

**ANALISIS PENGARUH KERAK MINERAL PADA
PERPINDAHAN PANAS EVAPORATOR SEMI-
*KESTNER QUINTUPLE EFFECT***

WAHYU TRIAJI RAHADIANTO

94220007



TESIS

Untuk memperoleh gelar Magister dalam bidang Ilmu Teknik Kimia pada
Universitas Muhammadiyah Palembang

Dengan wibawa Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang

Dipertahankan pada tanggal 22 Februari 2022 Di Universitas Muhammadiyah Palembang

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG**

2022

**ANALISIS PENGARUH KERAK MINERAL PADA
PERPINDAHAN PANAS EVAPORATOR SEMI-
KESTNER QUINTUPLE EFFECT**

TESIS

**NAMA : WAHYU TRIAJI RAHADIANTO
NIM : 061540411904**

**Disetujui untuk disampaikan kepada Panitia Penguji
Pada Tanggal 22 Februari 2022**

Pembimbing 1,

**Dr. Ir. Eka Sri Yusmartini, M.T.,IPM
NIDN. 0004046101**

Pembimbing 2,

**Dr. Mardwita, S.T., M.T.
NIDN. 0023038208**

Mengetahui



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Wahyu Triaji Rahadiano
NIM : 061540411904
Program Studi : Teknik Kimia

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik Magister Pendidikan baik di Universitas Muhammadiyah Palembang maupun di perguruan tingga lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing.
3. Didalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Palembang, Februari 2022

Yang membuat pernyataan,



(Wahyu Triaji Rahadiano)

ABSTRAK

Analisis Pengaruh Kerak Mineral Pada Perpindahan Panas Evaporator

Semi-Kestner Quintuple Effect

(Wahyu Triaji Rahadiano, 2021, 50 Lembar, 3 Tabel, 17 Gambar, 9 Lampiran)

Indonesia sebagai negara berpenduduk besar amat berpotensi menjadi salah satu konsumen gula terbesar di dunia. Kebutuhan gula nasional Indonesia sebesar 3,2 juta ton pertahun sementara produksi dalam negeri sekitar 2 juta ton. Pada industri gula manfaat dari alat evaporator adalah untuk mengentalkan nira (*clear juice*) yang angka kekentalannya 7 – 11 °Brix menjadi nira yang terkentalkan (*syrup*) dengan angka kekentalan 55 - 60 °Brix, proses ini terjadi melalui proses evaporasi kadar air terkandung material. Di pabrik gula Pratama Nusantara Sakti jenis evaporator yang digunakan adalah evaporator tipe *Semi-Kestner* dengan prinsip *quintuple effect*. Salah satu tantangan terbesar dari evaporator adalah turunnya nilai kalor dari evaporator dikarenakan timbulnya kerak mineral yang menghambat perpindahan panas. Pada tanggal 7 September 2021 Q evaporator 1 ada di angka 135874.8 Kw dan pada tanggal 26 Oktober 2021 Q evaporator 1 ada di angka 121399.2 Kw. Penulis menyimpulkan bahwa perpindahan panas yang menurun juga berarti menurunkan kinerja evaporator dalam menguapkan air dari material nira (*clear juice*) yang pada akhirnya membuat lajur alir akhir material semakin besar. Penulis menyarankan untuk melakukan *pembersihan mekanikal* ataupun *pembersihan kimiawi* per 28 hari proses penggilingan berlangsung agar dapat menghilangkan kerak pada *tube calandria* evaporator.

Kata kunci : industri gula, evaporator, kerak mineral

ABSTRACT

Analysis of Heat Transfer on the Effect From Mineral Crust in Evaporator

Semi-Kestner Quintuple Effect

(Wahyu Triaji Rahadianto, 2021, 50 Sheets, 3 Tables, 17 Images, 9 Attachment)

Indonesia as a large population country has the potential to become one of the largest consumers of sugar in the world. Indonesia's national sugar needs amounted to 3.2 million tons per year while domestic production was around 2 million tons. In the sugar industry the benefits of evaporator tools are to thicken nira (clear juice) whose dissolved solid number is 7 - 11 °Brix into a thickened nira (syrup) with a dissolved solid of 55 - 60 °Brix, this process occurs through the process of evaporation of water content contained in the material. In the Pratama Nusantara Sakti sugar factory the type of evaporator used is a Semi-Kestner type evaporator with the quintuple effect principle. One of the biggest challenges of evaporators is the decrease in heat value of the evaporator due to the onset of mineral crust that inhibits heat transfer. On September 7th, 2021 Q evaporator 1 is at 135874.8 Kw and on October 26th, 2021 Q evaporator 1 is at 121399.2 Kw. The author concluded that decreased heat transfer also means lowering evaporator performance in evaporating water from the material nira (clear juice) which ultimately makes the final flow lane of the material even greater. The author recommends mechanical cleaning or chemical cleaning per 28 days the milling process takes place in order to remove the mineral crust on the evaporator calandria tube.

