



JURNAL REKAYASA PROSES

Research article / Vol. 14, No. 2, 2020, hlm. 148-159

Journal homepage: <http://journal.ugm.ac.id/jrekpros>



Optimasi Biaya dalam Proses Pemurnian Metanol untuk Mengurangi Resin sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun di PT Kaltim Methanol Industri

Reno Imam Arthapersada¹, Muhammad Kurniawan Adiputra.¹, Indra P. Hakim¹, Imam Karfendi Putro¹, Asep Zainuddin¹, Lisendra Marbelia², dan Ahmad T. Yuliansyah^{2*}

¹PT. Kaltim Methanol Industri, Komplek Kaltim Industrial Estate, Bontang, Kalimantan Timur

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*Alamat korespondensi: atawfieq@ugm.ac.id

(Submisi: 7 September 2020; Revisi: 26 September 2020; Penerimaan: 28 September 2020)

ABSTRACT

Purification process of raw methanol from its impurities to produce pure methanol at PT. Kaltim Methanol Industri (PT KMI) is carried out by several steps, including degassing, distillation, and adsorption. One of the impurities, tri methyl amine (TMA), could be removed by adding NaOH. Another method to remove TMA is conducted by adsorption process on ion exchange resin on the vessel called TMA catchpot. The TMA catchpot performance is very crucial in methanol purification process. Thus, monitoring and optimization are required to be performed regularly. Once the TMA catchpot resin has exhausted, the performance will be drop and methanol purification could not be done efficiently. Furthermore, the ion exchange resin should be replaced with new resin. This study evaluates the performance of the TMA catchpot during the charge of 2010, 2012, and 2016, calculates the NaOH consumption during operational time, and optimizes the cost. Resin regeneration option was introduced and compared with the conventional method (i.e. resin replacement). Economic evaluation shows that the lowest annual cost could be obtained by fresh resin replacement every 4 years and resin regeneration every 2 years. Resin regeneration option gives not only annual cost reduction, but also positive impact to the environment, by decreasing the amount of hazardous waste (i.e. spent resin) significantly.

Keywords: ion exchange resin; methanol purification; regeneration; tri methyl amine

ABSTRAK

Proses pemurnian metanol mentah (*raw*) dari pengotornya untuk menghasilkan metanol murni di PT. Kaltim Methanol Industri (PT KMI) dilakukan melalui beberapa tahapan antara lain *degassing*, distilasi dan adsorpsi. Salah satu zat pengotor adalah *tri methyl amine* (TMA) yang dapat dihilangkan dengan penambahan NaOH. Metode lain untuk menghilangkan TMA adalah

DOI: [10.22146/jrekpros.59553](https://doi.org/10.22146/jrekpros.59553)

Copyright © 2020 THE AUTHOR(S). This article is distributed under a [Creative Commons Distribution-ShareAlike 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Published online : 31 Desember 2020
e-ISSN 2549-1490 p-ISSN 1978-287X

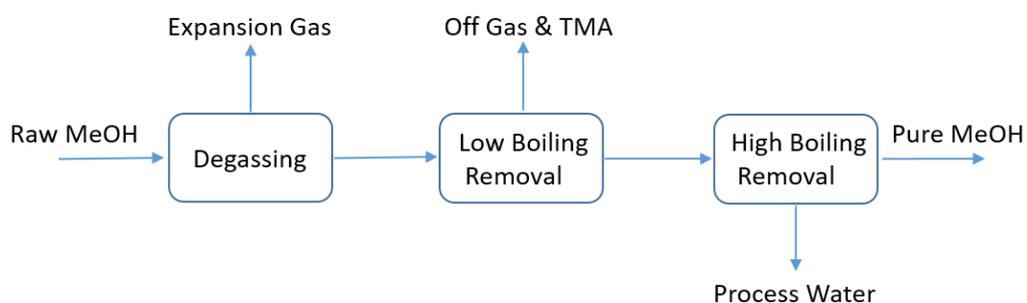
dengan proses adsorpsi menggunakan resin penukar ion di dalam tangki yang disebut TMA *catchpot*. Performa TMA *catchpot* sangat penting dalam proses pemurnian metanol. Oleh karena itu, pemantauan dan optimalisasi perlu dilakukan secara berkala. Setelah resin pada TMA *catchpot* jenuh, performanya akan menurun dan pemurnian metanol tidak dapat dilakukan secara efisien. Selanjutnya, resin penukar ion harus diganti dengan resin baru. Artikel ini mengevaluasi kinerja *catchpot* TMA pada penggantian resin (*charge*) 2010, 2012 dan 2016, menghitung konsumsi NaOH sebagai fungsi waktu operasi, dan mengoptimasi biaya pemurnian. Selain itu, disimulasikan opsi regenerasi resin, sebagai pembandingan metode konvensional (penggantian resin). Evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa biaya tahunan paling rendah didapatkan dengan penggantian resin baru setiap 4 tahun, dan regenerasi resin setiap 2 tahun. Selain biaya tahunan yang rendah, regenerasi ini berdampak positif terhadap lingkungan dengan mengurangi timbulan limbah B3 (resin bekas) secara signifikan.

