

# Perhitungan neraca massa dan panas pada reaktor polimerisasi; studi kasus pabrik pengolahan bijih plastik

Budi Santoso\*, Nyimas Annisa R Lindy, Siti Aisyah Shanaz VR

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang-Prabumulih KM 32 Inderalaya Ogan Ilir (OI) 30662  
\*e-mail: budibatistutasantoso@yahoo.com

## Abstrak

Polipropilen merupakan polimer yang berasal dari monomer propilen. Produksi polipropilen terdiri dari beberapa unit termasuk sistem reaksi polimerisasi. Sistem reaksi polimerisasi berlangsung pada sebuah *fluidized bed reactor*. Alat-alat pendukung reaktor terdiri atas *cycle gas cooler*, *cycle gas compressor*, dan *cycle water pump*. Panas reaksi akan dipindahkan dari reaktor menggunakan *cycle gas cooler*, lalu gas yang tidak bereaksi keluar dari bagian atas reaktor dan masuk ke *cycle gas compressor*. Pada kondisi ideal reaktor bekerja pada tekanan 30 kg/cm<sup>2</sup>G dan temperatur 65°C, namun kenyataan yang terjadi di pabrik kondisi tersebut terkadang keluar rentan yang ditentukan, karena adanya faktor penghambat. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan mengkalkulasi secara rutin neraca massa dan neraca panas pada reaktor. Berdasarkan perhitungan neraca panas secara keseluruhan, panas yang hilang sebesar 1,7053x10<sup>-13</sup> Mcal/jam. Artinya terdapat panas yang hilang selama proses polimerisasi berlangsung dalam jumlah yang kecil.

**Kata kunci:** polipropilen, polimerisasi, *fluidized bed reactor*, neraca massa, neraca panas.

## Abstract

*Polypropylene is composed of propylene monomers. The production of polypropylene is divided into several units, include the polymerization system. This system is using fluidized bed reactor and other equipments, such as cycle gas cooler, cycle gas compressor, and cycle water pump. The heat reaction will be removed by cycle gas cooler, while residual gas flow to cycle gas compressor. At temperature 65°C and 30 kg/cm<sup>2</sup>G, reactor works ideal, but the fact is sometimes comes out problems. Problems can be done by calculated the mass and heat balance. The result for overall is the heat between input and output, heat losses as much as 1,7053x10<sup>-13</sup> Mcal/h. It means heat losses as long as polymerization process in the small amount.*

**Keywords:** polypropylene, polymerization, *fluidized bed reactor*, mass balance, heat balance.

## I. PENDAHULUAN

Produksi poliolefin khususnya *polypropylene* menggunakan bahan baku utama yaitu propilen dan etilen. Bahan baku utama berasal dari *olefin plant*. Pabrik bijih plastik yang diperoleh dari perengkahan nafta. Selain itu penggunaan bahan baku penunjang seperti hidrogen diperoleh sebagai *side product* dari *olefin plant* dan nitrogen berasal dari *utility plant*. Proses produksi *polypropylene* di Pabrik bijih plastic meliputi *feed treating unit*, unit purifikasi, sistem reaksi polimerisasi, *product discharge system*, *resin degassing system*, *vent recovery system*, *pelleting system*, dan *bagging polypropylene*, serta laboratorium.

Hal paling penting pada setiap pabrik adalah sistem reaksi sebagai tempat berlangsungnya

konversi bahan baku menjadi produk. Sistem reaksi polimerisasi Pabrik bijih plastik menggunakan reaktor tipe *fluidized bed reactor* yang dilengkapi dengan sistem kompresi dan pendinginan guna mengoptimalkan proses reaksi.

Proses yang diharapkan adalah berjalan stabil, namun tidak selamanya proses reaksi berjalan ideal khususnya reaksi polimerisasi yang cukup kompleks, ada faktor yang menghambat seperti *heat losses*, pembentukan *chunk*, ataupun *fouling* dan *scaling*. Perhitungan neraca massa maupun panas menjadi hal yang harus dikontrol agar selalu tercapai target dan menghindari faktor penghambat tersebut. Untuk memahami bagaimana perhitungan neraca reaktor dengan baik, maka tugas khusus yang akan dibuat yakni

dengan topik perhitungan neraca panas pada sistem reaktor train II.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Polimerisasi adalah suatu proses pembentukan polimer dari monomer-monomernya. Polimerisasi dikelompokkan menjadi dua, yaitu polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi. Reaksi polimerisasi pembentukan polipropilen merupakan reaksi polimerisasi pertumbuhan rantai atau polimerisasi adisi, dimana pertumbuhan rantai hanya disebabkan oleh penambahan monomer yang terus menerus terhadap radikal bebasnya.

