

## PRARANCANGAN PABRIK KALSIUM KARBONAT MENGUNAKAN METODE KARBONASI DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 32.000 TON/TAHUN

Ghina Shofiah Adibah Khoirunnisa<sup>1</sup>, Amelia Permata Ayunda<sup>1</sup>, Eka Wardayanti<sup>1</sup>, Bektu Palupi<sup>1</sup>, Ditta Kharisma Yolanda Putri<sup>1</sup>, Meta Fitri Rizkiana<sup>1</sup>, Noven Pramitasari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi S1 Teknik Kimia, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember  
Jl. Kalimantan No.37, Sumbersari, Jember 68121, Indonesia  
\*Corresponding Author: ghinashofia230601@gmail.com

### Abstrak

*Kalsium karbonat merupakan senyawa dengan rumus molekul  $\text{CaCO}_3$ . Senyawa ini dihasilkan dari suspensi kapur padam yang terlarut dalam air dan gas. Kalsium karbonat tergolong mineral sederhana dan tidak mengandung silikon, serta salah satu sumber utama produksi senyawa kalsium dalam besar-besaran di bidang komersial. Kalsium karbonat memiliki beragam aplikasi di berbagai sektor industri. Hal ini digunakan dalam industri bahan bangunan untuk pembuatan semen, cat, plester, serta produk konstruksi lainnya. Permintaan akan produk-produk yang memanfaatkan kalsium karbonat sebagai bahan baku semakin meningkat, produksi kalsium karbonat menjadi penting. Oleh karena itu, produksi kalsium karbonat merupakan sebuah komoditas yang perlu diperhitungkan untuk dikembangkan di Indonesia. Hasil dari pengerjaan tugas prarancangan pabrik kalsium karbonat sebagai berikut, pabrik kalsium karbonat yang akan didirikan di Kota Bontang, Kalimantan Timur dengan luas lahan 36.427 m<sup>2</sup>, direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dengan kapasitas 32.000 ton/tahun. Setelah melalui perhitungan evaluasi ekonomi didapatkan nilai BEP (Break Event Point) sebesar 46%, dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pabrik kalsium karbonat ini layak didirikan.*

*Kata kunci: Break Event Point, kalsium karbonat, mineral.*

### 1. Pendahuluan

Gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) adalah termasuk gas pencemar yang berperan dalam meningkatkan efek pemanasan global. Pada tahun 2017, Indonesia mencatat jumlah emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 1.154.126 Giga gram  $\text{CO}_2$ . Sektor industri merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi  $\text{CO}_2$  di Indonesia. Gas  $\text{CO}_2$  memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan mentah dalam pembuatan kalsium karbonat (Maryani, 2020).

Kalsium karbonat merupakan senyawa dengan rumus molekul  $\text{CaCO}_3$ . Senyawa ini dihasilkan dari suspensi kapur padam yang terlarut dalam air dan gas. Kalsium karbonat tergolong mineral sederhana dan tidak mengandung silikon, serta salah satu sumber utama produksi senyawa kalsium dalam besar-besaran di bidang komersial. Kalsium karbonat memiliki beragam aplikasi di berbagai sektor industri. Hal ini digunakan dalam industri bahan bangunan untuk pembuatan semen,

cat, plester, serta produk konstruksi lainnya. Selain itu, dalam industri kertas sebagai bahan pengisi dan pemutih, produksi plastik, farmasi, makanan, dan minuman. Menurut *mordor intelligence* pasar kalsium karbonat diperkirakan sebesar 164,42 juta ton pada tahun 2024, dan diperkirakan akan mengalami kenaikan pada periode tahun (2024 - 2029) sebesar 3,08% yaitu sebesar 191,36 juta ton per tahun.

