

Pra Desain Pabrik *Di-(Palmitic Carboxyethyl) Hydroxyethyl Methyl Ammonium Methyl Sulfate* (Esterquats) Surfaktan Berbasis *Fatty Acid*

Fadlilatul Taufany, Merisa Veronika Suparto, Nadhifa Auria Andini, dan Ali Altway
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: f_taufany@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Surfaktan (Surface Active Agent) merupakan molekul kimia dengan karakteristik yang dapat menurunkan tegangan permukaan antara dua fasa cairan berbeda berdasarkan sifat kepolarannya. Esterquat adalah senyawa surfaktan kationik berbahan baku minyak kelapa sawit yang mengandung ion amonium kuaterner sebagai bagian hidrofilik-nya. Esterquat secara signifikan telah menggantikan surfaktan pendahulunya (dimethyl disteril) karena memiliki karakteristik yang lebih mudah terurai secara hayati dan menunjukkan tingkat toksisitas yang rendah. Esterquat dapat digunakan sebagai bahan aktif pelembut (softener) dan produk personal care, diproduksi dengan cara proses esterifikasi dan kuaternisasi. Pabrik *Di-(Palmitic Carboxyethyl) Hydroxyethyl Methyl Ammonium Methyl Sulfate* (Esterquat) Surfaktan Berbasis *Fatty acid* direncanakan dengan kapasitas produksi sebesar 30.000 ton per tahun didirikan di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei, Sumatera Utara karena dekat dengan sumber bahan baku, tersedianya fasilitas penunjang, transportasi dan tenaga kerja. Berdasarkan analisa neraca massa dan neraca energi, pabrik ini membutuhkan bahan baku *Fatty acid* 2111,03 sebanyak kg/jam, triethanolamine sebanyak 667,49 kg/jam, HPA sebanyak 4,22 kg/jam, DMS sebanyak 533,31 kg/jam, dan IPA sebanyak 277,6 kg/jam. Sedangkan untuk low pressure steam sebanyak 103,184 kg/jam, medium pressure steam sebanyak 468,39 kg/jam, dan cooling water sebanyak 34966,59 kg/jam. Pengolahan *fatty acid* menjadi esterquat melalui 2 tahap reaksi utama, yaitu tahap esterifikasi dan tahap quaternisasi. Tahap esterifikasi merupakan tahap pembentukan esteramine dari reaksi antara *fatty acid* dan triethanolamine pada reaktor batch dengan tingkat konversi mencapai 99% yang beroperasi dengan tekanan 0,2 bar dan temperatur 170°C. Sedangkan tahap quaternisasi merupakan tahap pembuatan esteramine secara batch dari reaksi esteramine dan dimetil sulfat (DMS) reaktor batch untuk mencapai konversi reaksi 91,4%. Hasil dari tahap quaternisasi merupakan esterquat dengan konsentrasi 84% w/w. Pabrik ini membutuhkan investasi awal Rp 828.939.202.144 dimana setelah proses konstruksi 2 tahun dan produksi 15 tahun, didapatkan nilai IRR 17.580%, Pay Out Time 5.86 tahun, dan WACC sebesar 9,318%.

Kata Kunci—Esterquats, Esterifikasi, *Fatty acid*, Quaternisasi, Surfaktan.

I. PENDAHULUAN

ESTERQUAT merupakan jenis surfaktan kationik yang digunakan sebagai bahan aktif pelembut (softener) dan personal care product [1]. Surfaktan (Surface Active Agent) merupakan molekul kimia dengan karakteristik yang dapat menurunkan tegangan permukaan antara dua fasa cairan berbeda berdasarkan dari sifat kepolarannya. Pada umumnya, surfaktan merupakan turunan dari minyak kelapa sawit, minyak hewani, petrokimia, dan minyak bumi. Surfaktan dari turunan kelapa sawit akan lebih mudah terdegradasi secara alami melalui proses hidrolisis sehingga tidak akan

Tabel 1.

Data Supply-Demand Esterquat

Tahun	Produksi (TPA)	Konsumsi (TPA)	Ekspor (TPA)	Impor (TPA)
2012	20.000	871,8	-	-
2013	20.000	938,0	-	-
2014	20.000	993,4	-	-
2015	20.000	1033	112.200	159.400
2016	20.000	1099,7	212.400	301.000
2017	20.000	1155	100.200	141.600
2018	20.000	-	146.520	141.200
Rata-rata kenaikan	-	4,970	0,275691	0,118646

menimbulkan pencemaran lingkungan dibandingkan dengan surfaktan turunan petrokimia dan minyak bumi.

Menurut Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), kebutuhan surfaktan di Indonesia pada tahun 2008 adalah 95 ribu ton per tahun dengan kapasitas produksi dalam negeri adalah 55 ribu ton per tahun sehingga sebagian kebutuhan surfaktan dalam negeri saat ini masih bergantung impor surfaktan berbasis minyak bumi. Hal ini juga diperkuat dengan fakta bahwa hanya terdapat satu pabrik esterquat surfaktan di Indonesia, yaitu PT Clariant Indonesia yang telah diakuisisi oleh PT Global Amine. Produksi esterquat di Indonesia saat ini hanya mencapai 20.000 ton/tahun. Selama ini, kebutuhan Esterquat Indonesia dipenuhi dengan pembelian impor dari luar negeri.