Kata kunci: pemurnian metanol; regenerasi; resin penukar ion; tri metil amin

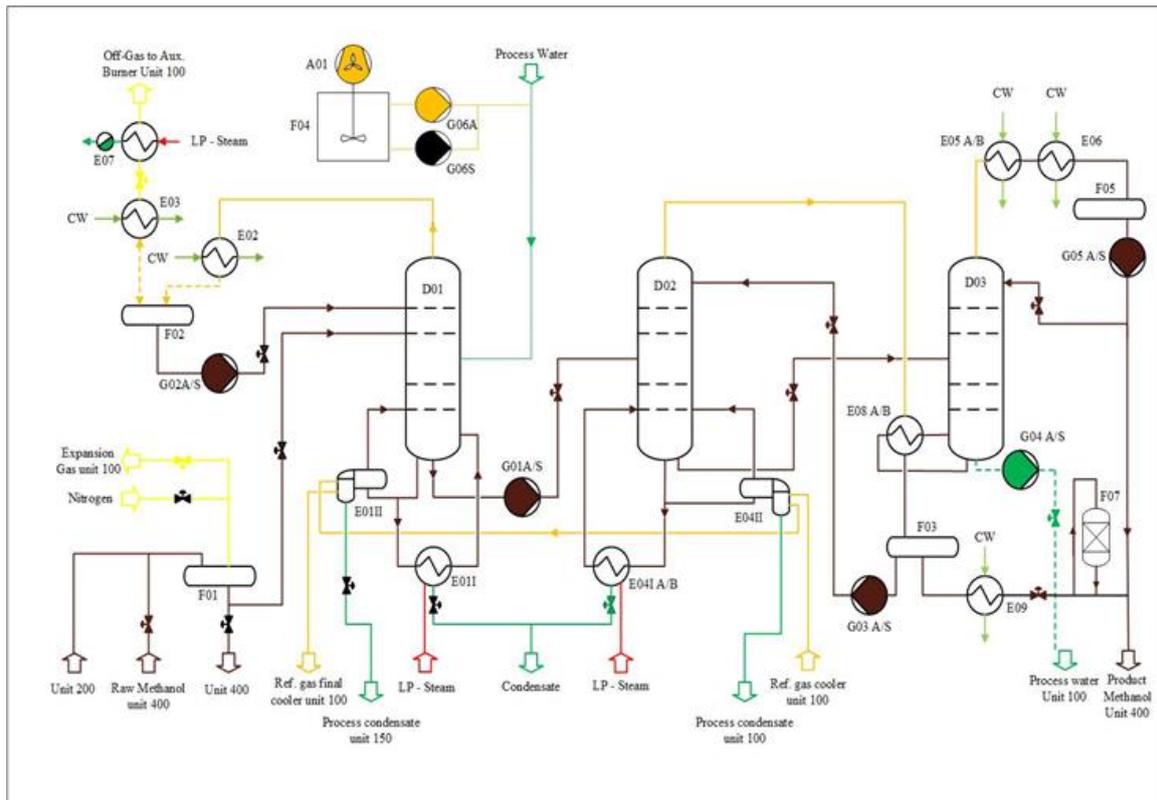
1. Pendahuluan

Proses pemisahan merupakan salah satu proses penting dalam industri kimia, yang dapat dilakukan dengan berbagai cara baik secara fisika dan atau kimia (Seader dan Henley, 1999). Di dalam proses pemisahan ini, dibutuhkan energi dan bahan kimia tambahan, serta biaya. Oleh karena itu, optimasi proses pemisahan perlu dilakukan secara berkala di industri, agar dapat meminimalkan biaya, mendapatkan proses pemisahan yang optimal, dan meminimalkan limbah yang dihasilkan.

Di PT. Kaltim Methanol Industri (PT KMI), proses pemisahan metanol dan bahan-bahan pengotor lainnya dilakukan di unit "*methanol distillation*" (unit distilasi). Unit distilasi ini terdiri dari proses *degassing* untuk menghilangkan gas terlarut (di 030-F01), dilanjutkan dengan distilasi untuk pemisahan bahan yang memiliki titik didih rendah atau *low boiling removal* (di *pre-run column* 030-D01), dan distilasi untuk pemisahan bahan yang memiliki titik didih tinggi atau *high boiling removal* (di *pressure column* 030-D02 dan di *atmospheric column* 030-D03). Skema proses dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok proses unit distilasi di PT. KMI



Gambar 2. Skema proses pemurnian metanol di unit distilasi 030-D01, 030-D02, 030-D03 dan TMA *Catchpot*