Permintaan akan produk-produk yang memanfaatkan kalsium karbonat sebagai bahan baku semakin meningkat, produksi kalsium karbonat menjadi penting. Hal ini terutama karena harganya yang murah membuatnya menjadi bahan baku yang banyak diminati dalam berbagai industri. Pasar global yang besar untuk produk-produk yang mengandung kalsium karbonat mendorong produksi yang lebih besar pula. Banyak industri di seluruh dunia yang menggunakan kalsium karbonat sebagai bahan baku utama dalam proses produksinya. Oleh karena itu, produksi kalsium



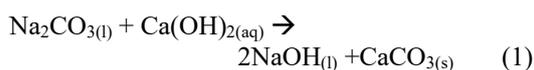
karbonat merupakan sebuah komoditas yang perlu diperhitungkan untuk dikembangkan di Indonesia, terutama mengingat persaingan yang semakin ketat di sektor industri, serta kebutuhan kalsium karbonat di Indonesia rata-rata masih melakukan impor ke luar negeri untuk mencukupi kebutuhan kalsium karbonat di dalam negeri. Dengan demikian, pemenuhan kebutuhan akan kalsium karbonat di Indonesia dapat terjamin, yang nantinya dapat meningkatkan nilai tambah, terutama nilai ekonomis, khususnya untuk sektor industri serta bagi masyarakat umum. Melalui pengembangan produksi kalsium karbonat secara lokal, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada impor serta menciptakan lapangan kerja baru, memperkuat perekonomian domestic, dan merangsang pertumbuhan industri dalam negeri.

## 2. Deskripsi Proses

Secara umum dalam sintesa kalsium karbonat dapat dibuat menggunakan beberapa proses, yaitu:

- Proses Pembuatan Presipitat Kalsium Karbonat Menggunakan Metode *Lime Soda* (*liquid-liquid route*)

Proses *Lime-Soda* dapat dikenal dengan kaustisasi, merupakan proses klasik untuk menghasilkan soda kaustik (sodium hidroksida). Proses ini umumnya digunakan dalam industri alkali, bertujuan untuk meregenerasi sodium hidroksida, sedangkan presipitat kalsium karbonat mentah hanya sebagai produk samping. Proses reaksinya dapat dilihat pada persamaan 2.1.

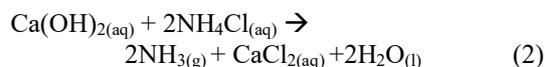


Pada proses ini bahan baku berupa CaO yang merupakan hasil kalsinasi dari batu kapur (komposisi  $\text{CaCO}_3$  85%-97%) yang selanjutnya disuspensikan dalam air hingga terbentuk  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Kemudian suspensi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dicampurkan dengan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada suhu  $65^\circ\text{C}$ , terbentuk padatan  $\text{CaCO}_3$ . Kekurangan dari proses ini ialah kualitas PCC yang dihasilkan pada proses ini kurang baik karena distribusi ukuran partikel PCC yang tidak seragam dan kandungan residu yang tinggi pada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , yang menyebabkan rendemen PCC yang rendah.

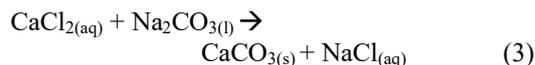
- Proses *Calcium Chloride-Sodium Carbonate Double Decomposition* (*Calcium Chloride Process*)

Pada proses *Calcium Chloride*, kalsium hidroksida akan direaksikan dengan ammonium klorida yang membentuk gas ammonia dan larutan

kalsium klorida. Proses reaksinya dapat dilihat pada persamaan 2.2.



Setelah dilakukan pemurnian, larutan ini direaksikan dengan sodium karbonat untuk dihasilkan endapan kalsium karbonat dan larutan sodium klorida. Proses reaksinya dapat dilihat pada persamaan 2.3.



Proses ini merupakan proses yang paling sederhana, penggunaan terhambat oleh beberapa faktor. Pertama, kalsium klorida yang diperoleh dari reaksi antara ammonium klorida dan kalsium hidroksida memiliki harga yang relatif mahal, sehingga proses ini tergolong tidak ekonomis. Kedua, proses ini dapat menimbulkan risiko keselamatan bagi pekerja.

- Proses Pemurnian  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  untuk Menghasilkan Endapan  $\text{CaCO}_3$  / Karbonasi

Pada proses ini bahan baku yang digunakan Kalsium Oksida. Dalam memperoleh endapan Kalsium Karbonat, Kalsium Oksida terlebih dahulu dihomogenkan dengan menambahkan air, menghasilkan *slurry*  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dalam unit mixer. Proses reaksinya dapat dilihat pada persamaan 2.4.