Produksi esterquat surfaktan dapat menjadi stimulan bagi Indonesia untuk mengembangkan aplikasi produk hilir sawit ke berbagai jenis industri. Peningkatan permintaan esterquat tidak diiringi dengan peningkatan produksi sehingga menyebabkan produksi dalam negeri belum dapat memenuhi kebutuhan pasar di Indonesia. Sehingga analisa pasar esterquat dilakukan untuk mengetahui minat pasar terhadap produk esterquat yang akan dijual. Hal ini didasarkan pada data ekspor, impor serta kebutuhan dalam negeri untuk produk kationik surfaktan. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) dari tahun 2017-2021 yang menunjukkan terjadi peningkatan kebutuhan ekspor dan impor [2]. Lalu berdasarkan data dari suatu perusahaan konsultan perdagangan Euromonitor International, terjadi peningkatan konsumsi dari negara-negara internasional kurang lebih 4,9% dari tahun 2012-2017. Data Supply-Demand Esterquat dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan data dari BPS dan beberapa literatur, terdapat gap antara *supply* dan *demand* dari produksi *esterquats* di Indonesia. Diprediksi pada tahun 2026, *demand esterquats* di Indonesia mencapai 1.029.608 ton per tahun, sedangkan *supply esterquats* pada tahun tersebut adalah 366.239 ton per tahun. Oleh karena itu, kapasitas produksi pabrik *esterquats* ini ditetapkan sebesar 30.000 ton per tahun.

Tabel 2. Spesifikasi Bahan Baku Fatty Acid

Parameter	Nilai
Chemical Formula	C ₆ H ₁₅ NO ₃
Molecular weight (kg/kmol)	149.19
pH	10.5-11.5
Appearance	Liquid Yellow
Titik lebur/titik beku (°C)	20.5°C
Titik didih awal (°C)	335.4
Titik nyala (°C)	179°C
Density uap	5.15
Density (g/cm ³) pada 20°C	1.124
Evaporation Rate	0.01
Auto-ignition Temperature (°C)	324
Triethanolamine (%)	99
Water (%)	1

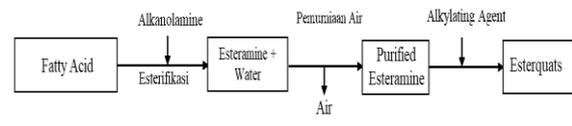
Tabel 3. Spesifikasi Esterquats

Parameter	Nilai
Chemical Formula	C ₈ H ₁₆ NSO ₄ (RCOO) _n
pH	3-5
Titik didih (°C)	> 100°C
Titik leleh (°C)	43
Density (g/cm ³)	0.993 at 23°C
Viscosity (cP)	240 at 23°C
Water Solubility	Tidak larut
Monoesterquat (%)	20%
Diesterquat (%)	40%
Triesterquat (%)	Max. 22%
Esteramine (%)	Max. 8
FFA (%)	Max. 1
Solvent (IPA) (%)	8%
Others	1%

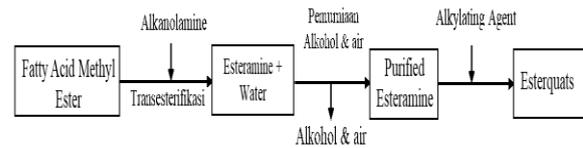
Esterquat dapat diproduksi berdasarkan dari bahan baku yang digunakan. Bahan baku yang dapat digunakan untuk proses produksi esterquat adalah trigliserida, *fatty acid*, dan *Fatty acid Methyl Ester* (FAME). Bahan baku minyak trigliserida dapat diperoleh dari minyak inti kelapa sawit atau disebut juga dengan *Crude Palm Oil* (CPO). Sedangkan bahan baku *fatty acid* dan FAME merupakan produk turunan CPO yang dilakukan pengolahan lebih lanjut. Perkembangan kedua bahan baku ini dapat merujuk pada data dari Kementerian Perindustrian (2014), rata-rata pertumbuhan ekspor *fatty acid* sebesar 3,52% dan FAME sebesar 27,72% [3]. Sedangkan *fatty acid* mengalami rata-rata kenaikan impor sebesar 118,93% dan FAME mengalami penurunan rata-rata impor. Oleh karena itu, CPO, *fatty acid*, dan FAME berpeluang untuk diolah menjadi produk turunan yang mempunyai harga jual lebih tinggi. Hal ini juga berperan untuk mendukung program hilirisasi industri kelapa sawit di Indonesia.

Penentuan lokasi pabrik merupakan satu hal penting dalam perancangan pabrik karena akan mempengaruhi risiko dan keuntungan perusahaan secara keseluruhan. Suatu lokasi pabrik dikatakan ideal jika lokasi yang dipilih dapat menunjang kelancaran operasional pabrik dan kegiatan usaha yang terjadi di dalamnya. Lokasi pabrik akan mempengaruhi biaya tetap (*fix cost*) maupun biaya variabel (*variable cost*), baik dalam jangka menengah maupun jangka panjang.