Salah satu bahan yang hendak dipisahkan dari metanol adalah *tri methyl amine* (TMA). Pemurnian metanol dari TMA dilakukan secara bertahap: (1) di *Pre-run column* 030-D01, dilakukan penambahan NaOH untuk mengonversi TMA menjadi TMA bebas yang mudah terbawa bersama *off-gas*, (2) setelah keluar *pressure column* 030-D02, metanol yang masih mengandung TMA dimasukkan ke *TMA catchpot* (penukar ion) yang menjerap TMA, sehingga didapatkan metanol dengan kemurnian yang diinginkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pemurnian metanol di tahap yang pertama telah diteliti oleh PT. KMI pada tahun 2009, berfokus pada hubungan antara proses distilasi, *off-gas* yang terbentuk dan aliran NaOH (Putro dan Nugroho, 2012).

Pada studi ini, PT. KMI akan meneliti proses pemurnian metanol dari TMA yang terjadi pada tahap kedua, yaitu di *TMA catchpot*. *Tri*

methyl amine catchpot berbasis pada proses pertukaran ion atau *ion exchange*. Pada tahap ini, proses pemisahan material berupa ion dari fluida asalnya dengan menggunakan resin penukar ion. Pengotor (TMA) pada produk metanol keluaran 030-D02 bertukar dengan kation yang ada pada resin sehingga dihasilkan metanol yang memiliki kadar TMA rendah. Dengan berjalannya waktu operasi, resin akan jenuh, sehingga proses pemurnian yang diinginkan tidak tercapai. Pada saat inilah, resin perlu diganti atau juga diregenerasi (Xu dkk., 2003). Di PT KMI, limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) berupa resin bekas sebanyak 7 m³ dihasilkan setiap penggantian resin baru di *TMA catchpot*. Limbah B3 ini dibuang mengikuti prosedur standar yang diatur oleh Bagian *Safety* dan Lingkungan. Penggantian resin baru membutuhkan biaya senilai 28.000 USD. Tidak hanya masalah biaya, namun masalah

lingkungan akibat produksi limbah B3 menjadi titik krusial pada proses ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan monitoring dan evaluasi unjuk kerja dari TMA *catchpot*.

Ruang lingkup studi yang dilakukan adalah (1) melakukan monitoring dan evaluasi terhadap kinerja resin *bed* 030-F07; (2) memprediksi waktu penggantian *bed* resin; (3) mengkaji alternatif pengelolaan *bed* resin yang telah jenuh dengan metode regenerasi.

Penelitian ini mempelajari opsi regenerasi resin dan mengoptimasi biaya pada unit distilasi, dengan membandingkan pengolahan *bed* jenuh dengan cara konvensional (penggantian resin) maupun dengan regenerasi. Aktivitas ini merupakan bagian dari usaha 3R (*reduce, reuse, recycle*) limbah B3 di PT. KMI. Selain itu, aktivitas ini juga akan berpengaruh terhadap upaya efisiensi penggunaan air proses dan pengurangan konsumsi bahan kimia (NaOH).

Dengan menggunakan data unjuk kerja TMA *catchpot*, pendekatan perhitungan neraca massa, perhitungan ekonomi dan juga simulasi, studi kasus ini dapat merumuskan rekomendasi waktu penggantian dan regenerasi resin. Oleh karena itu, PT. KMI dapat meminimalkan biaya operasi dan menurunkan efek negatif terhadap lingkungan berupa limbah resin (B3).

2. Metode Penelitian

2.1 Monitoring Unjuk Kerja TMA *Catchpot*

Kinerja *bed* resin dapat diukur dengan melihat nilai C/C_0 , yang merupakan perbandingan konsentrasi TMA *outlet* (C) dengan konsentrasi TMA *inlet* (C_0). Pada permulaan (*start of run bed*), nilai C/C_0 akan minim. Seiring bertambahnya waktu operasi, nilai C/C_0 akan mengalami kenaikan mengikuti kurva *breakthrough* pada

adsorben/ *bed* penukar ion (Pan dkk., 2005). Nilai C/C_0 mendekati 1 merupakan indikasi bahwa *bed* sudah jenuh, dan tidak dapat digunakan untuk proses pemisahan selanjutnya.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa kandungan TMA pada produk metanol tergantung pada kinerja dua unit pemurnian, yaitu penambahan NaOH di 030-D01 dan penukar kation di 030-D02. Selain itu, nilai TMA juga dipengaruhi oleh kandungan CO_2 di natural gas (NG) yang digunakan (Putro dan Nugroho, 2012). Oleh karena itu, perhitungan dan prediksi unjuk kerja *bed* resin tidak dapat dipisahkan dari keduanya. Data C/C_0 , konsumsi NaOH, kandungan CO_2 di NG dan kandungan TMA pada luaran *bed* resin untuk tahun 2010-2019 didapatkan dari PT. KMI, untuk penggantian resin (*charge*) 2010, 2012 dan 2016.

