SKRIPSI

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KLORIN KAPASITAS 30.000 TON / TAHUN

Dibuat untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Kimia pada Universitas Sriwijaya

Christanty

NIM. 03031281621036

Darmawilly Iteh

NIM. 03031281621040

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2020

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KLORIN
KAPASITAS 30.000 TON / TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana

Oleh

Christanty
NIM. 03031281621036
Darmawilly Iteh
NIM. 03031281621040

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Novia, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197311052000032003

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Klorin Kapasitas 30.000 Ton / Tahun" telah dipertahankan oleh Christanty dan Darmawilly Iteh di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 September 2020.

Palembang, September 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T. ( )
   NIP. 195608311984032002
2. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D. ( )
   NIP. 196009091987031004
3. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng. ( )
   NIP. 1671046701900003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

Christanty	**03031281621036**
Darmawilly Iteh	**03031281621040**

Judul:

"PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KLORIN KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN"

Mahasiswa tersebut telah melakukan perbaikan yang diberikan Dosen Penguji dalam sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 September 2020.

Tim Penguji,

1. Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.
2. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.
3. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng.

Indralaya, September 2020

Dosen Pembimbing,

Novia, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197311052000032003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Christanty

NIM : 03031281621036

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Klorin Kapasitas 30.000 Ton/Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Darmawilly Iteh** didampingi pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, September 2020

Christanty

NIM. 03031281621036

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Darmawilly Iteh
NIM	: 03031281621040
Judul Tugas Akhir	: Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Klorin Kapasitas 30.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan	: Teknik/ Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Christanty** didampingi pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, September 2020

Darmawilly Iteh

NIM. 03031281621040

ABSTRAK

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KLORIN
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, September 2020
Christanty dan Darmawilly Iteh;
Dibimbing oleh Novia, S.T., M.T., Ph.D
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik pembuatan klorin berkapasitas 30.000 ton/tahun direncanakan berdiri pada tahun 2025 di Kawasan Industri Cilegon, Kecamatan Citangkil, Cilegon, Banten yang diperkirakan memiliki luas area 5 Ha. Proses pembuatan klorin mengacu pada paten US 2019/0292049 A1, dimana proses yang digunakan adalah oksidasi hidrogen klorida pada reaktor *Multitubular Fixed Bed Reactor* menggunakan katalis RuO_2/TiO_2 pada temperatur 350^oC dan tekanan 3 atm. Bahan baku yang digunakan adalah hidrogen klorida dan oksigen dari udara.

Pabrik yang akan didirikan ini merupakan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line and Staff*, dengan total karyawan 125 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik klorin ini layak didirikan karena telah memenuhi persyaratan parameter ekonomi, yaitu:

- *Total Capital Investment* (TCI) = US $ 51.706.363,098
- *Total Production Cost* (TPC) = US $ 43.638.332,029
- Total Penjualan per Tahun (SP) = US $ 70.235.518,700
- *Annual Cash Flow* (ACF) = US $ 25.041.972,571
- *Pay Out Time* (POT) = 1,8569 tahun
- *Rate of Return on Investment* (ROR) = 41,1511 %
- *Discounted Cash Flow* (DCF) = 60,1995 %
- *Break Even Point* (BEP) = 31,2854 %
- *Service Life* = 11 tahun

Kata Kunci : Hidrogen Klorida, Klorin, Oksidasi, *Multitubular Fixed Bed Reactor*, Analisa Ekonomi

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, tugas akhir yang berjudul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Klorin Kapasitas 30.000 Ton/Tahun" ini dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini dibuat sebagai syarat akhir untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada kami.
2. Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA., selaku ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Novia, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Angkatan 2016 beserta semua pihak yang turut serta dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pembaca.

Indralaya, September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRAK ii
KATA PENGANTAR iii
DAFTAR ISI iv
DAFTAR TABEL vii
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR NOTASI ix
DAFTAR LAMPIRAN xviii

BAB I PEMBAHASAN UMUM 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Sejarah dan Perkembangan 2
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Klorin 3
1.3.1. Metode Reaksi Menggunakan Mangan Klorida 3
1.3.2. Metode Oksidasi Gas Hidrogen Klorida 3
1.3.3. Metode Elektrolisis Natrium Klorida 4
1.4. Sifat Fisika dan Kimia 4

BAB II PERENCANAAN PABRIK 10
2.1. Alasan Pendirian Pabrik 10
2.2. Penentuan Kapasitas Produksi 10
2.3. Pemilihan Bahan Baku 12
2.4. Pemilihan Proses 12
2.5. Uraian Proses 13

BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK 16
3.1. Pemilihan Lokasi Pabrik 16
3.2. Tata Letak Pabrik 18
3.3. Perkiraan Luas Area Pabrik 19

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS 22
4.1. Neraca Massa 22

4.2. Neraca Panas 25

BAB V UTILITAS 29

5.1. Unit Pengadaan *Steam* 29

5.2. Unit Pengadaan *Refrigerant* 30

5.3. Unit Pengadaan Air 30

5.4. Unit Pengadaan Tenaga Listrik 33

5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar 36

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN 38

6.1. *Absober*-01 (AB-01) 38

6.2. *Chiller*-01 (CH-01) 39

6.3. *Heater*-01 (H-01) 40

6.4. *Heater*-02 (H-02) 41

6.5. *Heat Exchanger*-01 (HE-01) 42

6.6. *Heat Exchanger*-02 (HE-02) 43

6.7. Kompresor-01 (K-01) 44

6.8. Kompresor-02 (K-02) 45

6.9. Kompresor-03 (K-03) 46

6.10. *Knock Out Drum*-01 (KOD-01) 47

6.11. *Partial Condenser*-01 (PC-01) 48

6.12. Pompa-01 (P-01) 49

6.13. Pompa-02 (P-02) 50

6.14. Pompa-03 (P-03) 51

6.15. Pompa-04 (P-04) 52

6.16. Reaktor-01 (R-01) 53

6.17. *Stripper*-01 (ST-01) 54

6.18. Tangki-01 (T-01) 55

6.19. Tangki -02 (T-02) 56

BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN 57

7.1. Bentuk Perusahaan 57

7.2. Struktur dan Manajemen Organisasi Perusahaan 57

7.3. Tugas dan Wewenang 59
7.4. Sistem Kerja Karyawan..... ...62
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan 63

