai strategis tinggi. Butadiena menjadi sangat dibutuhkan pada masa sekarang, karena harga karet alam mahal, sehingga karet sintetis dapat menggantikan karet alam (Smith, J. M., 1981).

Senyawa butadiena terdapat dalam dua bentuk isomer yaitu 1,3 dan 1,2 butadiena di mana 1,3 butadiena lebih banyak ditemui karena dalam proses pembuatannya membutuhkan suhu reaksi yang tinggi. 1,3 butadiena menguap pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan 1,2 butadiena. 1,3 butadiena ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ) yang juga dikenal sebagai *vinile thylene* atau *pyrolene* pertama kali ditemukan oleh Tan Yantou pada tahun 1683 melalui proses pirolisa dari amil alkohol, 50 tahun kemudian baru diketahui dapat diperoleh melalui polimerisasi yaitu pada tahun 1910 ketika Lebedev berhasil dalam polimerisasi monomer (Smith, J. M., 1981).

Sesuai dengan sasaran yang akan dicapai dalam pembangunan nasional, maka industri kimia di masa mendatang harus bertolak dari (1) pemanfaatan bahan baku lokal untuk industri dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui, (2) pemanfaatan energi seoptimal mungkin karena tidak dapat diperbaharui dan jumlahnya terbatas, (3) perkembangan industri di dalam negeri yang menuntut penyediaan bahan baku yang kontinyu, dan (4) swasembada industri sebagai sasaran untuk pembangunan nasional. Dengan demikian, penguasaan pabrikasi akan memberikan kemandirian industri dasar, proses produksi yang menggunakan bahan lokal, sehingga ketergantungan semua komponen industri dapat dikurangi.

Atas dasar itu dalam makalah ini disajikan peninjauan metode produksi butadiena sebagai bahan baku poli-butadiena untuk bahan bakar roket. Peninjauan metode ini diarahkan untuk mencari metode yang efisien dari sisi biaya proses, ketersediaan bahan baku, metode proses, resiko proses, dan keamanan lingkungan.

Kebutuhan akan butadiena di Indonesia terus meningkat, hal ini dapat dilihat dari Tabel 1-1 berikut ini yang memperlihatkan bahwa dari tahun ke tahun jumlah impor butadiena cukup tinggi.

Tabel 1-1: IMPOR BUTADIENA DI INDONESIA TAHUN 2002 – 2006

TAHUN	VOLUME (TON)
2002	13.140,357
2003	8.486,815
2004	13.131,642
2005	14.015,320
2006	13.145,301

(Sumber : BPS, Jakarta – Indonesia)

Butadiena adalah gas tak berwarna, dengan spesifikasi bahan sebagai berikut:

Berat Molekul	= 54,092 gr/gmol
Titik didih normal	= -4,4°C
Titik beku	= -1081,92°C
Temperatur kritis	= 152,0°C
<i>specific gravity liquid</i>	= 0,627
<i>Specific volume</i>	= 6,9 cuft/lb
<i>Specific heat gas</i>	= 0,332 kal/gr°C
Tekanan kritis	= 42,7 atm
Panas pembentukan	= 21,21 kal/gmol
Panas pembentukan	= 26,33 kal/gmol(gas)
Panas pembakaran	= 11,055 kal/gr
Kelarutan dalam air	= 0,06 % berat
<i>Viscosity liquid</i> pada	= -40°C 0,333 cP
Panas penguapan	= 92,97 kal/g mol.

Butadiena dengan oksigen berlebih mengalami reaksi pembakaran membentuk  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CO}_2$ <sup>9,11</sup>, dengan reaksi sebagai berikut.



## 2 DATA DAN METODE

Metode yang digunakan untuk menganalisis metode proses adalah dengan mengidentifikasi proses pembuatan butadiena yang ada, kemudian menganalisis proses tersebut dari sisi desain, mekanisme reaksi, biaya proses, kelebihan dan kekurangan.