Kegunaan polipropilen di antaranya untuk bahan pengemas, tekstil, alat tulis, perlengkapan laboratorium, komponen otomotif, dan sebagainya. Polimer ini berasal dari monomer propilen dengan rumus molekul  $C_3H_6$  dan dapat didaur ulang dengan simbol angka 5.

Berdasarkan struktur dan penggunaan bahan aditif dalam produksi, polimer terbagi menjadi 3 jenis yaitu homopolimer, kopolimer acak (*random copolymer*), dan kopolimer impak (*impact copolymer*). Berdasarkan letak gugus metil dibedakan menjadi isotaktik dan ataktik.

Secara umum, mekanisme reaksi polimerisasi adisi terdiri atas 3 tahap yaitu inisiasi, propagasi, dan terminasi. Namun sebelum terjadi tahapan tersebut, katalis diaktifkan terlebih dahulu oleh ko-katalis. Katalis yang biasa digunakan adalah Titanium Klorida ( $TiCl_4$ ) dengan ko-katalis berupa Trietil Aluminium atau TEAL [ $Al(C_2H_5)_3$ ], sehingga akan terbentuk pusat aktif (*active center*).

Setelah katalis diaktifkan kemudian terbentuk radikal bebas Titanium (Ti). Selanjutnya monomer propilen akan menyerang bagian aktif dan berkoordinasi dengan logam transisi untuk menyisip di antara logam dan alkil, sehingga mulai terbentuk rantai polipropilen. Tahap ini disebut dengan reaksi inisiasi.

Tahap berikutnya dilanjutkan dengan reaksi propagasi, yaitu saat radikal propilen terbentuk, lalu menyerang monomer propilen lainnya secara terus menerus dan membentuk radikal polimer yang panjang. Pada tahap ini tidak terjadi pengakhiran, sehingga polimerisasi terus berlangsung sampai tidak ada lagi gugus fungsi yang tersedia.

Reaksi polimerisasi dihentikan dengan adanya penambahan monomer secara berlebihan. Pada tahap ini diinjeksikan sejumlah hidrogen sebagai terminator. Hidrogen akan bergabung dengan sisi aktif katalis sehingga terjadi pemotongan radikal polimer yang akan menghentikan reaksi polimerisasi propilen. Tahap ini disebut reaksi terminasi

Sintesis polipropilen dikelompokkan menjadi proses fasa cair dan proses fasa gas. Proses dengan fasa gas disebut proses UNIPOL. Proses UNIPOL menggunakan jenis reaktor *fluidized bed* yang disusun secara seri. Kondisi operasi berlangsung pada 60-70°C dan tekanan 20-30 bar, reaksi bersifat eksotermis dengan panas reaksi 1000-1100 btu/lb. Panas reaksi dipindahkan dengan mendinginkan gas *recycle* dengan alat penukar panas, dikompresi, didinginkan, dan diumpukan kembali bersama dengan *fresh feed*. Proses UNIPOL lebih dipilih karena tidak menggunakan pelarut dan tidak menghasilkan produk samping.

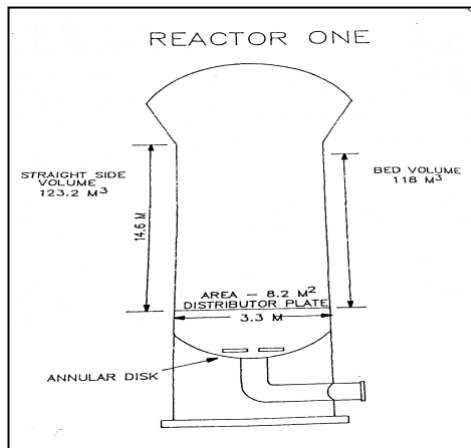
Prinsip kerja *fluidized bed reactor* menggunakan prinsip fluidisasi, dimana resin difluidisasikan oleh *cycle gas* dan terbentuk gelembung] di antara resin disebabkan karena adanya gas yang melewati resin, peristiwa ini sama halnya dengan cairan yang dialirkan oleh gas sehingga terbentuk gelembung di antara cairan itu. Fluidisasi terjadi dimana kecepatan *superficial gas* atau *cycle gas* lebih besar daripada kecepatan minimum fluidisasi ( $U_{mf}$ ).