BAB VIII ANALISA EKONOMI 69
8.1. Keuntungan (Profitabilitas) 70
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal..... ...71
8.3. Total Modal Akhir 73
8.4. Laju Pengembalian Modal 75
8.5. *Break Even Point* (BEP) 76

BAB 9 KESIMPULAN 79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1. Data Impor Klorin Negara ASEAN 11

Tabel 3.1. Rincian Area Pabrik 19

Tabel 5.1. Rincian Kebutuhan *Steam* 370ºC 29

Tabel 5.2. Rincian Kebutuhan *Refrigerant* 30

Tabel 5.3. Total Kebutuhan Air dalam Pabrik 33

Tabel 5.4. Kebutuhan Listrik Peralatan 33

Tabel 5.5. Total Kebutuhan Listrik Pabrik Klorin..... 35

Tabel 5.6. Total Kebutuhan Bahan Bakar 37

Tabel 7.1. Pembagian Jadwal *Shift* 63

Tabel 7.2. Rincian *Direct Operating Labor* 65

Tabel 7.3. Perincian Jumlah Karyawan 66

Tabel 8.1. *Selling Price*..... 70

Tabel 8.2. Angsuran Pengembalian Modal 72

Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi 78

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Grafik Kebutuhan Klorin Negara ASEAN 2013-2018.....11