Data yang digunakan adalah metode-metode yang digunakan untuk membuat butadiena. pembuatan butadiena dapat dilakukan dengan beberapa macam proses yaitu di antaranya (Aries, R. S., and Newton, R. D, 1955; Faith, Keyes, and Clark, 1975; MC. Ketta and William. Acumgham, 1983; Reid, R.C., Prauswitz, J. M., 1987):

- Proses *Haundry Catadiene*
- Proses *Philips*
- Proses *Nippon Zeon*

Berdasarkan metode proses yang ada, kemudian dianalisis dengan menggunakan desain produksi menggunakan program HySIS berbasiskan proses produksi kapasitas 100 ton per tahun atau 10 kg per jam. Analisis digunakan asumsi harga bahan baku adalah harga tahun 2011 dari Biro Pusat Statistik. Umur pabrik dianggap 20 tahun dan tidak terdapat problem sosial dalam proses operasinya. Bahan baku utama pembuatan butadiena adalah butana atau butanol. Butanol banyak terdapat di Indonesia dan dapat dibuat dari butana. Bahan Butana merupakan bahan utama yang terdapat dalam gas alam *Liquid Petroleum Gas* (LPG) dengan kandungan 40 persen.

## 3 PEMBAHASAN

Perbandingan proses produksi dilakukan untuk menentukan proses mana yang lebih efektif dan efisien dalam proses produksi Butadiena. Proses yang dibandingkan adalah proses *Haundry Catadiene*, proses *Phillips* dan proses *Nippon zeon*. Proses pembuatan Butadiena tersebut terdiri dari 2 proses proses *Haundry Catadiene* dan proses *Phillips*.

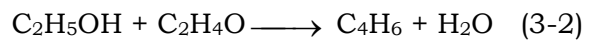
### 3.1 Proses *Haundry Catadiene*

Proses *Haundry Catadiene* adalah proses pembuatan *butadine* dengan menggunakan bahan utama butanol atau butil alkohol. Pembuatan butadiena dari dehidrogenasi etil alkohol digunakan 2 buah reaktor *fixed bed Multi tube* dengan tekanan 1,3 atm dan suhu sekitar 325°C katalisator yang digunakan adalah katalis 1707 dengan komposisi 72,4% MgO, 18,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,6% CuO dan 4,6% K<sub>2</sub>O. Hasil reaksi dehidrogenasi kemudian diumpankan menuju absorber dan separator. Sedangkan produk bawah absorber akan diumpankan menuju menara distilasi untuk memisahkan etil alkohol dan selanjutnya di *recycle*. Konversi reaktor pertama dicapai 90 % dan reaktor kedua dicapai 30%.

Reaksi pada reaktor pertama adalah sebagai berikut,



Reaksi pada reaktor kedua adalah sebagai berikut,



Pembuatan butadiena digunakan dua buah reaktor *fixed bed multitube* pada reaktor pertama difungsikan membentuk asetaldehid yaitu dengan dehidrogenasi etil alkohol pada kondisi operasi suhu sekitar 325°C dengan tekanan 1 atm. Pada reaktor kedua difungsikan untuk mereaksikan etanol dengan asetaldehid membentuk butadiena dengan kondisi operasi reaktor pada suhu sekitar 350°C pada tekanan 1 atm. Katalis yang digunakan adalah katalis 1707 dengan komposisi 72,4% MgO, 18,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,6% CuO dan 4,6% K<sub>2</sub>O yang berbentuk pellet silinder, konversi yang dicapai pada operasi reaktor sebesar 30 %. Jenis katalis 1707 dapat digunakan pada suhu tinggi yaitu ± 700°C, sehingga katalis 1707 mampu bekerja pada suhu ± 677°C.

Pemakaian katalis bertujuan untuk: (a) menurunkan energi aktivasi (energi yang dibutuhkan agar suatu reaksi dapat berlangsung) sehingga reaksi lebih

cepat berlangsung, (b) untuk mencegah timbulnya reaksi samping, dan (c) untuk mengarahkan reaksi.