Selanjutnya dilakukan penyaringan yang bertujuan untuk memisahkan partikel kasar di dalam *slurry*  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  murni lalu dimasukkan dalam karbonator dengan suhu lebih dari  $35^\circ\text{C}$  dengan tekanan 2 atm, dimana gas  $\text{CO}_2$  yang telah terpisah dari zat pengotor dalam unit *scrubber* dialirkan kedalam reaktor/karbonator. Dan kemurnian yang dihasilkan sekitar 99%. Proses reaksinya dapat dilihat pada persamaan 2.5.



Kemudian suspensi larutan PCC dan zat pengotor dipisahkan melalui unit filtrasi dan pengeringan. Produk yang dihasilkan berupa gumpalan padatan PCC kering. Padatan PCC kemudian diumpankan menuju unit pemecahan dan silo (ampas).

Berdasarkan uraian di atas maka dasar pemilihan proses dapat dilihat pada tabel 1 sebagai berikut:



**Tabel 1.** Perbandingan Proses Pembuatan Presipitat Kalsium Karbonat

Parameter	Kalsium Klorida	Kaustik Lime Soda	Karbonasi	(Sumber: Garinas, 2019)
	Bahan Baku	Bahan Baku	Bahan Baku	
Suhu Kalsinasi	Min 900°C	Min 900°C	Min 900°C	<p>Tahapan proses yang dilakukan untuk memproduksi kalsium karbonat menggunakan metode karbonasi, yaitu :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Persiapan bahan baku</li> </ol> <p>Bahan baku utama yang digunakan dalam pembuatan kalsium karbonat yaitu batu kapur. Batu kapur ini masih mengandung <i>impurities</i> (MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan SiO<sub>3</sub>) sehingga untuk memperoleh CaO harus melalui tahap kalsinasi terlebih dahulu. Proses kalsinasi yaitu proses untuk menghilangkan kandungan air, senyawa organik, dan menguraikan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) menjadi Kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan menguraikan Magnesium Karbonat (MgCO<sub>3</sub>) menjadi Magnesium Oksida (MgO) dan Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Proses kalsinasi dilakukan menggunakan <i>Furnace (Q-110)</i> pada suhu 900°C selama 4 jam. Panas dalam <i>Furnace (Q-110)</i> dapat menyebabkan terjadinya regangan ikatan kimia antar atom dalam material, sehingga mengalami pemutusan ikatan dan terurai pada suhu tersebut (Wardiana dkk, 2019).</p> $\text{CaCO}_{3(s)} \rightarrow \text{CaO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} \quad (6)$ $\text{MgCO}_{3(s)} \rightarrow \text{MgO}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} \quad (7)$ <p>Tahap yang terjadi di <i>Furnace (Q-110)</i> terjadi proses kalsinasi yang mengeluarkan gas CO<sub>2</sub> yang akan masuk ke dalam <i>Gas Scrubber (D-113)</i> dengan nilai <i>impurities</i> sebanyak 1%. Kandungan <i>impurities</i> selanjutnya akan dibuang ke tempat pembuangan limbah. Dalam <i>furnace</i> menggunakan bahan bakar <i>fuel oil</i>, untuk memantik bahan bakar agar alat dapat beroperasi maka dibantu dengan udara blower .</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Proses</li> </ol> <p>Hasil keluaran dari <i>Furnace (Q-110)</i> dalam bentuk padatan akan masuk ke dalam <i>Rotary Cooler (E-116)</i>. Proses yang terjadi dalam <i>Rotary Cooler (E-116)</i> yaitu terjadi pendinginan batu kapur hingga suhunya menunjukkan penurunan panas secara tiba-tiba pada material dapat menyebabkan perubahan struktur material menjadi tidak stabil. Hal ini dapat diamati pada morfologi permukaan material yang berubah menjadi gumpalan yang retak dan terpecah. Perubahan ini menandakan bahwa material tersebut telah mengalami kerusakan akibat pendinginan yang cepat. Feed yang masuk ke dalam <i>Rotary Cooler (E-116)</i> masih mengandung</p>
Suhu Karbonasi	65°C	65°C	35°C	
Sumber Ion Karbonat	CaCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	
Konversi Kalsium Karbonat	80%	<90%	>90%	
Harga Bahan Baku	Batu kapur: Rp. 3.000/ kg NH <sub>4</sub> Cl: Rp. 900.000/kg Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> : Rp. 32.500/kg	Batu kapur: Rp. 3.000/ kg Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> : Rp. 32.500/kg	Batu kapur: Rp. 3.000/ kg H <sub>2</sub> O: 0 CO <sub>2</sub> : 0	
Total	Rp. 937.220	Rp. 37.220	Rp. 3.000	