Gambar 2.2. Diagram Alir Proses Pabrik Pembuatan Klorin ..... .15

Gambar 3.1. Denah Lokasi Rencana Pendirian Pabrik Klorin ..... .16

Gambar 3.2. Perencanaan Tata Letak Pabrik Klorin.....20

Gambar 3.3. Tata Letak Area Pabrik Klorin.....21

Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan 68

Gambar 8.1. Grafik *Break Even Point* (BEP) 76

DAFTAR NOTASI

1. *ABSORBER* DAN *STRIPPER*

A : Luas penampang *tower*, m^2

a_p : *Specific surface packing*, m^2/m^3

BM : Berat molekul, kg/kmol

C : *Liquid molar density*, $kmol/m^3$

Cc : Ketebalan korosi yang diperbolehkan, in/tahun

C_D : Konstanta empiris *packing, dimensionless*

C_f : Faktor karakteristik *packing, dimensionless*

D_G : Difusifitas gas, m^2/s

D_L : Difusifitas *liquid*, m^2/s

ds : *Spherical diameter*, m

D_T : Diameter *tower*, m

Ej : Efisiensi pengelasan, *dimensionless*

F_G : Koefisien perpindahan massa gas, $kmol/m^2.s$

F_L : Koefisien perpindahan massa *liquid*, $kmol/m^2.s$

G : Laju alir gas masuk, kg/jam

G' : Laju alir gas keluar kolom, kg/jam

H : Tinggi *head packing*, m

: *Holdup correction factor, dimensionless*

H_{AB} : Tinggi *absorber*, m

H_{tG} : Tinggi *transfer unit* fase gas, m

H_{tL} : Tinggi *transfer unit* fase *liquid*, m

H_{toG} : Tinggi *transfer unit* total, m

L : Laju alir *liquid* masuk, kg/jam

L' : Laju alir *liquid* keluar kolom, kg/jam

m : Konstanta empiris *packing, dimensionless*

n : Konstanta empiris *packing, dimensionless*

N_{tOG} : Jumlah *transfer unit* total untuk fase gas, *dimensionless*

OD : Outside *diameter*, m

P : Tekanan operasi, atm

p : Konstanta empiris *packing, dimensionless*

ΔP : *Pressure drop*, atm

r_i : Jari-jari kolom, m

S : *Working stress* yang diizinkan, psi

Sc_G : Bilangan Schmidt untuk gas, *dimensionless*

Sc_L : Bilangan Schmidt untuk *liquid*, *dimensionless*

T : Temperatur operasi, K

t : Tebal dinding *absorber*/*stripper*, m

Z : Tinggi *packing*, m

β : Konstanta *empirical* untuk *velocity flooding*, *dimensionless*

ε : *Void fraction*, *dimensionless*

σ : Tegangan permukaan, dyne/cm

μ_G : Viskositas gas, kg/m.s

μ_L : Viskositas *liquid*, kg/m.s

ρ_G : Densitas gas, kg/m^3

ρ_L : Densitas *liquid*, kg/m^3

φ_L : *Liquid holdup*, m^2/m^3

2. *CHILLER, HEAT EXCHANGER, HEATER, PARTIAL CONDENSER*

A : Area perpindahan panas, ft^2

a_α, a_p : Luas aliran pada *annulus, inner pipe*, ft^2

a_s, a_t : Luas aliran pada *shell* and *tube*, ft^2

a" : *External surface* per lin, ft^2/lin ft

B : *Baffle spacing*, in

C : *Clearence* antar *tube*, in

Cp : *Heat capacity*, kJ/kmol.K

D : Diameter dalam *tube*, in

De : Diameter ekuivalen, in

D_B : Diameter *bundle*, in

D_S : Diameter *shell*, in

f : Faktor friksi, ft^2/in^2

G_a : Laju alir massa fluida pada *annulus*, lb/jam.ft^2

G_p : Laju alir massa fluida pada *inner pipe*, lb/jam.ft^2

G_s : Laju alir massa fluida pada *shell*, lb/jam.ft^2

g : Percepatan gravitasi, ft/s^2

h : Koefisien perpindahan panas, Btu/hr.ft^2.^{o}F

h_1, h_o : Koefisien perpindahan panas fluida dalam dan luar *tube*

ID : *Inside diameter*, ft

j_H : Faktor perpindahan panas, *dimensionless*

k : Konduktivitas termal, Btu/hr.ft^2.^{o}F

L : Panjang tube pipa, ft

LMTD : *Logaritmic Mean Temperature Difference*, ^{o}F

N : Jumlah *baffle*

N_t : Jumlah *tube*

OD : *Outside diameter*, ft

P_T : *Tube pitch*, in

ΔP_T : *Return drop shell*, psi

ΔP_S : Perbedaan tekanan pada *shell*, psi

ΔP_t : Perbedaan tekanan pada *tube*, psi

Q : Beban panas *heat exchanger*, Btu/hr

Rd : *Dirt factor*, hr.ft^2.^{o}F/Btu

Re : Bilangan Reynold, *dimensionless*

s : *Specific gravity*, *dimensionless*

T_1, T_2 : Temperatur fluida panas *inlet*, *outlet*, ^{o}F

t_1, t_2 : Temperatur fluida dingin *inlet*, *outlet*, ^{o}F

Tc : Temperatur rata-rata fluida panas, ^{o}F

tc : Temperatur rata-rata fluida dingin, ^{o}F

Uc, U_D : *Clean overall coefficient*, *Design overall coefficient*, Btu.hr.ft^2.^{o}F

W : Laju alir massa fluida panas, lb/hr

w : Laju alir massa fluida dingin, lb/hr

μ : Viskositas, Cp

3. KOMPRESOR

Cp : *Heat capacity*, kJ/kmol.K

k : Konstanta kompresi

n : Jumlah *stage* kompresi

P_w : *Power* kompresor, hp

P_{in} : Tekanan masuk, atm

P_{out} : Tekanan keluar, atm

T_{in} : Temperatur masuk kompresor, ^oC

T_2 : Temperatur keluar kompresor, ^oC

Q : Kapasitas kompresor, ft^3/menit

Rc : Rasio kompresi, *dimensionless*

V : Laju alir volumetrik, ft^3/menit

W : Laju alir massa, kg/jam

η : Efisiensi kompresor

ρ : Densitas, kg/m^3

4. KNOCK OUT DRUM

A : Luas penampang dalam *vessel*, m^2

A_{min} : Luas permukaan minimum *vessel*, m^2

Cc : Ketebalan korosi yang diperbolehkan, in/tahun

D_{min} : Diameter minimum *vessel*, m

D : Diameter *vessel*, m

Ej : Efisiensi pengelasan, *dimensionless*

h_{Liq} : Tinggi liquid dalam *vessel*, m

h_{tot} : Tinggi *vessel*, m

h_{pad} : Tebal *mesh pad*, ft

k : *Design velocity factor*, *dimensionless*

L_h : Panjang *vessel*, m

P : Tekanan operasi, atm

Q_L : *Liquid volumetric flowrate*, m^3/jam

Q_V : *Vapour volumetric flowrate*, m^3/jam

r_i : Jari-jari kolom, m

S : *Working stress* yang diizinkan, psi

T : Temperatur operasi, K

t : Tebal dinding *vessel*, m

$U_{v\,max}$: Kecepatan uap maksimum, m/s

V_h : Volume *vessel*, m^3

W_L : *Liquid mass flowrate*, kg/jam

W_V : *Vapour mass flowrate*, kg/jam

μ : Viskositas, cP

ρ_L : Densitas *liquid*, kg/m^3

ρ_V : Densitas *vapour*, kg/m^3

5. POMPA

a" : *Flow cross sectional area*, ft^2

BHP : *Brake Horse Power*, HP

D_{opt} : Diameter optimum pipa, in

f : *Fanning friction factor*

: Faktor keamanan

g_c : *Gravitational conversion factor*, ft lbm/lbf s^2

H_{fdis} : Total friksi *discharge*, ft.lbf/lbm

H_{fsuc} : Total friksi *suction*, ft.lbf/lbm

H_{fs} : Friksi pada permukaan pipa, ft.lbf/lbm

H_{fc} : Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft.lbf/lbm

H_{fe} : Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft.lbf/lbm

H_{ff} : Friksi karena *fitting* dan *valve*, ft.lbf/lbm

H_{dis}, H_{suc} : *Head discharge, suction*, ft.lbf/lbm

ID : *Inside diameter*, in

Kc, Ke : *Contraction, expansion contraction*, ft

L : Panjang pipa, ft

L_s : Panjang ekuivalen pipa, ft

MHP : *Motor Horse Power*, HP

m_s : Laju alir massa, kg/jam

NPS : *Nominal Pipe Size*, in

NPSH : *Net Positive Suction Head*, ft.lbf/lbm

OD : *Outside diameter*, in

ΔP : *Differential pressure*, psi

P_{uap} : Tekanan uap, mmHg

P_x : Tekanan di titik tertentu pompa, atm

Qf : Kapasitas pompa, gal/menit

Re : Bilangan Reynold, *dimensionless*

T : Temperatur operasi, K

V_d : *Discharge velocity*, ft/s

V_s : *Suction velocity*, ft/s

W_s : *Total head* pompa, ft.lbf/lbm

ε : *Equivalent roughness*, ft

η : Efisiensi pompa

μ : Viskositas, cP

ρ : Densitas, kg/m^3

6. REAKTOR

A_S : *Shell cross sectional area*, m^2

A_{TCS} : *Tube cross sectional area*, m^2

A_T : *Total tube cross sectional area*, m^2

a" : *Flow area* pipa, m^2

B_{CH} : *Baffle cut height*, m

BM : Berat molekul, kg/kmol

Cc : Ketebalan korosi yang diperbolehkan, in/tahun

Cp : *Heat capacity*, J/kg.^oC

C_{xO} : Konsentrasi mula-mula spesies X, $kmol/m^3$

C_x : Konsentrasi spesies X, $kmol/m^3$

-dP/dL : *Pressure drop across tube*, Pa/m

D_S : Diameter shell, m

D_b : Diameter *bundle*, m

D_{sb} : Diameter clearance, m

d_P : Diameter katalis, m

E : Energi aktivasi, kJ/kmol

Ej : Efisiensi pengelasan, *dimensionless*

F_b : Faktor koreksi *bypass*, *dimensionless*

F_L : Faktor koreksi *leakage*, *dimensionless*

F_n : Faktor koreksi *tube row*, *dimensionless*

F_w : Faktor koreksi *window*, *dimensionless*

F_{xO} : Laju alir molar mula-mula spesies X, kmol/jam

G : *Superficial mass velocity*, kg/(m^2.s)