Pembuatan butadiena dari etil alkohol merupakan reaksi dehidrogenasi katalistik. Mekanisme reaksi katalistik berlangsung dalam 5 tahap yaitu: (1) Difusi dari molekul zat pereaksi pada permukaan katalis; (2) Reaksi dalam permukaan; (3) Desorpsi dari zat hasil; dan (5) Difusi dari zat hasil ke dalam fase gas.

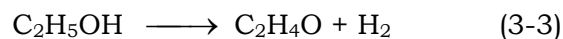
Dalam proses produksi butadiena dari alkohol dapat dibagi dalam 3 tahap, sebagai berikut,

- Tahap persiapan bahan baku

Bahan baku etil alkohol diambil dari tangki penyimpanan pada kondisi cair tekanan 1 atm dan suhu 32°C. Etil alkohol dialirkan menuju *Heater* untuk menaikkan suhu sampai suhu cair jenuhnya yaitu 86,92°C, kemudian dialirkan ke *separator*. Hasil atas dari *separator* dialirkan ke *heater* untuk dipanaskan sampai kondisi reaktor 325°C untuk umpan reaktor, sedang hasil bawah yang berupa cairan dikembalikan menuju *separator*.

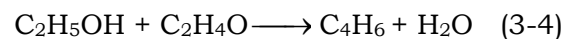
- Tahap reaksi

Tahap ini bertujuan untuk mereaksikan etil alkohol membentuk asetaldehid dalam reaktor *fixed bed multi tube*. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaksi etil alkohol menghasilkan asetaldehid berlangsung dalam fase gas pada suhu sekitar 325°C dan tekanan 1 atm. Reaktor yang digunakan adalah *fixed bed multitube* karena katalis yang digunakan berumur panjang (12 – 18 bulan) dan reaksi yang terjadi di dalam

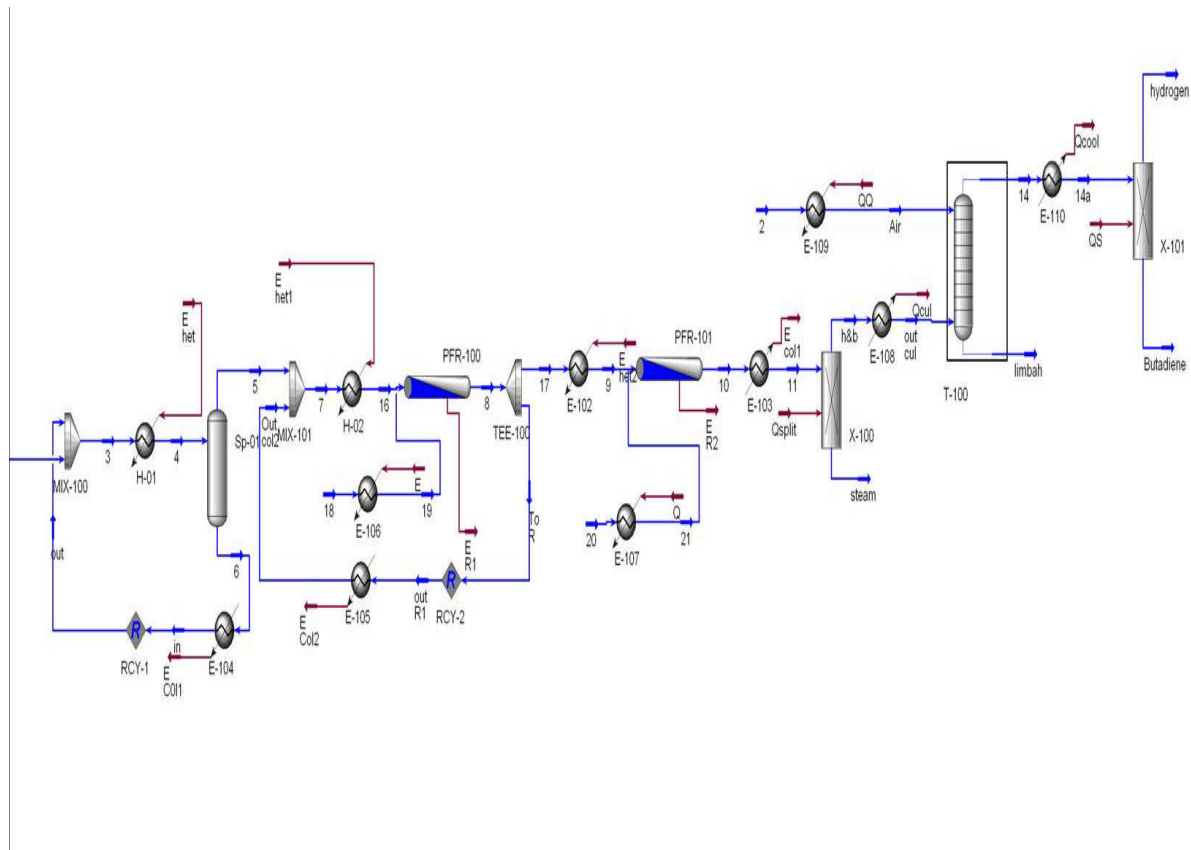
reaktor adalah reaksi endotermis yang membutuhkan perpindahan panas yang besar. Reaktan mengalir melalui *tube-tube* yang berisi katalis, sedangkan pemanas yaitu Dowterm A melalui *shell*. Gas keluar pada suhu 325°C dan bersama dengan etil alkohol umpan segar dan *recycle* diumpankan menuju *heater* untuk dinaikan suhunya sampai kondisi operasi reaktor pada suhu 350°C. Reaksi yang terjadi pada reaktor kedua:



Reaksi etil alkohol dan asetaldehid menghasilkan butadiena berlangsung dalam fase gas pada suhu sekitar 350°C dan tekanan 1 atm, reaktan mengalir melalui *tube-tube* yang berisi katalis, sedangkan pemanas yaitu Dowterm A melalui *shell*.

- Tahap pemurnian

Gas keluar Reaktor kedua pada suhu 350°C serta diturunkan suhunya sampai 160°C, selanjutnya umpan dimasukan ke *splitter* produk atas berupa Hydrogen dan Butadiena yang kemudian diumpankan ke *pendingin* untuk diturunkan suhunya 50°C, hasil bawah digunakan untuk *steam*. Selanjutnya diumpankan menuju Absorber yang berfungsi untuk menyerap etil alkohol sisa reaksi dengan media penyerap air. Produk atas berupa produk butadiena akan diumpankan menuju spliter yang berfungsi untuk memisahkan hidrogen dengan produk butadiena. Sedangkan produk bawah berupa butadiena akan dipompa dengan dialirkan menuju tangki penyimpan produk dan Produk bawah absorber dipompa menuju ke unit pengolahan limbah.



Gambar 3-1: Disain proses produksi butadiena dari butanol

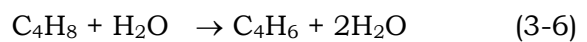
Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan Hysis, maka diperlukan 11 mesin penukar panas, 2 reaktor utama, 2 kompresor, 1 ekspansor (penurun tekanan), 3 menara distilasi, dan 1 menara distilasi fraksinasi untuk mendapatkan butadiena pada kapasitas terpasang.

Berdasarkan analisis terhadap deskripsi proses yang ada, Proses *Haundry Catadiene* memiliki keuntungan proses sebagai berikut,

- Dengan kondisi reaktor bekerja pada tekanan atmosferik (1,3 atm) dapat menghemat biaya investasi ditinjau dari peralatannya pada operasi tekanan rendah lebih terjamin keamanannya.
- Reaksi pada suhu tinggi memerlukan biaya investasi tinggi.
- Katalisator yang digunakan adalah katalis 1707 dengan komposisi 72,4% MgO, 18,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,6% CuO dan 4,6% K<sub>2</sub>O mempunyai umur yang panjang (2-3 bulan).
- Konversi sangat tinggi (lebih dari 90%).
- Bahan baku dan katalis mudah didapat.