2.2 Prediksi Konsumsi NaOH pada Unit Distilasi dan Prediksi Penggantian *Bed* Resin

Untuk memprediksi penggantian *bed* resin, sebelumnya telah dilakukan studi lanjut pada pertengahan tahun 2018. Studi ini menggunakan sampel penggantian resin *batch* tahun 2016. Prediksi penggantian *bed* resin dilakukan dengan melakukan: (1) perhitungan C/C_0 maksimal dari *bed*; (2) perhitungan waktu operasi (*on stream days*, OSD) maksimal; (3) perhitungan konsentrasi NaOH yang dibutuhkan. Dari perhitungan ini, diperoleh hubungan antara konsumsi NaOH yang dibutuhkan sesuai dengan skema operasi dan jumlah OSD-nya.

2.3 Regenerasi *Bed* Resin

Resin hasil regenerasi *batch* sebelumnya diuji untuk diketahui performanya dalam

menjerap TMA, untuk meyakinkan seluruh *batch* memiliki kualitas yang sama. *Test run* dilakukan pada kolom percobaan yang diupayakan memenuhi aspek *scale up* sehingga kondisi kolom pengujian dapat mewakili kondisi aktual 030-F07. Detail *test run* resin hasil regenerasi tersaji pada Tabel 1.

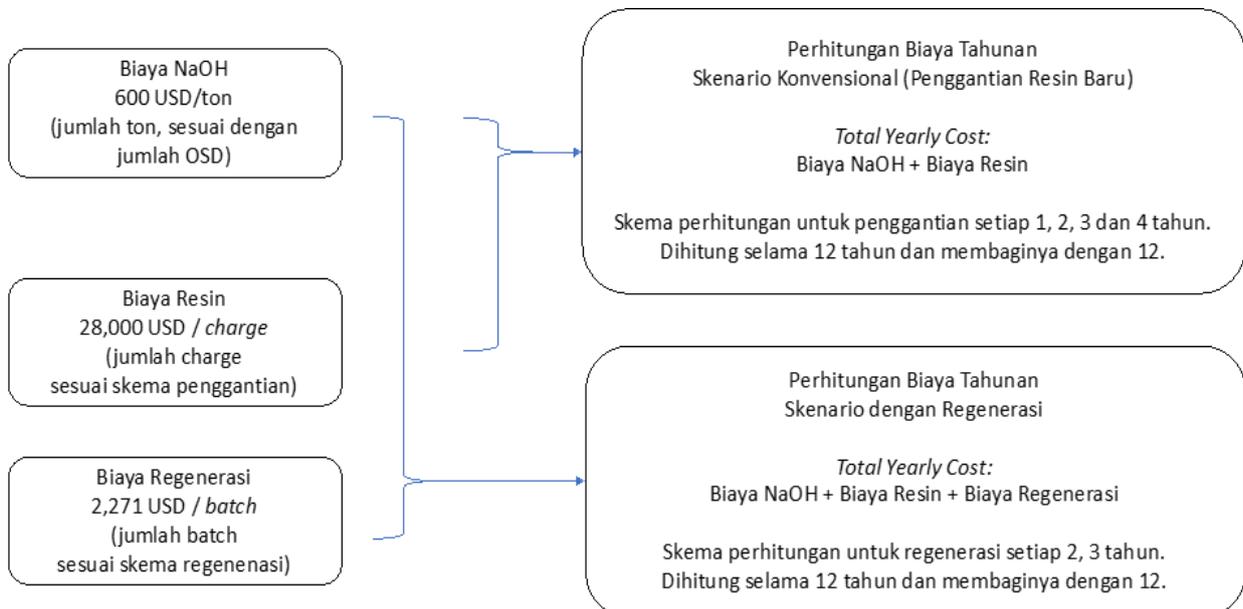
Tabel 1. Parameter *test run* resin hasil regenerasi

Parameter	030-F07	Kolom Percobaan
<i>ID vessel/kolom (D)</i>	1,5 m	4 cm
<i>Resin volume</i>	7 m ³	130 mL
<i>Bed height (L)</i>	3,96 m	10,5 cm
<i>L/D*</i>	2,64	2,64
<i>Volumetric Flow*</i>	45 m ³ /h	862 mL/h
	6,5 BV/h	6,5 BV/h
<i>Linear velocity</i>	25,7 m/h	68 cm/h
<i>Residence time*</i>	9,24 min	9,24 min