G_s : *Shell side mass velocity*, kg/(m^2.s)

g_c : *Gravitational conversion factor*, kg.m/N.s^2

$\Delta H_{298\ X}$: Energi pembentukan senyawa X saat 298 K, kJ/kmol

H_{BBT} : *Height between baffle tips*, *m*

H_e : Tinggi *ellipsoidal head*, m

H_R : Tinggi reaktor, m

h_i : Koefisien perpindahan panas *tube*, W/m^2.^{o}C

h_{oc} : Koefisien perpindahan panas ideal *shell*, W/m^2.^{o}C

h_s : Koefisien perpindahan panas aktual *shell*, W/m^2.^{o}C

IDs : Diameter dalam *shell*, m

IPS : *Iron Pipe Size*, in

j_f : Faktor friksi, *dimensionless*

j_H : Faktor perpindahan panas, *dimensionless*

k : Konstanta laju reaksi, m^3/kmol s

: Konduktivitas termal, W/m.^{o}C

K : Konstanta Boltzmann = 1,3806 x 10^{-26} kJ/K

K_{eq} : Konstanta kesetimbangan, *dimensionless*

L : Tinggi reaktor, m

L_b : Sudu *baffle*, m

L_T : Panjang *tube*, m

M_A : Berat molekul A, kg/kmol

M_B : Berat molekul B, kg/kmol

N : Bilangan Avogadro = 6,203 . 10^{23} molekul/mol

N_b : Jumlah *baffle*

N_u : Bilangan Nusselt, *dimensionless*

N_T : Jumlah *tube*

OD : Diameter luar reaktor, m

ΔP_c : *Crossflow Zone Pressure Drop*, atm

ΔP_e : *End Zone Pressure Drop*, atm

ΔP_S : *Pressure drop shell*, atm

ΔP_T : *Pressure drop tube*, atm

ΔP_w : *Window Zone Pressure Drop*, atm

P : Tekanan operasi, bar

P_r : Bilangan Prandtl, *dimensionless*

P_T : *Tube pitch*, m

P'_T : *Vertical tube pitch*, m

Q_f : *Volumetric flowrate*, m^3/jam

r_i : Jari-jari reaktor, m

$-r_A$: Laju reaksi, m^3.jam/kmol

R : Konstanta umum gas = 8,314 kJ/kmol.K

R_e : Bilangan Reynold, *dimensionless*

S : *Working stress* yang diizinkan, psi

t : Tebal dinding reaktor, m

T : Temperatur operasi, K

V_k : Volume katalis, m^3

V_R : Volume reaktor, m^3

V_T : Volume *tube*, m^3

v_T : Kecepatan aliran dalam *tube*, m/s

W : Laju alir massa, kg/jam

W_k : Massa katalis, kg

X : Konversi

σ_A : Diameter molekul A, m

σ_B : Diameter molekul B, m

μ : Viskositas, $N.s/m^2$

ρ_{camp} : Densitas campuran gas, kg/m^3

ρ_k : Densitas katalis, kg/m^3

φ : Porositas katalis

7. TANGKI

Cc : Ketebalan korosi yang diperbolehkan, in/tahun

D_T : Diameter tangki, m

Ej : Efisiensi pengelasan, *dimensionless*

Hh : Tinggi *ellipsoidal head*, m

Hs : Tinggi silinder tangki, m

Ht : Tinggi total tangki, m

OD : Diameter luar reaktor, m

P : Tekanan operasi, atm

r_i : Jari-jari tangki, m

S : *Working stress* yang diizinkan, psi

T : Temperatur operasi, K

t : Tebal dinding tangki, m

Vh : Volume *ellipsoidal head*, m^3

Vs : Volume silinder tangki, m^3

V_T : Volume tangki, m^3

W : Laju alir massa, kg/jam

ρ : Densitas, kg/m^3

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

LAMPIRAN 1. NERACA MASSA 84
LAMPIRAN 2. NERACA PANAS 100
LAMPIRAN 3. SPESIFIKASI PERALATAN 135
LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN EKONOMI 263
LAMPIRAN 5. TUGAS KHUSUS 273

BAB I
PEMBAHASAN UMUM

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri di dunia yang semakin pesat secara langsung mempengaruhi arus produksi barang ataupun jasa dalam berbagai sektor, salah satu sektor yang dimaksud adalah pada industri kimia. Industri kimia merupakan salah satu sektor yang berperan penting dalam industri, karena bahan-bahan kimia dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti kesehatan, lingkungan, dan bahkan dalam industri kimia itu sendiri. Setiap industri memerlukan bahan baku dalam proses pembuatannya, Apabila kebutuhan dari bahan baku dalam suatu industri tidak tersedia di daerah tersebut, maka dapat dipenuhi dengan melakukan impor. Namun, impor yang dilakukan terus menerus dapat berpotensi membebani tingkat pengeluaran ekonomi dari suatu negara tersebut, mengingat potensi peningkatan setiap tahunnya. Salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan impor adalah dengan memproduksi bahan tersebut secara mandiri melalui pembangunan pabrik.

Salah satu bahan kimia yang memiliki banyak kegunaan dalam berbagai sektor adalah senyawa klorin. Klorin dan senyawa turunannya dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan sebagai desinfektan, bahan pemutih (*bleach*), sebagai bahan pestisida, dan bahan baku untuk memproduksi turunan dari senyawa klorin lainnya. Senyawa turunan klorin yang paling sering dimanfaatkan adalah polimer poli-vinil klorida atau PVC sebagai bahan utama dalam pembuatan pipa (Hasan, 2006).