### 3.2 Proses Philips

Proses ini menggunakan umpan butana dengan melibatkan dua reaksi oksidasi butena dan dehidrogenasi butena sebagai berikut,



Secara komersial menggunakan 2 buah reaktor secara paralel. Umpan udara dikompresi dan dicampur dengan *steam* untuk dipanaskan dalam *furnace* kemudian dicampur dengan umpan butena kemudian dialirkan ke katalis dalam reaktor (Smith, J.M., 1981; Wallas, S.M).

Secara garis besar proses produksi butadiena terdiri dari 5 tahapan yaitu, tahapan persiapan bahan baku, tahapan reaksi, tahapan pemisahan, dan tahapan pemurnian produk, dengan uraian sebagai berikut:

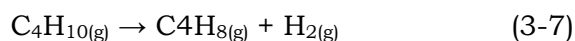
### • Tahapan persiapan bahan baku

Bahan baku butana ( $C_4H_{10}$ ) disimpan dalam tanki penyimpanan pada fase cair dengan suhu  $320^\circ C$  dengan tekanan 4 atm. Selanjutnya bahan baku dipompa menuju alat pemisahan spliter yang sebelumnya didinginkan dahulu pada suhu  $-10^\circ C$  dengan menggunakan pendingin *cooler* dimaksudkan untuk memisahkan i-butane dengan n-butane karena dalam bahan baku mengandung i-butane. Tujuan pemisahan ini agar i-butane dapat diolah kembali agar menjadi n-butane. Kemudian n-butane yang telah terpisah dari i-butane dipanaskan kembali menggunakan *Heater* hingga mencapai suhu  $621^\circ C$  untuk diumpankan ke dalam reaktor. Setelah itu tekanan yang akan masuk ke dalam reaktor diturunkan hingga 0,2 atm menggunakan alat penurun tekanan ekspander.

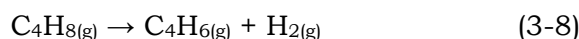
### • Tahapan reaksi

Pada proses ini reaksi yang terjadi 2 tahap. Sehingga menggunakan 2 buah reaktor.

Pada Reaktor 1, reaksi terjadi pada fase gas pada suhu  $621^\circ C$  dengan tekanan 0,2 atm. Dalam reaktor ini n-butane beraksi dengan  $H_2$  dengan bantuan katalis *chromina alumina* dalam tube reaktor. Reaksi yang terjadi adalah:



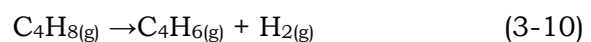
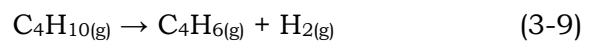
Konversi butane menjadi cyclobutane dalam proses ini adalah 99.99%. Produk reaktor dialirkan kembali menuju reaktor kedua. Pada Reaktor 2, umpan yang mengalir kemudian dikontakkan dengan katalis kromina alumina dalam tube reaktor dan reaksi yang terjadi adalah:



Konversi butane menjadi 1,3 butadiena dalam proses ini adalah 30%. Setelah melawati reaktor kedua tekanan akan dinaikan kembali menjadi 1 atm.

Katalis yang digunakan adalah campuran  $Al_2O_3$  dan  $Cr_2O_3$  yang berbentuk pellet silinder, konversi yang di capai pada operasi reaktor sebesar 30% per pass. Katalis yang digunakan mempunyai komposisi 80%  $Al_2O_3$  dan 20%  $Cr_2O_3$  dengan umur katalis 18-24 bulan. Jenis katalis  $Al_2O_3$  dan  $Cr_2O_3$  digunakan pada suhu tinggi yaitu  $\pm 600^\circ C$  sehingga katalis  $Al_2O_3$  dan  $Cr_2O_3$  mampu bekerja pada suhu  $\pm 600^\circ C$ .