Komponen yang terdapat di dalam reaktor di antaranya *bed, distributor plate, annular disk, tee pee*. Komponen ini berfungsi untuk pendistribusian gas yang lebih merata, serta mencegah *carry over*. Berikut adalah spesifikasi *fluidized bed reactor* yang digunakan.

**Tabel 2.1.** Spesifikasi Reaktor Polimerisasi di pabrik bijih plastic

| Keterangan           |   |
|----------------------|---|
| Kode                 | R                                       |
| Tinggi Reaktor       | 21,18 m                                 |
| Diameter Dalam       | 3,40 m                                  |
| Diameter Luar        | 3,76 m                                  |
| Plate Area           | 8,42 m <sup>2</sup>                     |
| Straight Side Height | 14,6 m                                  |
| Straight Side Volume | 4172 ft <sup>3</sup>                    |
| Straight Side Weight | 37848 kg                                |
| Normal Bed           | 14 m                                    |
| Normal Bed Volume    | 118 m <sup>3</sup>                      |
| Tinggi Pondasi       | 13,50 meter                             |
| Kondisi Operasi      | T = 65°C<br>P = 30 kg/cm <sup>2</sup> G |

(Sumber: Sumartono, 1999)



**Gambar 2.1.** Fluidized Bed Reactor di Pabrik bijih plastik (Sumber: Sumartono, 1999)

Umpan dan gas inert dialirkan secara kontinyu ke dalam reaktor dan disirkulasikan dengan bantuan kompresor. Umpan yang masuk ke reaktor berada pada suhu 40°C dan tekanan 40 kg/cm<sup>2</sup>G. Seluruh umpan dimasukkan melalui bagian bawah reaktor dalam fasa cair dan gas, kecuali katalis dimasukkan melalui bagian atas reaktor dalam bentuk *slurry* karena disuspensikan ke dalam *mineral white oil*.

Alat-alat pendukung reaktor terdiri atas *cycle gas cooler*, *cycle gas compressor*, dan *cycle water pump*. Reaksi polimerisasi bersifat eksotermik, sehingga panas akan dipindahkan dari reaktor menggunakan *cycle gas cooler*, lalu gas yang tidak bereaksi keluar dari bagian atas reaktor dan masuk ke *cycle gas compressor*.

Produk utama yang diinginkan berupa resin polipropilen keluar secara bertahap menuju *product discharge system*. Resin tersebut masih mengandung pengotor sehingga akan dialirkan ke *resin degassing system*, kemudian dibentuk menjadi pelet menggunakan *pelleting system*.

Hal yang harus diperhatikan agar tidak mengganggu kinerja reaktor adalah menghindari adanya bagian yang tidak terfluidisasi yang akan menyebabkan titik-titik panas (*hotspot*). Jika *hotspot* ini terjadi, maka resin akan menggumpal membentuk *chunk*, akibatnya tekanan dan temperatur di reaktor akan terus meningkat sehingga harus dilakukan *shutdown*.

Reaksi polimerisasi *polypropylene* dipengaruhi beberapa faktor yaitu laju alir katalis, tekanan parsial propilen, temperatur reaktor, *dew point cycle gas*, rasio molar ko-katalis dan katalis, rasio molar ko-katalis dan *Selectivity Control Agent* (SCA), rasio hidrogen dan propilen, serta rasio etilen dan propilen.

### III. METODOLOGI

Pengumpulan data didapatkan dari data harian kondisi reaktor train II *polypropylene plant* pada bulan Oktober 2018. Berdasarkan data yang terkumpul, dilakukan pengolahan data dengan melakukan perhitungan neraca massa dan panas melalui persamaan berikut.

#### Neraca Massa

$$\text{Massa Masuk} = \text{Massa Keluar}$$

#### Neraca Panas

*Heat Transfer Feed Streams*

$$Q_{\text{feed}} = n \times C_p \times \Delta T$$

*Heat Transfer Output Streams*

$$Q_{\text{output}} = n \times C_p \times \Delta T$$

*Heat Transfer to Cooling Water*

$$Q_{\text{cw}} = F_{\text{cw}} \times C_{p_{\text{cw}}} \times \Delta T$$

*Heat Transfer to Fluidized Bed*

$$Q_{\text{bed}} = C_{p_{\text{pp}}} \times \Delta T_{\text{bed}} \times W_{\text{bed}} \times \left( \frac{60}{\text{freq}} \right)$$