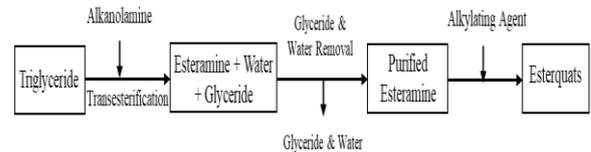
Terdapat dua faktor penting yang harus diperhatikan dalam menentukan lokasi pabrik, yaitu faktor utama dan faktor khusus. Faktor utama merupakan faktor yang akan memengaruhi penyediaan bahan baku, pemasaran (*marketing*), utilitas (bahan bakar, air, dan listrik), keadaan geografis, dan sumber daya manusia. Sedangkan faktor



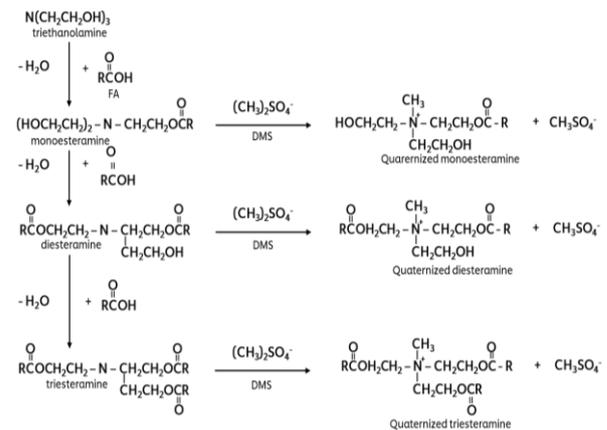
Gambar 1. Jalur Produksi Esterquat Dari Fatty Acid Based.



Gambar 2 Jalur Produksi Esterquat Dari Fame Based.



Gambar 3. Jalur Produksi Esterquat Dari Triglyceride Based.



Gambar 4. Mekanisme Reaksi Keseluruhan Proses Produksi Esterquat.

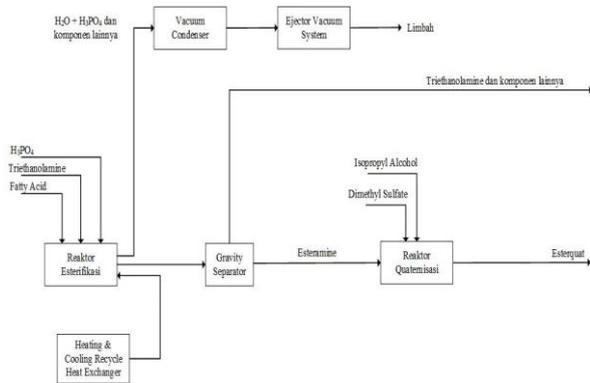
khusus merupakan faktor yang akan memengaruhi sarana transportasi, tenaga kerja, upah minimum regional (UMR), buangan pabrik (*waste disposal*), pembuangan limbah, letak serta karakteristik lokasi dan peraturan perundang-undangan. Dengan menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP) didapatkan lokasi pendirian pabrik *Esteruqtas* berada di Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Sei Mangkei, Simalungun, Sumatera Utara.

Bahan baku utama *Fatty acid* diperoleh dengan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 2. Diharapkan produk surfaktan esterquat yang akan dihasilkan memiliki spesifikasi dapat dilihat Pada Tabel 3.

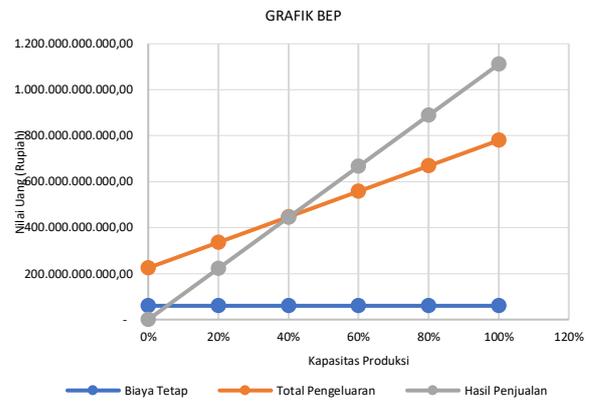
Esterquat dapat diproduksi melalui dua tahap reaksi, reaksi tahap pertama untuk pembentukan produk *intermediate* yaitu senyawa esteramine, sedangkan reaksi tahap kedua untuk pembentukan produk akhir yaitu esterquat.

A. Tahap Pembentukan Esteramine

Pada tahap pertama terdapat dua jenis reaksi bergantung pada bahan baku yang digunakan, yaitu reaksi esterifikasi atau transesterifikasi beserta adanya katalis. Reaksi esterifikasi yang merupakan reaksi tahap pertama dalam proses produksi esterquat dapat terjadi jika bahan baku yang digunakan berupa *fatty acid*. Sedangkan reaksi transesterifikasi yang juga merupakan reaksi tahap pertama dalam proses produksi esterquat dapat terjadi jika bahan baku



Gambar 5. Blok Diagram Proses Produksi Esterquat.



Gambar 6. Grafik Biaya FC, VC, SVC dan S.

Tabel 4.