Dari uraian proses pada tabel 1, dipilih proses produksi kalsium karbonat menggunakan bahan baku berupa kalsium oksida menggunakan metode karbonasi, dengan beberapa pertimbangan:

- Yield* kalsium karbonat menggunakan proses karbonasi lebih besar yaitu 99%.
- Pada proses karbonasi harga bahan baku lebih murah yaitu Rp. 3.000.
- Proses karbonasi menggunakan suhu karbonasi lebih rendah yaitu 35 °C.

Proses yang dipilih dalam pembuatan kalsium karbonat ini yaitu dengan menggunakan proses karbonasi. Proses yang digunakan dalam pembuatan kalsium karbonat ini dengan dilakukan mendapatkan CaCO<sub>3</sub> dengan dilakukan pemurnian Ca(OH)<sub>2</sub>. Komposisi bahan baku dan produk dapat dilihat pada tabel 2, berikut:

**Tabel 2.** Komposisi Bahan Baku Batu kapur

Komponen	Komposisi	
	Bahan Baku (%)	Produk (%)
CaCO <sub>3</sub>	90,00%	99,00%
MgCO <sub>3</sub>	5,00%	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,65%	0,10%
Al <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,60%	0,10%
SiO <sub>2</sub>	2,23%	0,10%



*impurities* yang selanjutnya masuk ke dalam *Reactor CSTR (R-210)*. Pencampuran yang terjadi di dalam *Reactor CSTR (R-210)* antara CaO dan H<sub>2</sub>O dan akan menjadi Ca(OH)<sub>2</sub> yang belum murni. Suhu dan tekanan air setelah dilakukan proses reaksi akan terjadi peningkatan yaitu suhu 95°C dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi di dalam *Reactor CSTR (R-210)* sebagai berikut:



Reaksi terjadi pada kondisi operasi menggunakan suhu 95°C dengan tekanan 1 atm dan konversi sebesar 95%. Hasil dari pereaksian pada *Reactor CSTR (R-210)* selanjutnya diteruskan masuk kedalam *Cooler (E-212)* terjadi penurunan suhu menjadi 35°C. *Slurry* yang telah dilakukan pendinginan kemudian masuk ke *Clarifier Tank (H-311)* dan terjadi pemisahan padatan yang terkandung di dalam sehingga kalsium hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub> yang akan masuk ke dalam *Reaktor (R-310)* dalam keadaan murni terbebas dari *impurities*, sedangkan untuk *impurities* lain akan masuk ke tempat pembuangan limbah. Kalsium hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub> murni dari *Clarifier Tank (H-311)* masuk ke dalam *Reactor (R-310)* dengan CO<sub>2</sub> yang yang didapatkan dari *Gas Scrubber (D-113)*. Reaksi yang terjadi pada *Reaktor (R-310)* seperti pada persamaan 9:



Pada reaksi ini terjadi dalam suhu 35°C, tekanan pada 1 atm dan konversi sebesar 99%. Reaksi terjadi di dalam reaktor senyawa Ca(OH)<sub>2</sub> direaksikan dengan CO<sub>2</sub> untuk menghasilkan endapan CaCO<sub>3</sub>.