Keywords : sugar industry, evaporator, mineral crust

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan ridho-Nya penulis diberi kemudahan dan kelancaran dalam menulis tesis ini tepat waktu yang berjudul “Analisis Pengaruh Kerak Mineral Pada Perpindahan Panas Evaporator *Semi-Kestner Quintuple Effect*”.

Penulis menyusun laporan ini berdasarkan hasil pengamatan dan data-data yang diperoleh saat melakukan tesis. Dalam melaksanakan tesis ini penulis telah banyak menerima bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT dan Rasulullah SAW yang senantiasa memberikan ridho dan jalan dalam setiap langkah.
2. Dr. Abid Djazuli, S.E., M.M. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Palembang
3. Dr. Sri Rahayu SE.,M.M selaku Direktur Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Palembang.
4. Dr. Kgs. A. Roni, ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palembang.
5. Dr. Ir. Elfidiah, M.T. selaku Ketua Jurusan Program Magister Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang.
6. Dian Kharismadewi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Program Magister Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang.
7. Dr .Ir. Eka Sri Yusmartini, M.T. selaku Pembimbing I yang senantiasa membimbing dan memberikan motivasi yang sangat luar biasa untuk menyelesaikan tesis.
8. Dr. Mardwita, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan arahan dan tujuan sehingga dapat menyelesaikan tesis ini.
9. Seluruh Bapak/Ibu dosen, dan Administrasi di Jurusan Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang.
10. Kepada Bapak dan Amak yang selalu ada dan membantu ku sepanjang hidup ini.

11. Kepada Ara sebagai penyemangat paman dikala lelah.
 12. Kepada Mbak Anti dan Kak Asep, Kak Anto dan Ayuk Diah yang telah menyemangati saya sepanjang perkuliahan magister ini
- Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar tesis ini dapat menjadi lebih baik.

Penulis pun berharap agar tesis ini dapat bermanfaat dan memberikan inspirasi untuk melakukan penelitian lebih lanjut, khususnya bagi rekan – rekan di Jurusan Teknik Kimia Universitas Muhammadiyah Palembang dan semua pihak yang membaca penelitian ini.

Palembang, Februari 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Gula Tebu.....	3
2.2 Proses Pembuatan Gula	5
2.2.1 Pemurnian Nira	5
2.2.1.1 Proses Defekasi.....	5
2.2.1.2 Proses Sulfitasi.....	5
2.2.1.3 Proses Karbonatasi.....	6
2.2.2 Penguapan.....	6
2.2.3 Pengkristalan.....	7
2.2.4 Pengeringan.....	7
2.3 Pengertian Evaporasi	7
2.4 Evaporator	9
2.4.1 Robert Evaporator	10
2.4.2 Kestner Evaporator.....	11
2.5. Prinsip Evaporator Jamak (<i>Multiple Effect</i>)	12
2.5.1 Kondensat.....	14
2.5.1.1 Steam Trap	14
2.5.1.2 Pompa Kondensat	15
2.5.1.3 Siphon (Pipa Bengkok)	16
2.5.1.4 Flash Pots	17
2.6. Evaporator <i>Semi-Kestner Quintuple Effect</i>	19
2.6.1 Kondisi Operasi Optimum Evaporator.....	21
2.6.2 Faktor Penyebab Turunnya Kondisi Optimum Evaporator	22
2.6.2.1 <i>Incondensable Gas</i>	22
2.6.2.2 Pengeluaran <i>Incondensable Gas</i>	23
2.7 Separator	25
2.8 Kerak Pada Calandria Evaporator	28
2.9 Pembersihan Calandria Evaporator	31