Data Biaya Fc, Vc, Svc Dan S

No.	Keterangan	Jumlah (Rp)
1	Biaya Tetap (FC)	Rp 59.890.857.355
	Biaya Variabel (VC)	
2	a. Bahan Baku	Rp 468.959.357.547,14
	b. Utilitas	Rp 77.943.209.905,79
	c. Royalty	Rp 7.794.320.990,58
	Sub-Total	Rp 554.696.888.443,51
	Biaya Semivariabel (SVC)	
3	a. Gaji Karyawan	Rp 7.537.843.624,13
	b. Pegawai	Rp 753.784.362
	c. Pemeliharaan dan Perbaikan	Rp 14.091.966.436
	d. Operating Supplies	Rp 1.409.196.644
	e. Laboratorium	Rp 753.784.362
	f. Pengeluaran Umum	Rp 62.354.567.925
	g. Plant Overhead Cost	Rp 77.943.209.905,79
	Sub-Total	Rp 164.844.353.259,48
4	Total Penjualan (S)	Rp 1.110.425.465.727,00

yang digunakan adalah *Fatty acid Methyl Ester (FAME)* atau bahan baku trigliserida [4].

1) *Reaksi Esterifikasi*

Reaksi esterifikasi adalah reaksi menggunakan bahan baku *fatty acid* dan alkanolamine dengan penambahan katalis untuk membentuk senyawa esteramine. Katalis yang umumnya ditambahkan dalam proses esterifikasi ini adalah katalis homogen asam seperti asam para toluene sulfonate, asam fosfor, asam hipofosfor, asam oksalat dan asam sulfat [5]. Proses esterifikasi dengan katalis homogen asam dapat terjadi pada rentang temperatur 160 – 180°C dalam kondisi vakum 1,3 – 200 mbar dan dengan dosis katalis 0.01 – 0.15% [6]. Umumnya reaksi esterifikasi ini berjalan selama kurang lebih 4-6 jam tergantung pada kondisi operasi yang dipilih. Produksi esterquat berbahan baku *fatty acid* akan menghasilkan produk akhir dan produk samping berupa air. Secara umum reaksi alkanolamine dengan gugus asam karboksilat dari *fatty acid* merupakan reaksi kondensasi *irreversible*, sehingga air kondensasi perlu dihilangkan untuk mencapai konversi reaksi ke kanan sesuai dengan hukum kesetimbangan reaksi. Proses yang terjadi untuk menghilangkan air dari reaksi esterifikasi adalah melalui simple distillation, evaporasi, dan proses pemisahan membrane [7]. Selain itu, proses penghilangan air dapat melalui proses stripping dengan gas inert seperti nitrogen. Karena titik didih rata-rata komponen senyawa alkanolamine di atas kondisi temperatur operasi, sehingga *fatty acid* berlebih merupakan opsi untuk mengatasi adanya kandungan alkanolamine di dalam produk akhir surfaktan. Untuk menghindari waktu reaksi yang terlalu lama karena reaktan

alkanolamine yang belum bereaksi secara sempurna, maka dilakukan proses vakum hingga level tertentu. Jalur produksi Esterquat dari *Fatty Acid Based* dapat dilihat pada Gambar 1.

2) *Reaksi Transesterifikasi*

Produksi esterquat melalui tahapan transesterifikasi tidak berbeda jauh dengan tahapan esterifikasi, di mana *fatty acid* digantikan oleh *Fatty acid Methyl Ester (FAME)* yang akan ditransesterifikasi dengan triethanolamine untuk menghasilkan esteramine dan kemudian dilanjutkan reaksi kuaterner dengan alkylating agent. Selain menggunakan bahan baku FAME, reaksi transesterifikasi dapat berlangsung dengan menggunakan trigliserida [8]. Perbedaan utama dari reaksi esterifikasi dan transesterifikasi adalah katalis yang digunakan. Dalam proses esterifikasi, katalis yang digunakan adalah asam. Sedangkan dalam proses transesterifikasi, katalis yang digunakan adalah basa.

Pada umumnya, katalis yang digunakan untuk reaksi transesterifikasi FAME atau trigliserida adalah potassium hydroxide dan sodium methylate. Proses transesterifikasi FAME dengan triethanolamine berlangsung pada rentang temperature 80-170°C dengan kondisi vakum 200 mbar dan lama waktu reaksi adalah 2.25-6 jam [9]. Kondisi operasi pada proses transesterifikasi FAME tidak boleh melebihi 185°C karena titik didih FAME berada pada rentang tersebut, sehingga akan berakibat pada konversi produk dan warna produk yang dihasilkan. Jalur produksi esterquat berbasis FAME akan menghasilkan produk samping berupa methanol dan air. Karena proses transesterifikasi juga merupakan reaksi kondensasi *irreversible*, sehingga produk samping tersebut perlu dihilangkan melalui proses alcohol dan water removal. Proses penghilangan kandungan impurities ini dapat berlangsung dengan melalui simple distillation atau evaporasi yang dibantu dengan kondisi vakum. Air dan alcohol harus dihilangkan karena merupakan komponen yang tidak diinginkan dalam produk akhir surfaktan. Alkohol dapat menimbulkan iritasi jika digunakan pada produk surfaktan, produk Cosmetics and Personal Care (CPC), dan produk home care. Jalur Produksi Esterquat dari Fame based dapat dilihat pada Gambar 2.

Sedangkan proses transesterifikasi triglyceride dengan triethanolamine berlangsung pada rentang temperatur 120-180°C dengan lama waktu reaksi adalah 1-12 jam dan pada kondisi tekanan atmosfer [10]. Jalur produksi esterquat berbasis triglyceride akan menghasilkan produk samping berupa triglyceride, diglyceride, dan monoglyceride, serta air.