*Heat of Compression*

$$W_{\text{comp}} = P_{\text{comp}} \times \text{eff}_{\text{comp}}$$

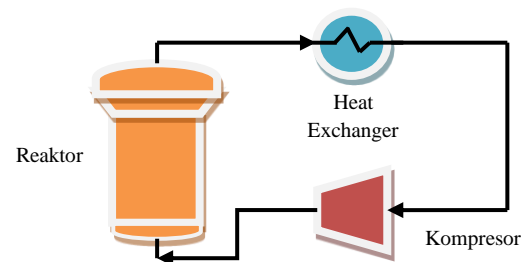
*Heat of Reaction*

$$Q_{\text{rx}} = PR_{\text{inst}} \times \Delta H_{\text{rx}}$$

*Ambient Heat Loss*

$$Q_{\text{amb}} = Q_{\text{rx}} - Q_{\text{cw}} - Q_{\text{bed}} + W_{\text{comp}} + Q_{\text{feed}} - Q_{\text{output}}$$

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4.1.** Sistem Reaksi pada reaktor Polypropylene

Sistem reaktor untuk polimerisasi polipropilen terdiri atas *fluidized bed reactor*, *cooler*, dan kompresor. Reaktor tidak dapat berdiri sendiri, perlu alat penunjang untuk menjaga kondisi operasi tetap stabil. Kondisi reaktor harus dijaga

agar produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Penambahan *cooler* dan kompresor bertujuan untuk menjaga tekanan dan temperatur reaktor dengan cara *gas cycle*. Gas-gas yang tidak bereaksi di dalam reaktor akan dialirkan keluar ke bagian atas reaktor menuju kompresor. Kompresor menaikkan tekanan gas, sehingga terjadi kenaikan temperatur, oleh karena itu *cooler* akan mengambil panas hasil reaksi dari reaktor yang bekerja secara eksotermis, sehingga temperatur reaktor tetap stabil pada temperatur 60-65°C.

**Tabel 4.1.** Data Awal Perhitungan

| Data                                  | Nilai                      |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Temperatur reaktor                    | 64,38°C                    |
| Tekanan reaktor                       | 30,22 kg/cm <sup>2</sup> G |
| Perbedaan temperatur pada <i>bed</i>  | 7,83°C                     |
| Berat <i>bed</i>                      | 15,41 ton                  |
| Daya <i>cycle gas compressor</i>      | 451,94 kW                  |
| Efisiensi <i>cycle gas compressor</i> | 85%                        |
| Panas reaksi <i>polypropylene</i>     | 2277 kJ/kg                 |
| Laju reaksi produksi                  | 22,03 ton/jam              |
| Total laju reaksi produksi            | 510,046 ton/hari           |

Pemilihan *fluidized bed reactor* ditentukan berdasarkan fasa bahan baku yang digunakan yaitu berupa gas, lalu dicampurkan dengan katalis dalam bentuk *slurry*. Dengan tipe reaktor ini energi yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan dengan tipe lainnya seperti reaktor berpadat, karena bahan baku harus dilakukan *treatment* lagi ke dalam fasa cair. Untuk tipe *cooler* yang digunakan adalah *shell and tube heat exchanger* dengan air pendingin berada dibagian *shell*, sementara gas pada bagian *tube*. Sementara kompresor yang digunakan adalah *single stage centrifugal compressor*.

Pada kondisi ideal reaktor bekerja pada tekanan 30 kg/cm<sup>2</sup>G dan temperatur 65°C, namun kenyataan yang terjadi di pabrik kondisi tersebut terkadang keluar rentan yang ditentukan. Hal ini bisa saja terjadi misalnya karena *flowrate* bahan baku yang terlalu tinggi, terjadinya *hotspot*, sehingga menyebabkan pembentukan *chunk* yang dapat meningkatkan tekanan reaktor sangat tinggi. Selain itu hal yang belum bisa dihindari pada proses ini adalah pembentukan *finer* atau resin yang berukuran sangat halus sekitar kurang dari 125 mikron yang dapat menghambat perpindahan panas pada reaktor. *Finer* dapat terikut keluar reaktor, seperti menempel pada bagian *tube heat exchanger*. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan

mengkalkulasi secara rutin neraca massa dan neraca panas pada reaktor.