Proses produksi dari klorin pada umumnya dapat dilakukan dengan menggunakan proses elektrolisis atau disebut sebagai proses klor-alkali, selain itu proses produksi klorin dapat dilakukan dengan menggunakan proses oksidasi hidrogen klorida dengan oksigen. Salah satu pabrik yang memproduksi klorin adalah PT. Asahimas Chemical, pabrik ini memproduksi klorin dalam bentuk gas sebagai produk samping dari proses klor-alkali. Klorin dapat dimanfaatkan sebagai bahan intermediet untuk proses selanjutnya, yaitu pembuatan etilen diklorida lalu diolah menjadi monomer vinil klorida (Saputra, 2015). PT. Asahimas Chemical merupakan satu-satunya pabrik produsen klorin di Indonesia, sebagai produk

samping dari proses klor-alkali. Akan tetapi, klorin yang dihasilkan langsung dimanfaatkan untuk proses lebih lanjut, yaitu untuk pembuatan EDC dan PVC. Oleh karena itu, perencanaan pendirian pabrik klorin di Indonesia perlu dipertimbangkan. Pertimbangan ini didasarkan atas meningkatnya impor klorin setiap tahunnya, sehingga pembangunan pabrik ini dapat mengurangi impor komoditi tersebut.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Klorin pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang ahli farmasi yang berasal dari Swedia, Carl Wilhem Scheele pada tahun 1774. Gas klorin tersebut terbentuk dari reaksi antara larutan asam klorida dengan kepingan logam mangan oksida, gas yang dihasilan memiliki warna kuning kehijauan (Hasan, 2006). Proses ini kemudian dikomersialisasikan dengan perkembangan lebih lanjut dan dinamakan proses Weldon, proses ini dilakukan dengan kondisi temperatur sebesar 100-110 ^{o}C. Reaksi dalam proses ini terjadi dalam dua tahap, yaitu pembentukan mangan tetraklorida, lalu terdekomposisi menjadi mangan diklorida dan klorin.

Proses komersialisasi produksi klorin kemudian mengalami perkembangan setelah salah satu ahli kimia di Inggris, Henry Deacon pada tahun 1870 menemukan proses produksi dengan cara mengoksidasikan gas hidrogen klorida dengan udara melalui *bed* katalis pada kondisi operasi 370-400 ^{o}C. Proses produksi dari klorin sendiri kemudian mengalami perkembangan teknologi ditandai dengan penerapan elektrolisis larutan garam atau *brine* dimulai pada 1890 di Jerman (Wisniak, 2002). Pabrik yang memproduksi klorin dengan menggunakan teknologi oksidasi gas hidrogen klorida adalah Sumitomo Chemical di Jepang. Hingga saat ini, mayoritas pabrik yang memproduksi klorin menggunakan teknologi elektrolisis *brine*, seperti BASF, Braskem, DowDuPont, Evoniik, Unipar, dan lain-lain (Vallette dkk, 2018).

Klorin apabila ditinjau berdasarkan kegunaannya, memiliki jangkauan yang luas. Klorin secara langsung dapat berperan sebagai desinfektan pada industri atau instalasi yang bergerak di bidang pengolahan air. Senyawa turunan klorin seperti vinil klorida berperan sebagai bahan untuk membuat polimer polivinil klorida, atau senyawa-senyawa alkil klorida seperti metal- dan etil klorida yang berperan banyak dalam industri cat, makanan, dan kesehatan (Kirk dan Othmer, 1991). Pada sektor industri tekstil, pulp, dan kertas, klorin berperan sebagai zat pemutih (Hasan, 2006).

1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Klorin

Klorin diproduksi secara komersial dalam skala pabrik dengan berbagai metode, antara lain menggunakan metode reaksi dengan mangan klorida, oksidasi dari gas hidrogen klorida, dan elektrolisis (Wisniak, 2002). Metode produksi ini diterapkan seiring perkembangan dari zaman dan menyesuaikan kebutuhan industri.

1.3.1. Metode Reaksi Menggunakan Mangan Korida

Nama lain metode ini adalah Metode Scheele dimana logam mangan oksida direaksikan dengan gas hidrogen klorida yang akan menghasilkan produk akhir berupa mangan klorida, gas klorida, dan air. Reaksi ini berjalan dalam kondisi operasi temperatur 100 hingga 110°C. Metode ini berlangsung dalam dua tahap reaksi, reaksi yang pertama menghasilkan produk berupa mangan tetraklorida dan reaksi tahap kedua mendekomposisi mangan tetraklorida menjadi mangan klorida dan gas klorida (Wisniak, 2002). Reaksi-reaksi ini dapat ditulis sebagai berikut.

MnO_2	+	HCl	→	$MnCl_4$	+	H_2O
(Mangan oksida)		(Asam Klorida)		(Mangan tetraklorida)		(Air)

$MnCl_4$			→	$MnCl_2$	+	Cl_2
(Mangan tetraklorida)				(Mangan klorida)		(Klorin)

1.3.2. Metode Oksidasi Gas Hidrogen Klorida

Proses produksi gas klorida dapat dilakukan menggunakan oksidasi gas hidrogen klorida. Proses ini pertama kali ditemukan oleh Henry Deacon pada tahun 1870 dengan menggunakan reaktan berupa campuran gas hidrogen klorida dalam udara yang dilewatkan ke dalam reaktor dengan *bed* katalis. Katalis tersebut sebelumnya telah direndam di larutan tembaga klorida atau sulfat dan kemudian dikeringkan. Kondisi operasi dari proses ini adalah pada temperatur 370 hingga 400 ^{o}C dengan tekanan atmosferik. Proses produksi ini semuanya berlangsung dalam fase gas dan menghasilkan reaktan yang belum terkonversi, gas klorin, dan air (Wisniak, 2002). Hingga saat ini metode ini digunakan dalam skala industri seperti Sumitomo Chemical, Bayer, dan Shell dengan menggunakan katalis berbasis RuO_2 (Teschner dkk, 2011). Reaksi dalam proses ini dapat ditulis sebagai berikut.