Proses produksi esterquat dari trygliceride memiliki keuntungan karena triglyceride atau kombinasi triglyceride dan *fatty acid* dapat digunakan sebagai bahan baku pengganti *fatty acid* karena dapat mengurangi biaya produksi yang mahal dari bahan baku *fatty acid*. Bahwa campuran bahan baku *fatty acid* dengan triglyceride dapat memperbesar selektivitas produk [11].

Meskipun dari aspek ekonomi harga bahan baku triglyceride lebih terjangkau dibandingkan dengan *fatty acid* dan FAME, tetapi dalam proses pemurniaan produk samping yang terbentuk dari reaksi triglyceride akan lebih sulit sehingga memerlukan biaya yang lebih besar dibandingkan dengan bahan baku *fatty acid* dan FAME. Hal ini dikarenakan, titik didih glyceride tinggi sehingga sulit untuk dilakukan proses pemisahan. Oleh karena itu, proses produksi esterquat dari triglyceride sangat jarang ditemui. Jalur produksi esterquat dari triglyceride based dapat dilihat pada Gambar 3.

B. Tahap Pembentukan Esterquat

Tahap terakhir dalam produksi produk esterquat adalah tahap quaternisasi. Reaksi quaternisasi terjadi antara gugus amine tersier esteramine dengan alkylating agent. Reaksi quaternisasi merupakan reaksi reversible dengan satu-satunya produk berupa esterquat. Esterquat yang terproduksi terdiri dari mono, di, dan tri-esterquat. Alkylating agent yang umumnya digunakan dalam beberapa paten dan penelitian adalah DMS (*dimethyl sulfate*). Reaksi quaternisasi berjalan dalam kondisi operasi temperatur 80-100°C dan dengan lama waktu reaksi sekitar 4 jam [12].

Pelarut alcohol yang umumnya digunakan pada proses produksi esterquat ini adalah isopropyl alcohol (IPA) dan dipropylene glycol. Akan tetapi, pada proses produksi esterquat ini akan digunakan pelarut berupa isopropyl alcohol atau solvent alcohol berantai pendek. Hal ini dikarenakan, jenis pelarut akan berdampak pada kualitas produk terutama pada kualitas warna. *Isopropyl alcohol* tidak memberikan dampak warna yang signifikan pada produk dibandingkan dengan jenis pelarut lainnya [13]. Penambahan pelarut dilakukan sebelum penambahan alkylating agent ke dalam reaktor agar menjaga campuran reaksi tetap berada dalam fasa cair.

Kemudian dilakukan pengadukan bahan baku untuk mempercepat reaksi. Diperlukan tangki berpengaduk dengan sedikitnya dua pengaduk (blade) di atas permukaan untuk mencegah terbentuknya gel dan di dalam campuran reaksi liquid untuk homogenisasi reaksi dan panas temperatur reactor. Dalam kebanyakan kasus, pH dari produk reaksi mendekati kisaran stabilitas optimum yang berarti bahwa tidak diperlukan penyesuaian pH pada produk akhir [14]. Setelah reaksi terjadi, disarankan untuk menghancurkan zat alkilasi yang tidak bereaksi dengan dilakukan penambahan zat seperti ammonia, amina (alkanol), asam amino atau oligopeptide[15]. Alkylating agent akan menjadi racun bagi produk akhir Cosmetic and Personal Care (CPC) dan surfaktan. Mekanisme reaksi keseluruhan proses produksi esterquat dapat dilihat pada Gambar 4.

Dalam pemilihan proses terdapat beberapa pertimbangan bahan baku, kondisi operasi, produk samping, yield, katalis, dan aspek ekonomi. Dengan menggunakan metode AHP didapatkan uraian proses yang digunakan pada pabrik ini

menggunakan bahan baku *Fatty Acid – C16C18 Based*.

II. URAIAN PENELITIAN

Proses yang dipilih dalam desain pabrik ini menggunakan proses Esterifikasi dan Quaternisasi yang merupakan produksi Esterquats. Proses produksi tersebut terbagi ke dalam 2 proses tahapan, yaitu tahapan proses produksi *Esteramine* sebagai produk intermediat dan tahapan proses produksi *Esterquats* sebagai produk akhir.

A. Tahapan Proses Produksi Esteramine

Fatty acid sebagai bahan baku utama pada proses produksi esterquat surfaktan disimpan pada tangki penyimpanan (V-120). Selain berfungsi sebagai tangki penyimpanan *fatty acid*, V-120 juga berfungsi sebagai pemanas dengan meningkatkan suhu dari keadaan atmosfer menuju temperature 60°C. Tujuan tahapan pemanasan *fatty acid* pada tangki V-120 adalah menjaga agar *fatty acid* berada pada fase liquid dan mempercepat waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur reaksi esterifikasi yang berada pada temperature 170°C. Media pemanas yang digunakan pada tangki V-120 adalah *Low Pressure Steam* (LPS) dengan tekanan 3 bar dimana LPS akan berubah menjadi kondensat (*steam condensate*). Proses pemanasan ini memerlukan waktu kurang lebih 1 jam.