**Tabel 4.2.** Neraca Massa Reaktor (Basis 1 Jam)

| Nama Senyawa | Rumus Senyawa                                   | Massa Masuk (kg/jam) | Massa Keluar (kg/jam) |
|--------------|---|----------------------|-----------------------|
| Propilen     | C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                   | 23641,7406           | 544,518               |
| Propan       | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                   | 402,594              | 56,0628               |
| Nitrogen     | N <sub>2</sub>                                  | 40                   | 39,9528               |
| Hidrogen     | H <sub>2</sub>                                  | 1,88                 | 1,9332                |
| Etilen       | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                   | 89,94                | 1,9332                |
| Katalis      | TiCl <sub>4</sub>                               | 1,8                  | 0                     |
| TEAL         | Al(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> | 6,35                 | 0                     |
| Polipropilen | (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>   | 0                    | 23539,9046            |
| <b>Total</b> |   | <b>24184,3046</b>    | <b>24184,3046</b>     |

Perhitungan neraca panas atau neraca energi reaktor merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak energi yang harus dilepas atau ditambahkan, agar reaksi berjalan sesuai kondisi operasi per satuan waktu. Perhitungan neraca panas tidak lepas dari neraca massa, karena keduanya saling berhubungan. Hasil perhitungan neraca massa akan digunakan untuk perhitungan neraca energi, seperti pada Tabel 4.2. Hasil perhitungan neraca energi dapat digunakan untuk pemilihan jenis alat dan ukuran yang sesuai, serta penyediaan energi untuk proses.

Data-data yang diperlukan untuk perhitungan neraca panas adalah kondisi operasi reaktor seperti massa bahan baku dan produk, temperatur masuk dan keluar alat, serta kapasitas panas per komponen. Massa bahan baku dan produk dihitung terlebih dahulu berdasarkan laju alir masuk dan keluar reaktor.

Polimerisasi polipropilen termasuk neraca energi sistem terbuka dan *steady state* karena proses produksi dilakukan secara kontinyu. Sistem terbuka mengabaikan energi kinetik dan energi potensial, sehingga neraca energi ini didasarkan pada nilai kalor, kerja, dan entalpi. Perhitungan neraca energi diawali dengan mencari kapasitas panas per komponen. Kapasitas panas dihitung berdasarkan ilmu termodinamika yaitu polinomial empirik yang menghubungkan kapasitas panas (Cp) sebagai fungsi temperatur.

Perhitungan neraca panas dilanjutkan dengan mengkalkulasi panas yang masuk dan keluar reaktor. Panas masuk terdiri atas *heat in feed streams*, *heat of reaction*, *heat of*

*compression*, dan panas keluar di antaranya *ambient heat loss*, *heat transfer to fluidized bed*, serta *heat transfer to cooling water*.

*Heat in feed streams* adalah total nilai kalor dari setiap komponen atau bahan baku yang masuk ke dalam reaktor, di antaranya propilen, etilen, propan, hidrogen, nitrogen, katalis, dan TEAL. Nilai kalor (Q) menyatakan panas yang masuk ke dalam reaktor dengan menghubungkan laju alir, kapasitas panas, dan perbedaan temperatur. Begitu pula dengan *heat transfer to fluidized bed* dan *heat of reaction* merupakan panas yang dihasilkan dari reaksi polimerisasi polipropilen yang bersifat eksotermis, dimana perhitungan menggunakan entalpi pembentukan.

*Ambient heat loss* adalah panas yang hilang karena adanya perbedaan temperatur ambien atau temperatur lingkungan dengan temperatur operasi. *Ambient heat loss* terjadi di sistem perpipaan saat gas mengalir keluar reaktor menuju alat berikutnya seperti kompresor dan *cooler*. Panas hilang karena temperatur operasi yang lebih tinggi daripada temperatur lingkungan, sehingga menyebabkan terjadinya *natural cooling*.

*Heat of compression* adalah panas yang hilang akibat kompresi yang terjadi pada kompresor. Semua energi tekanan diubah menjadi panas saat gas disirkulasikan di sistem. Dengan demikian, semua energi yang dikeluarkan oleh kompresor pada akhirnya harus dihilangkan sebagai panas oleh *cooler*. Berdasarkan hukum termodinamika, *heat transfer to cooling water* terjadi karena temperatur air pendingin yang rendah, sehingga terjadi pelepasan panas dari gas ke air pendingin. Jumlah panas yang hilang dari gas berhubungan dengan kenaikan temperatur air pendingin, laju alir, dan kapasitas panas air pendingin.