*Key parameter *scale-up*

2.4 Monitoring Unjuk Kerja TMA *Catchpot*

Perhitungan ekonomi dilakukan untuk skenario penggantian resin baru (konvensional) dan untuk skenario regenerasi resin. Secara umum, biaya yang timbul pada unit distilasi merupakan biaya penggantian resin, biaya NaOH unit distilasi dan biaya regenerasi (jika dilakukan). Resin TMA 030-F07 merupakan resin Cation Purolite C100 dengan basis Na. Harga resin tersebut per tahun 2018 sebesar 100 USD/25 L. Sehingga total biaya pembelian per *charge* (7 m³) resin adalah 28.000 USD. Jumlah biaya konsumsi NaOH dihitung sesuai dengan skema operasi dan jumlah OSD-nya, sedangkan jumlah biaya regenerasi adalah 2271 USD/ *regeneration batch* (yang mencakup biaya bahan kimia dan air). Skema perhitungan ekonomi ditunjukkan pada Gambar 3.



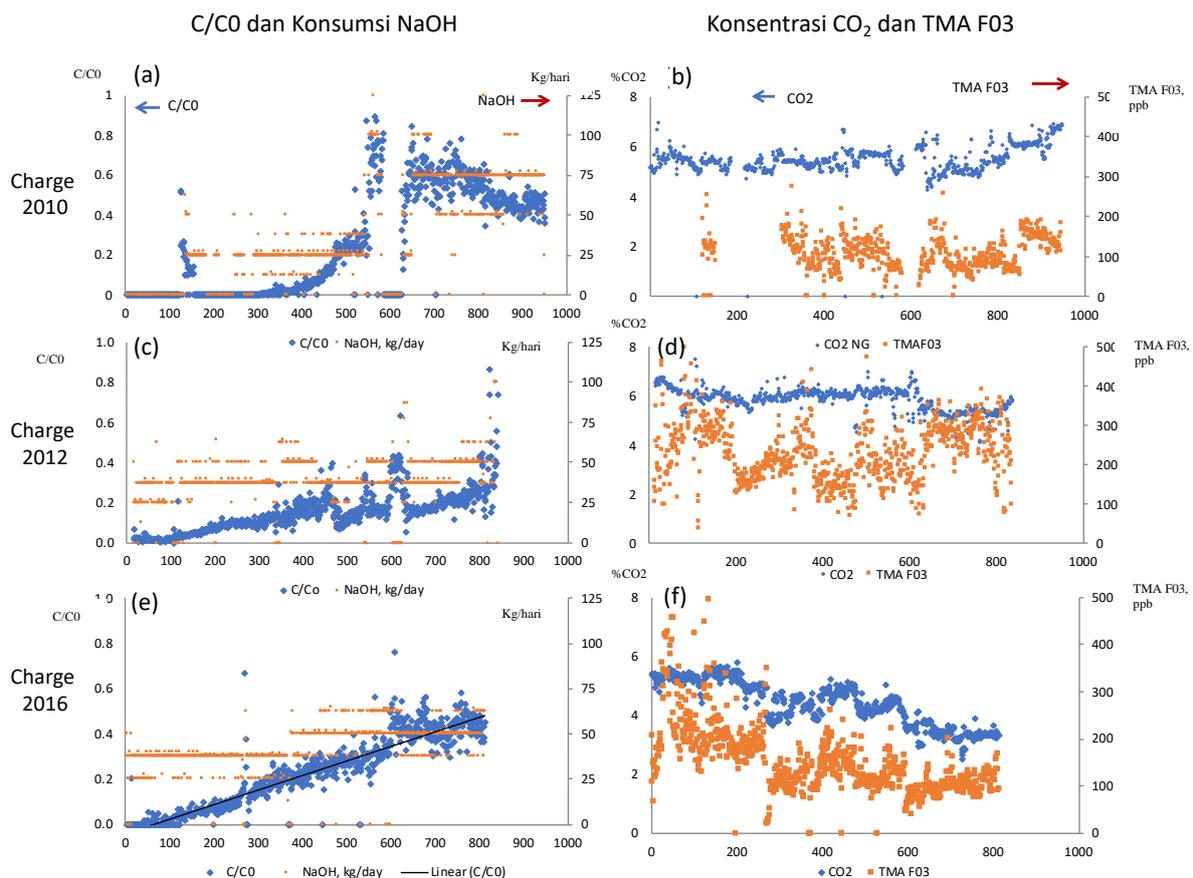
Gambar 3. Skematik perhitungan *total annual cost* untuk unit distilasi dengan berbagai skenario

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan pada studi ini dipisahkan menjadi beberapa bagian, yakni: monitoring dan evaluasi *bed* pada tiga periode penggantian resin (*charge*) terakhir (tahun 2010, 2012, dan 2016), prediksi penggantian *bed* resin *charge* tahun 2016, dan perhitungan kebutuhan NaOH pada unit distilasi; percobaan regenerasi resin; dan perhitungan biaya tahunan unit distilasi dengan skenario konvensional (penggantian resin baru) dan skenario regenerasi. Terakhir sebagai pelengkap, diskusi mengenai dampak lingkungan juga akan didiskusikan.