Sebelum memasukkan feed reaktan kedalam reaktor esterifikasi (R-140), perlu dipastikan bahwa reaktor esterifikasi dalam keadaan bersih dan kosong. *Fatty acid* yang telah dipanaskan pada tangki V-120 dipompa dengan menggunakan pompa (P-121) menuju reaktor esterifikasi (R-140) bersamaan dengan proses *purging* nitrogen N₂. Proses *purging* nitrogen bertujuan untuk memastikan tidak ada oksigen dan pengotor lainnya di dalam reaksi, sehingga menurunkan risiko adanya percikan api pada reaktor saat beroperasi. Kemudian Triethanolamine dari tangki penyimpanan V-130 dipompa dengan menggunakan P-131 menuju reaktor R-140. Proses pengisian feed reaktan triethanolamine juga bersamaan dengan proses *purging* nitrogen kembali. Sedangkan katalis hypophosphorous acid (HPA) dari tangki V-110 dialirkan secara gravitasi menuju aliran masuk *fatty acid*.

Proses esterifikasi dilakukan di reaktor (R-140) yang dilengkapi dengan cooling jacket untuk menjaga suhu reaktor agar tetap berada di rentang suhu 170°C. Reaksi esterifikasi antara *fatty acid* dengan triethanolamine menghasilkan tiga produk utama yaitu mono-esteramine, di-esteramine, dan tri-esteramine dengan produk samping berupa air. Reaktan yang telah tercampur kemudian akan dipanaskan dengan sistem *heating recycle* di E-142. Proses pemanasan reaktan di E-142 berlangsung dari suhu reaktan 51°C menjadi 170°C. Setelah temperature feed campuran di dalam reaktor mencapai 170°C, reaksi esterifikasi dijalankan secara batch dalam kondisi vacuum 0,2 bar selama 4 jam disertai pengadukan 150 rpm.

Proses esterifikasi dilakukan pada reaktor (R-140) yang dilengkapi dengan cooling jacket. Reaksi berjalan selama kurang lebih 4 jam dengan konversi sebesar 99%. Kemudian, temperature dan pressure dipertahankan selama kurang lebih 4 jam atau hingga acid value dari esteramine mencapai < 5mg

KOH g⁻¹. Selama proses reaksi berlangsung, produk samping berupa air ikut terbentuk bersamaan dengan terbentuknya esteramine (intermediate produk).

Produk samping air yang terbentuk harus dihilangkan untuk mencegah terjadinya reaksi berkebalikan yang mengarah ke pembentukan ulang reaktan. Hal ini dikarenakan reaksi esterifikasi antara fatty acid dan triethanolamine merupakan reaksi kesetimbangan, sehingga dilakukan proses *water removal* untuk mempercepat reaksi mengarah ke pembentukan produk (reaksi *forward*). Steam ejector (SP-144) digunakan untuk menciptakan kondisi vakum di dalam reaksi sehingga mampu menguapkan air yang terbentuk selama reaksi berlangsung. Vapor yang terbentuk selama proses reaksi di reaktor (R-140) akan dihilangkan melalui proses vakum. Uap air, katalis, dan beberapa komponen lainnya yang terbentuk akan tervakum menuju condenser (E-143). Komponen yang teruapkan akan terkondensasi di vacuum condenser, sedangkan non-condensable gas yang tidak terkondensasi (nitrogen) akan diteruskan menuju ke steam ejector (SP-144).

Kemudian, intermediate produk yang dihasilkan akan didinginkan dari suhu 170°C menjadi 60°C dengan cooler E-148. Proses pendinginan ini memerlukan waktu selama 1 jam. Kemudian, dilanjutkan dengan proses pengosongan reaktor R-140. Esteramine yang terbentuk dari reaktor R-140 akan ditransfer menuju ke *gravity separator* V-150, untuk dilakukan proses pemisahan TEA dan esteramine. Proses pemisahan terjadi karena kedua senyawa ini tidak saling larut (*immiscible solution*) dengan density TEA adalah 1,13 dan density esteramine 1,38. TEA merupakan *light component* yang akan keluar melalui *top outlet* sedangkan Esteramine merupakan *heavy component* yang akan keluar melalui *bottom outlet*.

B. Tahapan Proses Produksi Esterquat

Esteramine yang telah terpisahkan dengan komponen triethanolamine akan dipompa dengan pompa P-151 A/B menuju ke hold up tank V-160. Hold up tank berfungsi sebagai tangki tunggu sebelum memasuki reaktor quaternisasi. Selama proses charging raw material dimethyl sulfate dan isopropyl alcohol di mixing tank reactant TK-240 berlangsung, intermediate produk akan disimpan terlebih dahulu di hold up tank. Dimethyl Sulfate (DMS) sebagai alkylating agent dari tangki penyimpanan TK-210 dipompa menuju ke mixing tank reactant TK-240. Kemudian diikuti dengan Isopropyl Alcohol (IPA) dari tangki TK-220 akan dipompa dengan pompa P-221 A/B menuju ke reaktor quaternisasi R-230. Proses charging raw material diiringi dengan blanketing nitrogen di dalam reaktor, sehingga dapat dipastikan tidak terdapat oksigen yang dapat mengoksidasi dan menimbulkan bahaya selama proses reaksi berlangsung.