4 HCl	+	O_2	→	2 Cl_2	+	2 H_2O
(Hidrogen Klorida)		(Oksigen)		(Klorin)		(Air)

1.3.3. Metode Elektrolisis Natrium Klorida

Metode ini disebut sebagai klor alkali dimana pada proses ini dilakukan pemecahan dengan menggunakan energi listrik (elektrolisis) larutan natrium klorida. Larutan natrium klorida umumnya didapat dari garam berkualitas industri yang dilarutkan di dalam air. Reaksi dalam proses ini terjadi dalam dua bagian, yaitu pada bagian anoda (reaksi oksidasi) dan bagian katoda (reaksi reduksi), hasil akhir dari proses ini adalah gas klorida, natrium hidroksida (*caustic soda*), dan hidrogen.

Reaksi pada anoda : $2\ Na^+ + 2\ Cl^- \rightarrow\ Cl_2 + 2\ e^-$

Reaksi pada katoda : $H_2O + 2\ e^- \rightarrow\ H_2 + 2\ OH^-$

Reaksi *overall* : $2\ NaCl_{(aq)} + 2\ H_2O_{(l)} \rightarrow Cl_{2\,(g)} + H_{2\,(g)} + 2\ NaOH_{(aq)}$

Proses produksi klorin dan produk-produk reaksi lainnya dalam proses ini memiliki kelemahan, yaitu konsumsi listrik yang sangat tinggi dengan konsumsi rata-rata kurang lebih 3,4 MWh untuk setiap produksi satu metrik ton gas klorin. Konsumsi energi listrik yang besar (lebih dari 50% dari kebutuhan biaya produksi) menjadikan salah satu faktor pertimbangan dalam penerapan proses ini di pabrik selain *cost* yang diperlukan dalam operasi ini (Stolten dan Emonts, 2016). Proses produksi gas klorin dengan menggunakan teknologi elektrolisis dapat dibagi menjadi tiga macam, antar lain *mercury cell*, *membrane cell*, dan *diaphragm cell*.

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Hidrogen Klorida

1) Sifat Fisika

Rumus molekul	: HCl
Berat molekul	: 36,46 g/mol
Wujud	: Gas (dalam bentuk murni)
Warna	: Tidak berwarna
Titik didih	: 188,15 K
Titik beku	: 158,97 K
Tekanan kritis	: 83,09 bar
Temperatur kritis	: 324,65 K
Volume kritis	: 81,02 cm^3/mol
Densitas pada 25^oC	: 0,00149 g/mL (Yaws, 1999)

2) Sifat Kimia

a. Oksidasi

Gas hidrogen klorida dengan oksigen akan bereaksi dan akan menghasilkan produk berupa gas klorin dan uap air. Reaksi ini diterapkan dalam industri penghasil klorin dengan menggunakan nama proses Deacon. Reaksi yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut:

$4\ HCl + O_2 \rightarrow 2\ Cl_2 + 2H_2O$

b. Subtitusi Gugus Alifatik Hidroksil

Alkohol rantai pendek seperti metanol dapat dikonversi menjadi senyawa dengan gugus alkil klorida baik menggunakan katalis cair atau padat. Untuk alkohol dengan rantai yang lebih panjang digunakan katalis seng klorida dan reaksi dalam fase cair. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut.

$ROH + HCl \rightarrow RCl + H_2O$

c. Reaksi dengan Logam

Reaksi HCl dengan kebanyakan logam dapat terjadi, akan tetapi apabila ditinjau secara kinetika berjalan lambat dan dipengaruhi faktor temperatur. Reaksi yang terjadi secara umum dapat ditulis sebagai berikut :

$M + n\ HCl \rightarrow MCl_n + n/2\ H_2$

(Kirk dan Othmer, 1991)

1.4.2. Oksigen

1) Sifat Fisika

Rumus molekul	: O_2
Berat molekul	: 32 g/mol
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
Titik didih	: 90,17 K
Titik beku	: 54,36 K
Tekanan kritis	: 50,43 bar
Temperatur kritis	: 154,58 K

Volume kritis : 73,4 cm^3/mol

Densitas pada 25^oC : 0,001429 g/mL (Yaws, 1999)

2) Sifat Kimia

Oksigen bersifat reaktif terhadap seluruh elemen dalam kimia kecuali golongan gas mulia seperti helium, neon, dan argon. Reaktan tersebut pada umumnya harus diaktivasi dengan cara menggunakan perlakuan berupa pemanasan, hal ini bertujuan agar reaksi dengan oksigen dapat berjalan dengan nilai *rate* yang sesuai (Kirk dan Othmer, 1991).

1.4.3. Nitrogen

1) Sifat Fisika

Rumus molekul : N_2

Berat molekul : 28,013 g/mol

Wujud : Gas (dalam bentuk murni)

Warna : Tidak berwarna

Titik didih : 77,35 K

Titik beku : 63,15 K

Tekanan kritis : 33,94 bar

Temperatur kritis : 126,1 K

Volume kritis : 90,1 cm^3/mol

Densitas pada 25^oC : 0,001132 g/mL (Yaws, 1999)

2) Sifat Kimia

Nitrogen tidak bersifat reaktif pada saat suhu ruangan, akan tetapi akan bereaksi pada kondisi suhu yang tinggi seperti pembentukan gas NO dari reaksi dengan gas oksigen, pembentukan hidrogen sianida dari asetilen, dan produksi utama amoniak dimana nitrogen direaksikan dengan hidrogen.