3.1 Monitoring dan Evaluasi Bed 030-F07

Untuk memahami kondisi di lapangan, pada bagian ini ditampilkan data unjuk kerja TMA *catchpot* pada penggantian resin terdahulu yaitu tahun 2010, 2012, dan 2016. Kurva lolosnya pengotor (*breakthrough curve*) yang membandingkan konsentrasi pengotor final/konsentrasi pengotor (*impurities*) awal (C/C_0), konsumsi NaOH, data kandungan CO₂ di gas alam dan kandungan TMA F03 (umpan/*feed* TMA *catchpot*) sebagai fungsi waktu operasi pada *charge* 2010, 2012 dan 2016 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva C/C_0 dan konsumsi NaOH (kiri) dan kurva OSD (hari) - konsentrasi CO₂ dan konsentrasi TMA *feed* (TMA F03)

Berdasarkan Gambar 4a, 4c dan 4e, nilai C/C_0 pada *Start of Run* (SOR) *bed* berada pada nilai minimum, yang berarti *bed* dapat menyerap TMA dengan sangat baik. Seiring berjalannya waktu nilai C/C_0 naik mengikuti tren C/C_0 adsorben pada umumnya. Pada Gambar 4b, 4d dan 4f dapat dilihat konsentrasi CO_2 dan juga konsentrasi TMA F03 (*feed* TMA *catchpot*), TMA F03 cenderung turun jika CO_2 di NG turun, begitu pula sebaliknya.

Pada penggantian resin tahun 2010 (Gambar 4a), di OSD ke-630, dosis NaOH unit distilasi dinaikkan sehingga nilai C/C_0 *bed* dapat diturunkan kembali. Pada periode ini juga diketahui bahwa nilai CO_2 di NG berkisar antara 5-7%. Terdapat kenaikan CO_2 di NG pada OSD ke-850 dan nilai TMA 030-F03 turut mengalami kenaikan (Gambar 4b).

Untuk penggantian resin tahun 2012 (Gambar 4c dan 4d) dapat diperoleh informasi bahwa kurva kenaikan C/C_0 relatif linier dikarenakan saat C/C_0 mendekati 0,3 pada OSD ke-470, dosis NaOH dinaikkan sehingga nilai C/C_0 kembali turun. Konsentrasi CO_2 di NG juga relatif sama dengan periode sebelumnya, yakni 5-7%. Terdapat penurunan konsentrasi CO_2 di NG pada OSD ke-620, namun konsentrasi TMA 030-F03 tidak serta merta turun akibat konsumsi NaOH yang dapat dioptimalkan. *Bed* resin pada unit 030-F07, diganti pada kondisi nilai C/C_0 pada kisaran 0,4-0,5. Penggantian resin pada nilai C/C_0 yang lebih tinggi berdampak pada konsumsi NaOH yang lebih tinggi di unit distilasi. Selain itu, efek ketahanan alat terhadap pH sistem yang semakin basa, juga perlu dipertimbangkan.

Penggantian resin tahun 2016 dilakukan pada Januari 2016. Kurva C/C_0 pada periode ini mengikuti garis lurus. Meskipun terjadi

penurunan CO_2 di NG, nilai C/C_0 tetap naik linier sesuai Gambar 4f. Hal ini terjadi akibat pengaturan dosis (*trimming*) NaOH pada unit distilasi. Dosis NaOH dapat diminimalkan jika nilai CO_2 di NG juga minimal. Senyawa CO_2 berpengaruh pada pembentukan asam karbonat di unit distilasi yang turut mengonsumsi NaOH. Dengan penurunan CO_2 maka proporsi NaOH yang digunakan di unit distilasi untuk menangani TMA menjadi lebih banyak.

Pada tahun 2010, penggantian resin dilakukan saat $C/C_0=0,45$ dengan konsumsi NaOH unit distilasi mencapai 73,5 kg/hari. Sedangkan pada tahun 2012, penggantian dilakukan saat $C/C_0=0,34$ dengan dosis NaOH unit distilasi mencapai 66 kg/hari. Nilai OSD tahun 2012 tidak sebesar nilai OSD tahun 2010, karena data yang digunakan dibatasi pada data sebelum *top-up* resin. Kondisi resin *charge* 2016 hingga akhir Juli 2018 menunjukkan nilai $C/C_0=0,45$ dan konsumsi NaOH 54 kg/hari (lebih rendah dari *charge* sebelumnya). Hal ini dapat terjadi karena efek kadar CO_2 di NG sebagaimana telah dibahas sebelumnya.