Kemudian esteramine dari hold up tank V-160 akan dipompa dengan pompa P-161 A/B menuju mixing tank reactant (TK-240). Proses charging seluruh raw material berlangsung selama kurang lebih 3 jam. Reaktan campuran di dalam tangki TK-240 yang memiliki suhu campuran 52°C akan dipompa dengan pompa P-241 A/B menuju heat exchanger E-242. Pre-heating reaktan dilakukan untuk menaikkan temperature reaktan dari 52°C menjadi 60°C. Setelah suhu reaktan mencapai suhu yang diinginkan, campuran reaktan akan dialirkan menuju reactor secara gravitasi dari E-242 menuju reactor quaternisasi R-230. Kemudian, reaksi akan berjalan di dalam reaktor dengan

bantuan pengadukan 100 rpm dan dengan mempertahankan suhu reaksi 60°C selama kurang lebih 6 jam. Reaktor quaternisasi R-230 beroperasi dengan tekanan 1 atm. Reaktan esteramine dibuat berlebih (esteramine excess) agar dimethyl sulfate dapat terkonversi sepenuhnya menjadi esterquats. Hal ini dikarenakan untuk menghindari adanya senyawa sulfate dalam produk akhir esterquats.

Perbandingan molar esteramine dan dimethyl sulfate adalah 1:1, tetapi perbandingan *fatty acid* dan dimethyl sulfate adalah 362.3:65.3, sehingga didapatkan esteramine sebagai excess reaktan. Reaksi quaternisasi dapat dianggap selesai apabila final produk esterquats memiliki ≤ 0.05 mg KOH g⁻¹ sampel kandungan amina dalam esterquat tercapai. Produk esterquats surfaktan yang terproduksi akan dilakukan pengecekan secara laboratorium untuk mengetahui kualitas produk agar sesuai dengan standar parameter perusahaan. Kemudian final produk yang dihasilkan akan dipompa menuju ke cooler E-233 untuk didinginkan dari temperature reaksi 60°C menjadi 30°C. Setelah dilakukan proses pendinginan, produk dapat ditransfer menuju tangka penyimpanan akhir produk TK-240. Gambar 5 merupakan blok diagram proses produksi Esterquat dari *Fatty acid*.

III. NERACA MASSA

Pada perhitungan neraca massa, ditetapkan basis perhitungan sebagai berikut:

1. Kapasitas Produksi = 30.000 Ton/Tahun
2. Waktu Operasi = 330 hari/tahun
3. Jam Operasi = 24 jam/hari
4. Basis Waktu = 1 jam

Perhitungan neraca massa dan energi dilakukn secara terus-menerus hingga mencapai konvergensi. Pada pabrik Esterquats Surfaktan dengan menggunakan bahan baku *Fatty acid* sebanyak 2111,03 kg/jam, triethanolamine sebanyak 667,49 kg/jam, *hypophosphorous acid* sebanyak 4,22 kg/jam, *dimethyl sulfate* sebanyak 533,31 kg/jam dan *isopropanol* sebanyak 277,6 kg/jam sehingga dapat memproduksi final produk Esterquats Surfaktan sebanyak 3436,30 kg/jam.

IV. ANALISA EKONOMI

Analisa ekonomi merupakan salah satu parameter apakah suatu pabrik tersebut layak didirikan atau tidak. Untuk menentukan kelayakan suatu pabrik secara ekonomi, diperlukan perhitungan bahan baku yang dibutuhkan dan produk yang dihasilkan menurut neraca massa, harga peralatan untuk proses berdasarkan spesifikasi peralatan. Selain itu, juga diperlukan analisa biaya untuk produksi, utilitas, jumlah dan gaji karyawan, serta pengadaan lahan untuk pabrik. Faktor – faktor yang perlu ditinjau untuk memutuskan hal ini adalah:

1. Nilai bersih saat ini, Net Present Value (NPV)
2. Laju pengembalian modal (internal rate of return, IRR)
3. Waktu pengembalian modal minimum (pay out time, POT)
4. Titik impas (break even point, BEP)

A. Nilai Bersih Saat Ini, Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) merupakan perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas yang masuk dan nilai sekarang dari arus kas keluar pada sebuah waktu periode. Jika bernilai positif maka mengindikasikan pabrik memiliki nilai investasi

positif. NPV dihitung dari nilai WACC (*Weight Average Cost Capital*). Dari hasil perhitungan analisa keonomi menggunakan WACC sebagai *discount factor* sebesar 9.318%, maka didapatkan Net Present Value bernilai positif sebesar Rp 515.287.817.185,19. Hal ini menandakan bahwa pabrik Esterquats Surfaktan layak didirikan dan dapat menghasilkan keuntungan.

B. Laju Pengembalian Modal (*Internal Rate Of Return, IRR*)

Internal Rate of Return berdasarkan *discounted cash flow* merupakan tingkat bunga tertentu penerimaan akan dapat menutup seluruh jumlah modal. Hasil perhitungan analisa ekonomi menunjukkan bahwa hasil *Internal Rate of Return (IRR)* sebesar 17.58%. Nilai IRR yang didapatkan melebihi nilai WACC yang juga dibuktikan oleh nilai NPV bernilai positif, sehingga menandakan bahwa pendirian pabrik Esterquats Surfaktan layak untuk dilakukan.

C. Waktu Pengembalian Modal Minimum (*Pay Out Time, POT*)

Pabrik esterquat ini memiliki investasi sebesar Rp 883.311.230.973 berada pada data tahun 5-6. Kemudian dilakukan interpolasi linear untuk mendapatkan waktu pengembalian modal (POT) sebesar 5.86 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa investasi yang dilakukan dalam pembangunan pabrik Esterquats Surfaktan membutuhkan waktu 6.05 tahun untuk mengembalikan modal awal.