### 3. Tahap Pemisahan

Hasil dari reaksi yang terjadi di dalam *Reactor (R-310)* selanjutnya dialirkan ke *Rotary Drum Vacuum Filter (H-410)* untuk memisahkan padatan dan cairan. Pada *Rotary Drum Vacuum Filter (H-410)* ini filter bekerja dengan cara menghisap cairan melalui drum berputar yang dilengkapi dengan media filter yang dapat menahan padatan dan cairan akan melewati filter. Hasil keluaran dari *Rotary Drum Vacuum Filter (H-410)* berupa padatan dengan dengan moisture 13,5%

### 4. Tahap pengeringan dan penghancuran

Endapan CaCO<sub>3</sub> yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan tahap pengeringan dan penghancuran. Tahap pengeringan endapan ini dilakukan dengan menggunakan *Rotary Dryer (B-510)*. Tahap pengeringan ini dilakukan bertujuan

untuk menghilangkan kadar air yang terkandung di dalam endapan CaCO<sub>3</sub> sebelum dilakukan tahap penghancuran. Tahap penghancuran ini selanjutnya akan dilakukan dengan menggunakan *Chammer Mill (C-513)*. Produk CaCO<sub>3</sub> yang telah dihancurkan selanjutnya dilakukan proses pengayakan pada alat *Screening (X-515)* bertujuan agar produk endapan CaCO<sub>3</sub> yang didapatkan dalam bentuk *powder* dengan ukuran butir 140 mesh. Produk CaCO<sub>3</sub> selanjutnya dilakukan penyimpanan akhir produk di *Storage Silo (F-519)*.

### 3. Utilitas

Pengambilan air dari sungai dilakukan dengan bantuan pompa. Air yang sudah dipompa selanjutnya dialirkan menuju proses penyaringan (*screening*). Penyaringan (*screening*) berfungsi untuk memisahkan partiker-partikel baik yang berukuran besar maupun kecil yang ikut terpompa bersama air sungai. Koagulasi merupakan proses pengolahan air dengan cara pengumpulan seperti partikel koloid akibat adanya penambahan zat koagulan dan proses pengadukan yang cepat. Flokulasi merupakan proses penyisihan kekeruhan air dengan cara pengumpulan partikel untuk dijadikan partikel yang lebih besar (*flok*). Pada tahap ini, partikel-partikel kecil yang terkandung dalam air akan digumpalkan menjadi ukuran yang lebih besar sehingga dapat mengendap dengan sendirinya akibat adanya gaya gravitasi. Sedimentasi merupakan proses pengendapan partikel-partikel *flok* secara alami didasar penampungan akibat adanya gaya gravitasi. Partikel *flok* akan mengendap karena massa jenisnya lebih besar dibandingkan dari unsur lain. Filtrasi merupakan tahapan proses untuk menyaring air yang telah terkoagulasi dan mengendap. Filtrasi berfungsi untuk memisahkan air dengan partikulan seperti Total Suspended Solid (TSS), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) dengan bantuan media berpori. Proses demineralisasi adalah proses penghilangan mineral atau ion-ion mineral dari air.

### 4. Analisis Ekonomi

Evaluasi ekonomi dilakukan untuk mengetahui keuntungan dan kelayakan dalam pendirian pabrik. Beberapa parameter yang harus diperhatikan dapat dilihat dalam tabel 3.

**Tabel 3.** Parameter kelayakan ekonomi pabrik

Parameter	Hasil Perhitungan	Parameter	Kelayakan
<i>Annual Cash Flow</i>	81%	ACF > Bunga bank	Layak



Pay Out Time	1,62 tahun	POT<5 tahun	Layak
Rate of Return	11%	ROR>bunga bank	Layak
Break Event Point	46%	40%<BEP<50%	Layak

Keterangan:

*Pay out time*: lama waktu pengembalian modal beserta pinjaman dan bunga

*Rate of return*: laju pengembalian modal beserta pinjaman dan bunga

*Break event point*: titik impas, Dimana biaya dan keuntungan sama

## 5. Kesimpulan

- Pabrik kalsium karbonat akan didirikan di Kota Bontang, Kalimantan Timur dengan luas lahan 36.427 m<sup>2</sup>
- Pabrik ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari/tahun dengan kapasitas 32.000 ton/tahun
- Bentuk badan usaha pada pabrik ini yaitu PT (Perseroan Terbatas) dengan total karyawan 176 orang
- Pabrik Kalsium Karbonat menggunakan bahan baku batu kapur dan air didapatkan dari tambang batu kapur yang ada di Kalimantan Timur
- Evaluasi ekonomi didapatkan sebagai berikut :
  - a. Annual cash flow (AFC) : 81%
  - b. Pay Out Time (POT) : 1,62 tahun
  - c. Net Profit Over Total Lifetime of the Project (NPOTLP) : Rp. 2 Triliun
  - d. Total Capital Sink (TCS) : Rp. 2 Triliun
  - e. Rate of Return (ROR) : 11%
  - f. Break Event Point (BEP) : 46%

Menurut Evaluasi ekonomi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pabrik kalsium karbonat dengan kapasitas produksi 32.000 ton/tahun layak didirikan.

## Daftar Pustaka

Baasel, W.D., 1976, "Preliminary Chemical Engineering Plant Design", hal. 1-870, Elsevier, New York.

- Brownell, L.E., Young, E.H., 1959, "Process Equipment Design Handbook", *Advances in Applied Science Research*, 3(3), hal. 408.
- Coulson, J.M., Richardson, J.F., 2005, "Chemical Engineering Design", jilid 6, edisi 6, hal. 1-1000, Elsevier, Oxford.
- Fogler, H.S., 1999, "Elements of Chemical Reaction Engineering", jilid 3, edisi 3, hal. 1-940, Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Garinas, W., 2019, "Karakteristik batu kapur dalam negeri untuk bahan baku pendukung pengolahan bijih besi/baja", prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI, Yogyakarta, hal. 33-38.
- Geankoplis, C.J., Richardson, J.F., 1989, "Design Transport Process and Unit Operation", hal. 1-835, Pergamon Press, Singapore.
- Himmelblau, D.M., 1996, "Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering", hal. 1-760, Prentice Hall International, London.
- Kern, D.Q., 1983, "Process Heat Transfer", hal. 1-870, McGraw-Hill, New York.
- Kusnarjo, 2010, "Desain Bejana Bertekanan", hal. 1-200, ITS Press, Surabaya.
- Levenspiel, O., 1999, "Chemical Reaction Engineering", jilid 3, edisi 3, hal. 1-667, John Wiley and Sons, New York.
- Ludwig, E.E., 1997, "Applied Process Design", jilid 1, edisi 3, hal. 1-600, Gulf Professional Publishing, Houston.
- McCabe, W.L., Smith, J.C., Harriott, P., 1999, "Operasi Teknik Kimia", jilid 2, hal. 1-850, Erlangga, Jakarta.
- Perry, R.H., 1997, "Perry's Chemical Engineering Handbook", edisi 7, hal. 1-2640, McGraw-Hill, New York.
- Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., 1996, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers", edisi 4, hal. 1-988, McGraw-Hill, New York.
- Sari, N.K., 2011, "Ekonomi Teknik", hal. 1-300, Andi Offset, Yogyakarta.
- Severn, W.H., Degler, H.E., Miles, J.C., 1954, "Steam, Air and Gas Power", edisi 5, hal. 1-550, John Wiley and Sons, New York.
- Smith, J.M., Van Ness, H.C., 1996, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", edisi 5, hal. 1-800, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.
- Ulrich, G.D., 1984, "A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics", hal. 1-550, John Wiley & Sons, New York.
- Vilbrant, C.O., Dryden, C.E., 1970, "Chemical Engineering Plant Design", edisi 4, hal. 1-780, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo.





- Walas, S.M., 1990, "Chemical Process Equipment", hal. 1-750, Department of Chemical and Petroleum Engineering, University of Kansas, Kansas.
- Wardiana, A.E., Cahyaningrum, S.E., 2019, "Pemanfaatan Batu Kapur Sebagai Bahan Baku Hidroksiapatit", *UNESA Journal of Chemistry*, 8(2), hal. 90-96.
- Yaws, C.L., 1999, "Chemical Properties Handbook", hal. 1-752, McGraw-Hill, New York.