3.2 Prediksi Pergantian *Bed* Resin dan Konsumsi NaOH pada Unit Distilasi

Studi untuk memprediksi penggantian *bed* resin *charge* 2016 dilakukan dengan beberapa tahapan, meliputi perhitungan C/C_0 maksimal, OSD maksimal dan juga penyesuaian dosis penambahan NaOH. Untuk dapat menjamin kadar TMA pada tangki antara (*intermediate*) metanol masih sesuai spesifikasi, perlu ditentukan nilai C/C_0 maksimal yang dapat ditoleransi. Dengan neraca massa dapat diperoleh nilai TMA *outlet* 030-F07 maksimal sebesar 73 ppb. Dengan nilai rata-rata TMA *inlet* saat ini

adalah 110 ppb, maka C/C_0 maksimal adalah $73/110=0,7$.

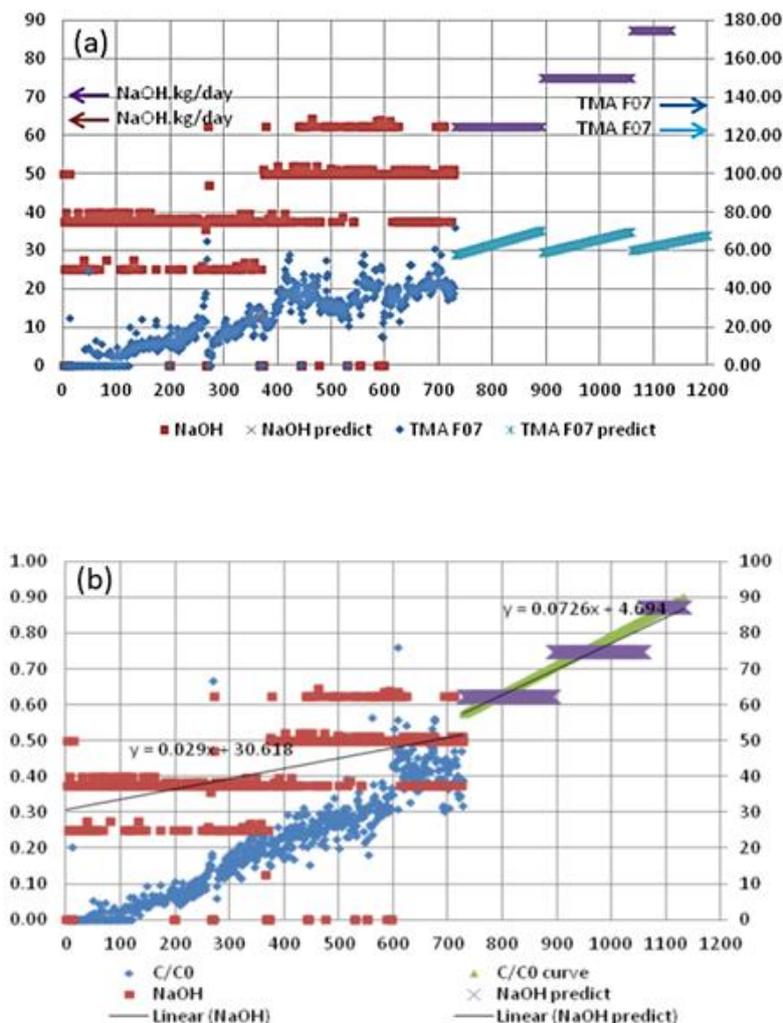
Dengan persamaan C/C_0 yang mengikuti garis lurus, dapat diplot persamaan C/C_0 terhadap OSD yang dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$C/C_0 = 0,0008 \times OSD - 0,0067 \quad (1)$$

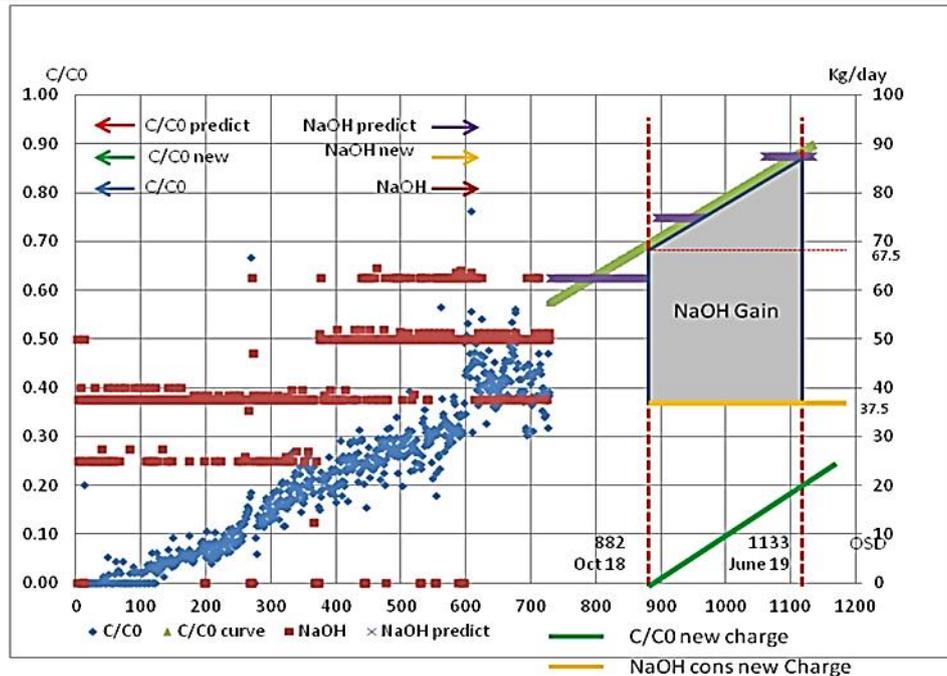
Dengan menargetkan nilai $C/C_0=0,7$ dapat diperoleh OSD maksimal pada OSD 882 hari. Dengan demikian, jika *start of run* (SOR) pada 24 Januari 2016, maka nilai C/C_0 maksimal ini akan tercapai pada 2 Oktober 2018.