Pada dehidrogenasi n-butana dengan katalis  $Al_2O_3$  dan  $Cr_2O_3$  persamaan lajur reaksinya sebagai berikut:



Dari J.M Smith, 1981, hal 263 kecepatan reaksi dehidrogenasi butena ( $C_4H_8$ ) menjadi Butadiene ( $C_4H_6$ ) dan  $H_2$  dengan katalisator *chromia Alumina* dinyatakan dengan:

$$k=76263473017167900000 \exp^{-51842,32/T} \quad (3-11)$$

Ditinjau dari persamaan kecepatan reaksi, terlihat bahwa persamaan tersebut dipengaruhi oleh suhu reaksi. Jika suhu dinaikan maka harga k akan semakin kecil. Pada perancangan ini akan dioperasikan pada suhu  $600^\circ C$  dengan pertimbangan *range* suhu katalis pada suhu  $525^\circ C - 675^\circ C$ .

### • Tahapan Pemisahan

Bahan baku yang telah didinginkan suhunya mencapai  $-10^\circ C$  untuk mengalirkan ke alat pemisah untuk memisahkan senyawa butadiena dengan campuran lainnya. Pemisahan yang menghasilkan Butadiena pada produk bawah dengan *Cyclobutane* dan  $H_2$  yang masih terdapat dalam Butadiena dipisahkan dan akan diumpankan kembali menuju reaktor 2 agar senyawa *cyclobutane* dan  $H_2$  dapat beraksi kembali sehingga dapat menghasilkan Butadiena. Produk bawah Butadiena yang dihasilkan didinginkan sehingga suhunya mencapai  $-15^\circ C$  dan kemudian dipisahkan senyawa yang

masih terdapat pada Butadiena sebelum melalui proses pemurnian produk.

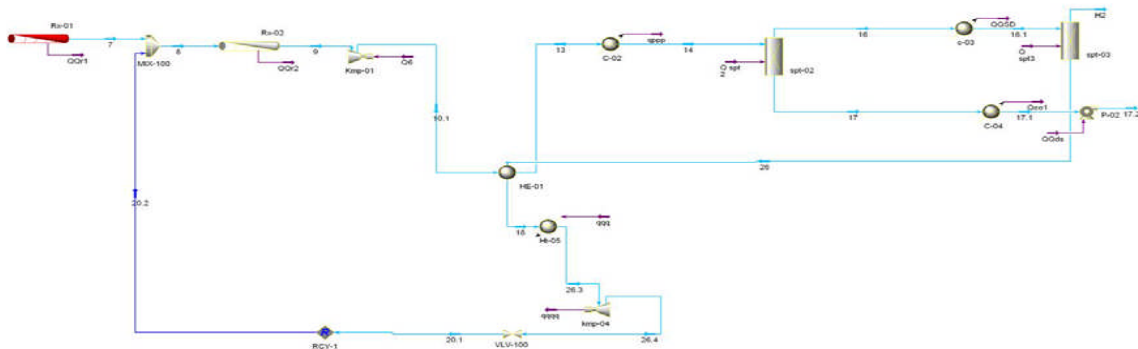
**• Proses Pemurnian Produk**

Pada proses pemurnian produk Butadiena akan dicuci dengan menggunakan air pendingin. Butadiena yang merupakan produk atas dan air merupakan produk bawah. Kemudian produk atas butadiena dimasukkan dalam tangki penyimpanan hasil produk dengan suhu 40°C dan tekanan 3 atm.