2.9.1 Pembersihan mekanikal	31
2.9.2 Pembersihan kimiawi.....	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Waktu dan Tempat	35
3.2 Bahan dan Alat	35
3.3 Variabel Penelitian.....	36
3.4 Prosedur Penelitian	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil dan Pembahasan.....	40
4.1.1 Data Hasil Perhitungan Perpindahan Panas Evaporator <i>Semi-Kestner Quintuple Effect</i>	40
4.1.2 Data Hasil Perhitungan Total Air Yang Diuapkan.....	41
4.1.3 Data Hasil Perhitungan Kapasitas Evaporator (<i>Heating Surface</i>)	43
4.1.4 Data Hasil Perhitungan Kandungan CaO Pada Nira (<i>Clear Juice</i>)	44
4.1.5 Data Kandungan Silika (SiO ₂) Pada <i>Feed Water</i>	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN I	50
LAMPIRAN II.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1	Kandungan Zat Kimia Pada Susunan Tebu.....	4
2.2	Koefisien Perpindahan Panas Evaporator Jamak.....	13
2.3	Metode Ekstraksi Kondensat dari Evaporator Berdasarkan Kondisi	14
2.4	Komponen Utama Pembentuk Kerak Dan Pembersihannya	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Tanaman Tebu	3
2.2 Struktur Ikatan Sukrosa	4
2.3 Robert Evaporator	10
2.4 Kestner Evaporator dan Separator	12
2.5 <i>Multiple Effect Evaporator</i>	14
2.6 <i>Steam Trap</i>	15
2.7 <i>Siphon</i>	17
2.8 <i>Flash Pots</i>	18
2.9 <i>Condensate Flash Tank</i>	19
2.10 <i>Quintuple Effect Evaporator</i>	20
2.11 <i>Semi-Kestner Quintuple Effect</i>	21
2.12 Pipa Pembuangan Gas yang Tidak Terkondensasi (<i>Incondesable Gas</i>)	24
2.13 Pipa Gas yang Tidak Terkondensasi Untuk Kondisi Vakum	25
2.14 Separator Tipe Standar & Separator Tipe Payung	25
2.15 Separator Tipe Sentrifugal & Separator Tipe S.G.C.	26
2.16 Kisi – kisi	27
2.17 Penyusunan Formasi Kisi – Kisi	27
2.18 Kerak <i>Calandira</i> Evaporator	30
2.19 Pembersihan Mekanikal <i>Calandria</i> Evaporator	32
2.20 <i>Chemical Spray</i>	33
3.1 Diagram Alir Penelitian	39
4.1 Grafik Perpindahan Panas Evaporator <i>Semi-Kestner Quintuple Effect</i>	40
4.2 Grafik Perbandingan Total Air Yang Diuapkan Terhadap Waktu	41
4.3 Grafik Perbandingan Laju Akhir Material Terhadap Waktu	42
4.4 Grafik <i>Heating Surface</i> Evaporator <i>Semi-Kestner Quintuple Effect</i>	43
4.5 Grafik Perbandingan Kandungan CaO Terhadap Waktu	44
4.6 Grafik Perbandingan pH Terhadap Waktu	45
4.7 Grafik Perbandingan Kandungan Silika SiO ₂ Terhadap Waktu	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses penguapan merupakan proses penting didalam pembuatan gula. Pada dasarnya permintaan panas di pabrik gula terjadi pada proses pemanasan nira, evaporasi, dan kristalisasi. Semua proses diatas dibutuhkan untuk proses produksi, namun evaporasi ditekankan dalam aspek integrasi termal karena merupakan proses dengan konsumsi energi terbesar. Evaporator merupakan suatu alat yang digunakan untuk proses evaporasi.

Pada industri gula manfaat dari alat evaporator adalah untuk mengentalkan nira (*clear juice*) yang angka kekentalannya 7 – 11 °Brix menjadi nira yang terkentalkan (*syrup*) dengan angka kekentalan 55 – 60 °Brix, proses ini terjadi melalui proses evaporasi kadar air terkandung material. Di pabrik gula Pratama Nusantara Sakti jenis evaporator yang digunakan adalah evaporator tipe *Semi-Kestner* dengan prinsip *quintuple effect*. Tekanan tiap evaporator dibuat menurun agar titik didih larutan nira menurun pula dengan cara *me – vacuum* kan tekanan pada evaporator nomor 3, 4, dan 5. Penggunaan metode *vacuum* ini disebabkan oleh uap / *steam* yang masuk ke tiap badan evaporator semakin berkurang tekanannya dari evaporator 1 ke evaporator 2 dan seterusnya, hal ini dikarenakan telah terjadinya perpindahan panas, dan bertemu hambatan lainnya.