(Kirk dan Othmer, 1991)

1.4.4. Klorin

1) Sifat Fisika

Rumus molekul : Cl_2

Berat molekul : 70,91 g/mol

Wujud : Gas
Warna : Hijau kekuningan
Titik didih : 239,12 K
Titik beku : 172,12 K
Tekanan kritis : 77,11 bar
Temperatur kritis : 417,15 K
Volume kritis : 123,75 cm^3/mol
Densitas pada 25^oC : 0,0032g/mL (Yaws, 1999)

2) Sifat Kimia

Klorin dalam bentuk molekuler bersifat oksidan yang kuat dan senyawa pengklorinasi. Klorin juga bersifat mengadisi (memecah ikatan rangkap) pada senyawa alifatik ataupun melakukan reaksi subtitusi baik dengan senyawa alifatik ataupun aromatik. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:

$CH_2 = CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl\text{-}CH_2Cl$ (Kirk dan Othmer, 1991)

1.4.5. Air

Rumus molekul : H_2O
Berat molekul : 18,02 g/mol
Wujud : Cair
Warna : Tidak berwarna
Titik didih : 373,15 K
Titik beku : 273,15 K
Tekanan kritis : 220,155 bar
Temperatur kritis : 647,13 K
Volume kritis : 55,95 cm^3/mol
Densitas pada 25^oC : 1 g/mL (Yaws, 1999)

1.4.6. Titanium Oksida (*Rutile*)

Rumus molekul : TiO_2
Berat molekul : 79,87 g /mol
Densitas : 4250 kg /m^3
Wujud : Padat

Titik lebur : 1640 °C

Titik didih : 3000 °C

Specific gravity : 4,26 pada 20°C

Kekerasan : 7-7,5 skala Mohs

(Kirk dan Othmer, 1991; dan Perry, 2008)

1.4.7. Amoniak

1) Sifat Fisika

Rumus molekul : NH_3

Berat molekul : 17,031 g/mol

Wujud : Gas (dalam bentuk murni)

Warna : Tidak berwarna

Titik didih : 239,72 K

Titik beku : 195,41 K

Tekanan kritis : 112,78 bar

Temperatur kritis : 405,65 K

Volume kritis : 72,5 cm^3/mol

Densitas pada 25^oC : 0,00073 g/mL (Yaws, 1999)

2) Sifat Kimia

a. Oksidasi

Amoniak akan mengalami reaksi oksidasi pada suhu yang tinggi, pada umumnya akan menghasilkan produk senyawa nitrogen dan/atau air. Contoh reaksi pada umumnya adalah pembentukan asam nitrat:

$4\ NH_3 + 5\ O_2 \rightarrow 4\ NO + 6H_2O$

$2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$

$3\ NO_2 + H_2O \rightarrow 2\ HNO_3 + NO$

b. Kelarutan dengan Air

Amoniak bersifat mudah larut dalam air dan membentuk senyawa ammonium hidroksida atau disebut sebagai *aqueous ammonia*. Reaksi ionisasi yang terjadi dalam air bersifat *reversible* dan ditulis sebagai berikut.

$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$

Amonium hidroksida dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan pupuk seperti ammonium nitrat (NH_4NO_3), ammonium sulfat [$(NH_4)_2NO_3$], dan ammonium fosfat [$(NH_4)_3PO_4$]. Reaksi pembentukan dari ketiga senyawa tersebut disebut sebagai reaksi netralisasi.

c. Reaksi dengan Karbon Dioksida

Pembentukan urea sebagai pupuk merupakan salah satu proses yang paling umum dalam industri petrokimia. Amoniak direaksikan dengan gas korbon dioksida membentuk senyawa ammonium karbamat, senyawa tersebut kemudian terdekomposisi menghasilkan urea dan uap air. Reaksi yang terjadi secara umum dapat ditulis sebagai berikut :

$2\ NH_3 + CO_2 \rightarrow NH_2CO_2NH_4$

$NH_2CO_2NH_4 \rightarrow NH_2CO_2NH_2 + H_2O$

(Kirk dan Othmer, 1991)

DAFTAR PUSTAKA

Alibaba, 2020. *Product Price*. (Online). https://www.alibaba.com/. (Diakses pada 22 Agustus 2020).

Ariyanto, D. 2007. *Analisis Kebutuhan Air Bersih dan Ketersediaan Air Bersih di IPA Sumur dalam Banjarsari PDAM Kota Surakarta Terhadap Jumlah Pelanggan*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Assegaff, H. D. 2017. *Fixed Bed Reaktor, Fluidized Bed Reaktor, dan Trickle Bed Reaktor*. Surabaya: Universitas Pembangunan Nasional Veteran.

Badan Pusat Statistik Kota Cilegon. 2020. *Jumlah Curah Hujan dan Hari Hujan*. (Online). *https://cilegonkota.bps.go.id/statictable/2016/08/04/104/jumlah-curah-hujan-dan-hari-hujan-menurut-bulan-di-kota-cilegon-2015.html.* (Diakses pada 16 Agustus 2020).

Bank Indonesia. 2020. *Foreign Exchange Rates*. (Online). http://ww.bi.go.id/en/moneter/informasi-kurs/transaksi-bi.aspx (Diakses pada tanggal 21 April 2020).

Bank Indonesia. 2020. *Suku Bunga Pinjaman Yang Diberikan US Dollar Menurut Kelompok Bank dan Jenis Pinjaman (Persen Per Tahun)*. (Online). https://www.bi.go.id/seki/tabel/TABEL1_27.pdf (Diakses pada tanggal 21 April 2020).

Coulson dan Richardson. 2005. *Chemical Engineering Design Volume 6*. Amsterdam: Elsevier

Couper, J. R., Penney, W. R., James, dan Walas, S. M. 2012. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.

Dinas PU. 2018. *Modul Proyeksi Kebutuhan Air dan Indentifikasi Pola Fluktuasi Pemakaian Air*. Jakarta: Dinas Pekerjaan Umum.