D. Titik impas (*break even point, BEP*)

Break Event Point (BEP) atau titik impas merupakan salah satu analisa yang digunakan untuk mengetahui kapasitas produksi pabrik disaat total biaya produksi sama dengan total hasil penjualan. BEP dapat ditinjau dengan menggunakan data biaya tetap (*Fixed Charge, FC*), biaya variabel (*Variabel Cost, VC*), dan biaya semi variabel (*Semi Variabel Cost, SVC*). FC merupakan biaya yang harus tetap dikeluarkan dengan beroperasi atau tidak beroperasinya proses produksi pabrik.

Dengan data tabel 4 dan menggunakan persamaan (1), didapatkan bahwa kapasitas pabrik minimum agar pabrik tidak rugi berada pada kapasitas sebesar 43.939%.

$$BEP = \frac{FC + 0.3 SVC}{S - 0.7 SVC - VC} \times 100\%$$

Berdasarkan Tabel 4 dapat dibuatkan Grafik Grafik Biaya FC,VC,SVC dan S dapat dilihat pada Gambar 6.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil desain dan tinjauan pabrik, maka dapat disimpulkan bahwa Pabrik Esterquats Surfaktan dari *Fatty acid* dan Triethanolamine akan dibangun dengan perencanaan operasi *continue*, selama 24 jam/hari, 330 hari/tahun, kapasitas produksi 30.000 Ton/Tahun, umur pabrik 15 Tahun, dan masa konstruksi 2 Tahun. Bahan baku

yang digunakan menggunakan bahan baku *fatty acid* dengan kebutuhan 2111,029 kg/tahun, dan lokasi pabrik berada di Kawasan Ekonomi Khusus SEI Mangkei, Sumatera Utara. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, didapatkan nilai IRR sebesar 17.58% yang berada di atas nilai suku bunga pinjaman bank (7,9%) dan nilai WACC (9.318%). Jangka waktu pengembalian modal (POT) adalah tahun 5.86, lebih kecil dari waktu pengembalian modal yang ditetapkan pemberi pinjaman (10 tahun). Kemudian perhitungan NPV yang menunjukkan NPV bernilai positif sebesar Rp 515.287.817.185,19. Hasil analisa ekonomi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pabrik Esterquats Surfaktan layak untuk didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Krister Holmberg, "Preparation Applications and Biodegradability," 2nd ed. United States: CRC Press, 2003, pp. 1–648. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203911730>.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Statistik Kesejahteraan Indonesia 2017," Badan Pusat Statistika: Jakarta, 2017.
- [3] Kementerian Perindustrian, "Profil Industri Oleokimia Dasar dan Biodiesel," Kementerian Perindustrian: Jakarta, 2014.
- [4] H. A. Aziz, M. K. Aroua, R. Yusoff, N. A. Abas, Z. Idris, and H. A. Hassan, "Production of palm-based esteramine through heterogeneous catalysis," *J Surfactants Deterg*, vol. 19, no. 1, pp. 11–18, Jan. 2016, doi: 10.1007/s11743-015-1736-0.
- [5] A. Trius, J. Bigorra, and J. Pmares, "Process for Preparing Quaternary Ammonium Compounds for Used as Fabric Softeners," Patent Application Publication, US, 4,982,00, 1991.
- [6] H. A. and I. Z. Aziz, "Milder Process for the Production of Palm-Based Esterquats," in *AGRIS: International Information System for the Agricultural Science and Technology*, Malaysia, 2017.
- [7] J. Maslanka, O. Springer, D. Schuch, and R. Klein, "Betaines with Special Fatty Acid Chain Distribution," International Application Published Under Patent Cooperation Treaty (PCT), US, US Patent 9,963,425 B2, 2018.
- [8] Butika, Renata., Bernhardt, Randall Jay., Kovach, Elizabeth Sarah "Esterquat Composition," International Application Published Under Patent Cooperation Treaty (PCT), US, WO 2020/014659 A1 (2020).
- [9] H. Abdul Aziz, I. Abu Zainab, and H. Hassan, "Transesterification of palm stearin methyl ester and triethanolamine: an alternative technology for esterquats production," *Int J Appl Sci Technol*, vol. 4, no. 7, 2014.
- [10] Bigorra Liosas et.al, "Process for the Production of Esterquats," Patent Application Publication, US, US 2002/0002298 AI (2002).
- [11] X. Yang, X. Wang, H. Henning Wenk, M. an der Ruhr, J. Wang, and L. Bao, "Preparation Method for Esterquats Based on Oil," Patent Application Publication: US, Patent Application Publication, WO 2020/000172 A1 (2020).
- [12] B. Pi Boleda, C. M. Pey Butierres, J. Sobrevias Alabau, and B. Nogues Lopez, "Quaternary Ester Ammonium Compound Compositions," International Application Published Under Patent Cooperation Treaty (PCT), US, WO 2022/136700 (2022).
- [13] S. C. John, A. Fox, and P. Dekock, "Fatty Acid Esters of Alkanolamines and Their Use as Softening Agents," US Patent US 2007/0265469 A1 (2007).
- [14] K. Holmberg, B. Jonsson, B. Kronberg, and B. Lindman, *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*, 2nd ed. New York: 2003, 2003.
- [15] O. P. Obiols, N. Bonastre, and J. B. Llossas, "BASF Personal Care and Nutrition GmbH," Patent Application Publication, US, US 2003/0143181 A1, 2003.