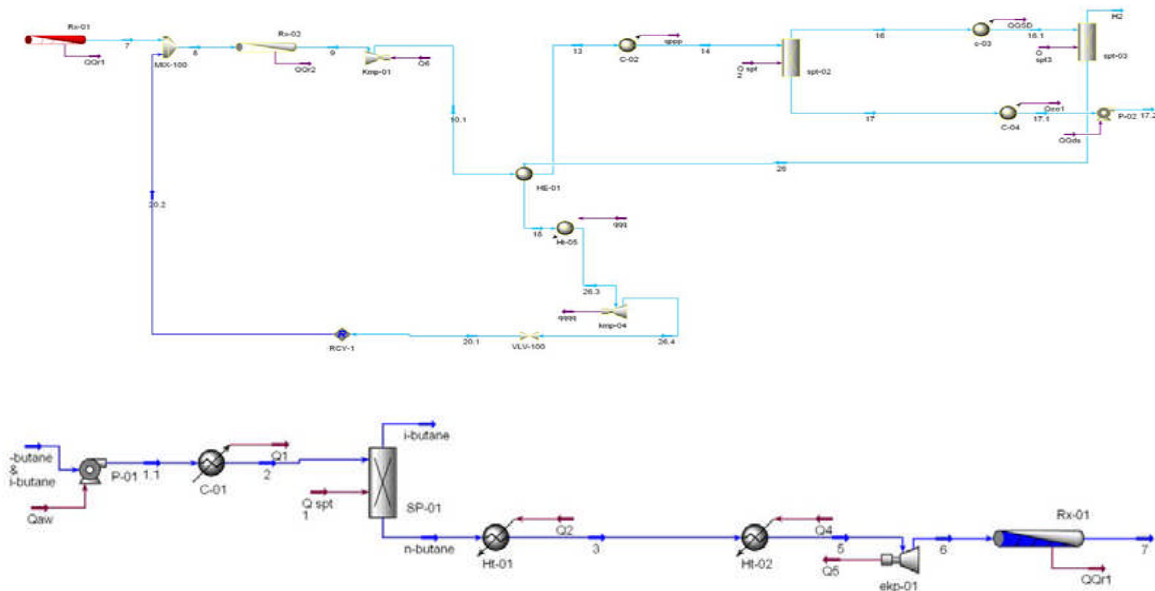
Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan Hysis, maka diperlukan

10 mesin penukar panas, 2 reaktor utama, 1 ekspansor (penurun tekanan), 3 menara distilasi, dan 1 menara distilasi fraksinasi untuk mendapatkan butadiena pada kapasitas terpasang.

Adapun keuntungan proses ini konversi yang dihasilkan relatif lebih tinggi. Kekurangan proses ini adalah peralatan yang digunakan lebih mahal dan rumit karena melibatkan H<sub>2</sub>O sehingga biaya operasi tinggi, (MC. Ketta, 1984).



Gambar 3-2: Disain proses pembuatan butadiena dari butana



Gambar 3-3: Disain proses pembuatan butadiena dari butana dan butena

### • Proses Nippon Zeon

Proses ini hampir sama dengan proses *philips* namun hanya berbeda pada umpan yang masuk, yaitu berupa campuran butana dan butena. Karakteristik utama proses *nippon zeon*, penggunaan gas buang sebagai umpan reaktor.

Setelah pemisahan butadiena dan iso butena dari fraksi C<sub>4</sub> pada unit *naphtha crokker*, sisanya adalah n-butana dan n-butena sebagai komposisi utama gas buang yang dihasilkan dari pemisahan butadiena pada reaktor digunakan sebagai *recycle* (Coulson, J.H., and Ricardson, J.F., 1983; MC.Ketta and William. Acumgham, 1983; Perry's, R. H., and Green, D., 1999). Dalam proses ini didasarkan pada pertimbangan penggunaan umpan masuk yang mempunyai biaya rendah.

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan Hysis, maka diperlukan 11 mesin penukar panas, 3 reaktor utama, 1 kompresor, 1 ekspansor (penurun tekanan), 3 menara distilasi, dan 1 menara distilasi fraksinasi untuk mendapatkan butadiena pada kapasitas terpasang. Proses ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya: (a) Proses pembuatan lebih sederhana dibandingkan proses yang lain; (b) Dengan kondisi reaktor bekerja pada tekanan atmosferik (1,3 atm) dapat menghemat biaya investasi ditinjau dari faktor keamanan peralatannya pada operasi tekanan rendah lebih terjamin keamanannya, dan (c) Katalisator yang digunakan adalah katalis 1707 dengan komposisi 72,4% MgO, 18,4% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 4,6% CuO dan 4,6% K<sub>2</sub>O mempunyai umur yang panjang (2 – 3 bulan) (Smith, J.M., 1981; Wallas, S.M).