Energy Efficiency Guide Asia. 2018. *Electrical Energy Equipment: Lighting*. (Online).*http://www.energyefficiencyasia.org/energyequipment/ee_es_lighting.html.* (Diakses pada 18 Agustus 2020).

Felder, R. M. dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering*. New York: John Wiley and Sons.

Fogler, H. S. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Boston: Pearson Education.

Global Petrol Prices. 2020. *Indonesia Fuel Prices, Electricity Prices*. (Online). https://www.globalpetrolprices.com/Indonesia/. (Diakses pada tanggal 23 Agustus 2020).

Hall, S. M. 2018. *Rules of Thumb for Chemical Engineers.* Amsterdam: Elsevier.

Hasan, A. 2006. Dampak Penggunaan Klorin. *Jurnal Teknologi Lingkungan,* 7(1): 90-96.

Ilmusipil. 2017. *Harga Borong Bangunan per Meter Persegi*. (Online). http://www.ilmusipil.com/harga-borong-bangunan-per-meter-persegi. (Diakses pada tanggal 23 Agustus 2020).

Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer.* New York: McGraw Hill.

Kirk dan Othmer. 1991. *Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Kundari, N. A., Marjanto, D., dan Ardhani, D. W. 2009. Evaluasi Unjuk Kerja Reaktor Alir Tangki Berpengaduk Menggunakan Perunut Radioisotop. *Jurnal Forum Nuklir,* 3(1): 49-60.

Lamudi. 2020. *Harga Tanah di Cilegon*. (Online). https://www.lamudi.co.id/dijual-tanah-luas-18000-m2-di-cilegon.html. (Diakses pada tanggal 23 Agustus 2020).

Li, S., Xin, F., dan Li, L. 2017. *Reaction Engineering*. Amsterdam: Elsevier.

Matches. 2017. *Equipment Cost Index*. (Online). http://www.matche.com/equipcost.html. (Diakses pada tanggal 23 Agustus 2020).

McCabe, W. L., Smith, J. C., dan Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition.* New York: McGraw-Hill.

PDAM Cilegon. 2020. *Tarif Pelanggan*. (Online). www.pdamcilegon.co.id/tarif-pelanggan111. (Diakses pada tanggal 23 Agustus 2020).

Perry, R. H. dan Green, D. W. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition*. New York: McGraw - Hill.

_____. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th Edition*. New York: McGraw - Hill.

Peter, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. New York: McGraw Hill Company.

PSE. 2017. *Multitubular Reactors*. (Online). https://www.psenterprise.com/sectors/chemicals/reaction/cases/multitubular-reactors. (Diakses pada 29 Agustus 2020).

Saputra, I. 2015. *Studi Proses Produksi Polyvinyl Chloride (PVC) pada PT. Asahimas Chemical Cilegon*. Depok: Universitas Indonesia.

Shi, J., Hui, F., Yuan, J., Yu, Q., Mei, S., Zhang, Q., Li, J., Wang, W., Yang, J., dan Lu, J. 2019. Ru-Ti Oxide Based Catalysts for HCl Oxidation: The Favorable Oxygen Species and Influence of Ce Additive. *Catalysts*, 9(108): 1-15.

Smith, J. M. 1970. *Chemical Engineering Kinetics*. Boston: McGraw Hill.

_____. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.

SNI 03-6197-2000 tentang Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan.

Stolten, D. dan Emonts, B. 2016. *Hydrogen Science and Engineering: Materials, Processes, Systems and Technology*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Teschner, D., Farra, R., Yao, L., Schlögl, R., Soerijanto, R., Schomäcker, R., Schmidt, T., Szentmiklósi, L., Amrute, A. P., Mondelli, C., Ramirez, J. P., Leruth, G. N., dan Lopez, N. 2011. An Integrated Approach to Deacon Chemistry on RuO_2-based Catalysts. *Journal of Catalysis*, 285(2012): 273-284.

Till, Z., Varga, T., Reti, J., dan Chovan, T. 2017. Optimization Strategies in a Fixed-Bed Reactor for HCl Oxidation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(18): 5352-5359.

Towler, G. dan Sinnott, R. 2008. *Chemical Engineering Design*. Amsterdam: Elsevier

Treybal, R. E. 1980. *Mass-Transfer Operation 3rd Edition.* New York: McGraw-Hill.

Ulrich, G. D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons.

UN Comtrade. 2019. *The United Nations Commodity Trade Statistics Database.* Online.https://data.un.org/Data.aspx?q=chlorine&d=ComTrade&f=_l1Code%3a29%3bcmdCode%3a280110. (Diakses pada tanggal 11 Februari 2020).

US Patent No. US 2007/0274896 A1. Bulan, A., Diekmann, H., Ruffert, G., dan Hallenberger, K. 2007., *Processes for Hydrogen Chloride Oxidation using Oxygen.*

US Patent No. US 2019/0292049 A1. Murakami, M., Kuwamoto, H., dan Iwata, K. 2019., *Method for Producing Chlorine by Oxidation of Hydrogen Chloride.*

US Patent No. WO 2011111351/A1. Junichi, N., dan Yasuhiko, M. 2011., *Method for Producing Chlorine using Fixed Bed Reactor.*

Vallette, J. 2018. *Chlorine and Building Materials: A Global Inventory of Production Technologies, Markets, and Pollution*. Washington D.C. : Healthy Building Network.

Vilbrandt, F. C. dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. New York: McGraw-Hill.

Watson, T. W. dan Robinson, H, E. 1963. *Thermal Conductivity of a Sample of Type 316 Stainless Steel*. Maryland: U. S. Department of Commerce.

Welty, J. R., Wicks, C. E., Wilson, R. E., dan Rorrer, G. L. 2000. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*. New York: John Wiley & Sons.

Wijana, S. 2012. *Perancangan Pabrik: Penentuan Lokasi Pabrik*. Malang: Universitas Brawijaya.

Wisniak, J. 2002. The History of Chlorine: From Discovery to Commodity.*Indian Journal of Chemical Technology*, 9(1): 450-463.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.