Oleh karena pentingnya proses evaporasi terhadap proses produksi, maka akan dikaji ulang proses penguapan sehingga dapat dianalisa perpindahan panas yang terjadi. Analisis dilakukan secara termodinamika dan perpindahan panas sehingga diketahui nilai *overall heat transfer coefficient* yang dihitung menggunakan dua metode yang berbeda yaitu metode Dessel dan metode koefisien konveksi, selain itu dihitung luasan perpindahan panas kemudian dianalisis parameter-parameter yang berpengaruh terhadap °brix, serta mengetahui faktor – faktor penghambat perpindahan panas yang terjadi dalam evaporator.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan, maka perumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana terjadinya penurunan volume dan temperatur uap air (*vapour*) pada proses penguapan evaporator
2. Bagaimana terbentuknya dan pengaruh kotoran / kerak di *calandria* terhadap perpindahan panas pada evaporator.
3. Bagaimana kinerja evaporator terhadap jumlah air yang teruapkan dari material nira.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah :

1. Menganalisis kinerja evaporator terhadap perpindahan panas yang terjadi.
2. Menganalisis penurunan volume dan temperatur uap air pada proses penguapan evaporator.
3. Menganalisis pengaruh kandungan CaO dan SiO didalam nira pada pembentukan kerak di calandria evaporator.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini bagi penulis, masyarakat luas, dan dunia pendidikan antara lain :

1. Memberikan pengetahuan tentang perpindahan panas evaporator
2. Menjadi referensi untuk perawatan alat evaporator pada saat *off – season* pada pabrik gula
3. Dengan menggunakan alat evaporator tipe *Semi-Kestner* dengan prinsip *quintuple effect* akan memberikan proses penguapan yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Chantasiriwan, Somchart (2016) “*Simulation of Quadruple-Effect Evaporator with Vapor Bleeding Used for Juice Heating*” Thailand : International Journal of Food Engineering Vol. 2, No. 1.
- Doherty, (2000) “*Pembersihan kimiawi of Sugar Mill Evaporator*”. *Sugar Cane Technology*.22, 341 – 346.
- Halim K, Rapidoor (1973) “Clarifier dalam Industri Gula”, Yogyakarta : LPP Yogyakarta
- Hugot E, (1960) “*Hand Book of Cane Sugar Engineering*” , Amsterdam : Elsevier Publising Company.
- Joharman, Tomando (2006) “Studi Pengaruh Suhu dan Lama Evaporasi Pada Proses Pemekatan Gelatin”, Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Jones, A; Pozzetti C. (2000) “*Evaporator Performance Monitoring at Farleigh Mill. Proc. Aus. Soc. Sugar Cane Technol.* 22, 334 -330.
- L. M. M. Jorge, J. R. Righetto, P. A. Polli, O. A. A. Santos, and R. M. Filho, (2010) “*Simulation and analysis of a sugarcane juice evaporation system,*” *Journal of Food Engineering*, vol. 99, pp. 351-359.
- L. Webre,,(1979), “*Philipines Sugar Technology*” *Sugar Cane Technology, Philipines, International Sugar Journal.*, 41 (1939) 218.
- M. Higa, A. J. Freitas, A. C. Bannwart, and R. J. Zemp, (2009) “*Thermal integration of multiple effect evaporator in sugar plant,*” *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 515-522.
- Maya, (2014). “Pengaruh Ph Nira Tebu dan Konsentrasi Penambahan Kapur terhadap Kualitas Gula Merah”. *Jurnal Pangan dan Argoindustri*. Volume.2 No.3
- Perwitasari, Dyah, (2010) “*Phospat Acid and Flocculan Added in Juice Sugar Crystall Process*” Jawa Timur : *Jurnal Teknik Kimia* Vol.4, No.2, April 2010

Purnomo , Edi , (1994) “Susu Kapur Bening untuk Pra Defikasi Nira Gilingan”
Pasuruan : Majalah Penelitian Gula Indonesia, P3GI

Rein, P.W., (2007) “*Cane Sugar Engineering*”, *South Africa, Bosh Project*

Respati , (1977) “Pengantar Kimia Organik II” , Jakarta : Aksara Baru Jakarta.

S. Chantasirwan, (2015) “*Optimum surface area distribution in cocurrent multiple-effect evaporator,*” *Journal of Food Engineering*, vol. 161, pp. 48-54.

S. M. Bapat, V. S. Majali, and G. Ravindranath, (2013) “*Exergetic evaluation and comparison of quintuple effect evaporation units in Indian sugar industries,*” *International Journal of Energy Research*, vol. 37, pp. 1415-1427.

Soenardi Djojoprano R, (1977) “Pesawat-pesawat Industri Gula”, Yogyakarta : LPP Yogyakarta.

Soerjadi, (1977) “Peranan Komponen Batang Tebu dalam Pabrikasi Gula”
Yogyakarta : LPP Yogyakarta