Dengan demikian, dilihat dari kemudahan proses, biaya investasi yang diperkirakan paling murah, serta ketersediaan bahan baku dan bahan pendukung maka proses yang paling mungkin adalah proses *Haundry Catadiene*.

### 4 KESIMPULAN

Secara garis besar, terdapat tiga metode pembuatan butadiena, yaitu proses *Haundry Catadiene*, proses *Philips*, dan Proses *Nippon Zeon*. Bahan baku untuk pembuatan butadiena adalah alkohol atau butana. Analisis terhadap ketiga proses telah dilakukan baik dari sisi kinetika reaksi, termodinamika, serta tinjauan proses produksinya yang mungkin beserta keseluruhan peralatan produksinya. Pemilihan proses yang efisien ditinjau dari ketersediaan bahan baku, kesulitan teknologi proses, murah, serta peralatan yang mungkin dilakukan di Indonesia.

Hasil analisis menunjukkan bahwa dilihat dari kemudahan proses, biaya investasi yang diperkirakan paling murah, serta ketersediaan bahan baku dan bahan pendukung maka proses yang paling mungkin adalah proses *Haundry Catadiene*. Berdasarkan hasil analisis dengan disain yang telah dibuat, maka peralatan proses yang digunakan secara keseluruhan adalah paling rendah di antara dua proses yang lain, reaksi terjadi pada tekanan rendah sehingga relatif lebih aman, katalis yang digunakan memiliki umur *recovery* panjang sehingga menghemat waktu proses, serta konversi hasil yang diperoleh paling tinggi dibandingkan kedua proses yang lain.

### DAFTAR RUJUKAN

- Aries, R. S., and Newton, R. D, 1955. "Chemical Engineering Cost Estimation", Mc. Graw Hill Book Company, New York.
- Brown, GG., 1978. "Unit Operation", John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Brownell, L.E., and Young, E.H, 1979. "Process Enginering Design", 3<sup>rd</sup> Edition, Willey Eastern Ltd. New Delhi.
- Coulson, J.H., and Ricardson, J.F., 1983. "Chemical Engineering Design", Vol 6, Pergason Press Oxford.



- Faith, Keyes, and Clark, 1975. "Industrial Chemical", 4<sup>th</sup> Edition, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Kem, D. Q., 1950. "Process Heat Transfer", Mc. Graw Hill Book Company Inc., New York.
- Kirk, R. E. and Othmer, D.F., 1982. "Encyclopedia of Chemical Technology", 3<sup>rd</sup> Edition, Vol. 4, Interscienci Publishing Inc., New York.
- Levenspiel, O., 1976. "Chemical Reaction Engineering", 2<sup>rd</sup> Edition, John Wiley and Sons Inc., New York.
- MC.Ketta and William. Acumgham, 1983, "Enchyclopedia of Chemical Processing and Design", Vol 9, Mc. Graw HillBook.Co, Tokyo.
- Perry's, R. H., and Green, D., 1999. "Perry's Chemical Engginer's Hand Book ", 7<sup>th</sup> Edition, Mc. Graw Hill Book Company inc., New York.
- Peters, M. S., and Timmerhaus, 1980. "Plant Design and Economy for Chemical Enggeneer's", 3<sup>rd</sup> Edition, Mc Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- Rase, HF, 1987. "Chemical Reactor Design for Process Plant", vol, 1 & 2, Mc, Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- Reid, R.C., Prauswitz, J.M., 1987. "The Property of Gases and Liquids", 4<sup>th</sup> Edition, Mc. Graw Hill Book company Inc., New York.
- Smith, J. M., 1981. "Chemical Enggenering Kinetics", 3<sup>rd</sup> Edition, Mc. Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- Treyball, R. E., 1981. "Mass Transfer Operation", 3<sup>rd</sup> Edition, Mc. Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- Wallas, S. M, "Chemical Proses Equipment", Buterworth Publisher, USA.
- Wibowo, H. B., 2009. *Pembuatan Poliuretan sebagai Bahan Baku Propelan*, SIPTEGAN XIII, Bogor.