Berdasarkan perhitungan neraca panas secara keseluruhan, diperoleh banyaknya panas yang hilang sebesar  $1,7053 \times 10^{-13}$  Mcal/jam, artinya terjadi *heat loss reactor* dalam jumlah yang kecil. Jika ada perbedaan antara panas yang masuk dengan panas yang keluar, maka disebut dengan *heat loss reactor*. Jika selisih antara panas yang masuk dan panas yang keluar bernilai 0, maka berada pada kesetimbangan (*balance*), artinya tidak ada panas yang terbuang. Dari hasil tersebut, kondisi operasi reaktor di *polypropylene plant train II* dipengaruhi oleh *ambient heat loss* atau suhu lingkungan yang memiliki suhu lebih rendah dibandingkan suhu pada reaktor dan perpipaan *cycle gas*. Sehingga memungkinkan panas yang dihasilkan reaktor atau perpipaan *cycle gas* berpindah ke lingkungan akibat adanya *natural cooling*.

Selain itu, reaksi polimerisasi pembentukan polipropilen berlangsung secara eksotermis yang

menyebabkan *cycle gas* keluaran reaktor memiliki suhu lebih tinggi sehingga perlu didinginkan menggunakan *cooling water* yang berasal dari *cycle gas cooler*. Hal ini memungkinkan untuk panas berpindah suhu tinggi ke rendah yaitu suhu *cooling water* sesuai dengan Hukum Termodinamika I.

**Tabel 4.3.** Neraca Panas Reaktor (Basis 1 Jam)

| Jenis Panas         | Panas Masuk (Mcal/jam) | Panas Keluar (Mcal/jam) |
|---------------------|------------------------|-------------------------|
| Q <sub>feed</sub>   | 804,1028776            | 0                       |
| W <sub>comp</sub>   | 330,3086737            |                         |
| Q <sub>rx</sub>     | 11988,79209            | 0                       |
| Q <sub>bed</sub>    | 0                      | 123,0413299             |
| Q <sub>cw</sub>     | 0                      | 9959,719661             |
| Q <sub>amb</sub>    | 0                      | 2580,398963             |
| Q <sub>output</sub> | 0                      | 460,0436875             |

Adapun perpindahan panas yang terjadi dalam sistem reaktor di antaranya adalah konduksi, konveksi, dan radiasi. Secara konveksi, perpindahan panas terjadi melalui aliran disertai dengan perpindahan zat perantaranya. Konveksi terjadi saat proses fluidisasi, dimana katalis menyisip pada gelembung-gelembung gas, selain juga terjadi di *shell and tube heat exchanger* yaitu pertukaran panas antara gas dengan air pendingin. Konduksi terjadi saat panas mengalir dari bagian bawah reaktor menuju atas dengan perantara dinding-dinding reaktor. Untuk radiasi panas mengalir tanpa perantara, terjadi saat seseorang berada pada jarak yang dekat di sekitar kompresor maka akan terasa panas.

## V. KESIMPULAN

Dari kajian ini dapat dirumuskan beberapa sebagai kesimpulan sebagai berikut;

1. Perhitungan neraca panas reaktor polypropylene menghasilkan heat losses sebesar  $1,7053 \times 10^{-13}$  Mcal/jam.
2. Perpindahan panas yang terjadi diantaranya konduksi saat panas berpindah dari bagian bawah reaktor menuju atas dengan perantara dinding reaktor, konveksi saat fluidisasi antara gas reaktan dan katalis serta radiasi yaitu saat mendekati kompresor maka akan terasa panas akibat pengaruh panas yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fitriani, H. V., Harpeni, L., Oktaviani, R., Maulana, S., dan Rahayu, S. Y. 2012. *Makalah Industri Polipropilen*. Bogor: Universitas Nusa Bangsa.

- Kocian, H. G. 1979. *UNIPOL Operations Training Manuak Book*. Texas: Houston Bookbinding.
- Praxair. 2016. *Propylene Safety Data Sheet*. (Online). <https://www.praxair.com/-/media/corporate/praxairus/documents/sds/propylene-c3h6-safety-data-sheet-sds-p4648.pdf?la=en>. (Diakses pada tanggal 22 Oktober 2018)
- Pabrik bijih plastik. *Laporan on the Job Training Polypropylene Process Department*. 2017. Cilegon: Pabrik bijih plastik.
- Sofiani, F. dan Hapsari, W. V. 2011. *Prarancangan Pabrik Polipropilen dari Propilen dengan Proses Spheripol Kapasitas 200.000 Ton/Tahun*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sumartono. 1999. *Process Highlight*. Cilegon: PT Tri Polyta Indonesia Tbk.