Nilai OSD maksimal 882 hari merupakan nilai yang diperoleh tanpa melakukan

penyesuaian (*trimming*) pada dosis NaOH unit distilasi. Dengan meningkatkan dosis NaOH, nilai TMA pada 030-F03 (*inlet* 030-F07) dapat ditekan. Dengan menggunakan basis perhitungan dosis NaOH saat normal (37,5 kg/hari), jika diinginkan nilai TMA *outlet* 030-F07 di bawah 73 ppb, terhitung kebutuhan dosis NaOH yang lebih tinggi, yaitu 50 kg/hari. Dengan adanya penambahan NaOH, nilai TMA 030-F03 dapat ditekan, sehingga diperoleh TMA *outlet* 030-F07 yang lebih rendah, meski dengan C/C_0 yang lebih tinggi.



Gambar 5. Prediksi dosis NaOH untuk menekan TMA *outlet* 030-F07



Gambar 6. Potensi penghematan NaOH (NaOH *gain*) pengantian OSD 882 vs 1133

Hasil prediksi dosis NaOH pada *charge* tahun 2016 dapat dilihat pada Gambar 5. Dosis NaOH aktual (spot merah) pada OSD 700-800 adalah 62,5 kg/hari. Dengan dosis tersebut, semakin lama *bed* akan semakin jenuh sehingga nilai TMA 030-F07 akan naik sesuai spot biru muda. Saat *outlet* TMA mencapai 73 ppb, dosis NaOH dapat dinaikkan menjadi 75 kg/hari, sehingga TMA *outlet* dapat ditekan menjadi 60 ppb dengan menurunkan kadar TMA di 030-F03.

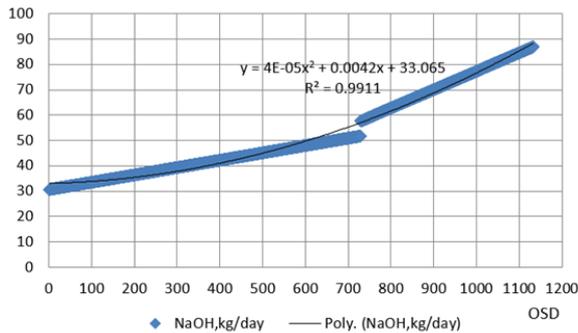
Pengaturan dosis NaOH dapat dilakukan hingga *bed* mendekati masa jenuhnya (C/C_0 mendekati 1) dengan konsekuensi konsumsi NaOH akan semakin tinggi mendekati *end of run* (EOR) *bed* tersebut. Penggantian resin dapat dilakukan untuk mengembalikan konsumsi NaOH ke dosis semula (37,5 kg/hari), seperti digambarkan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan informasi penghematan konsumsi NaOH. Pada Gambar 6 ini, terlihat bahwa penggantian resin pada OSD 882 ($C/C_0=0,7$) dapat mengembalikan

konsumsi NaOH unit distilasi menjadi 37,5 kg/hari. Namun, pemakaian *bed* juga dapat diperpanjang hingga jenuh (mencapai $C/C_0=0,9$) dengan menambahkan dosis NaOH. Dengan skema perpanjangan ini, selisih penggunaan NaOH pada kedua skema tersebut mencapai 10,354 kg atau sebesar 18% dari biaya penggantian resin dan NaOH yang digunakan pada resin baru.

Konsumsi NaOH dapat digambarkan dalam spot merah dan ungu pada Gambar 5b dan 6. Dengan *plotting* tersebut diperoleh konsumsi NaOH hingga OSD ke 950 adalah 43,750 kg. Selain *plotting* dari konsumsi NaOH sebelumnya, dapat pula digunakan persamaan pada Gambar 5b. Seiring bertambahnya OSD, nilai C/C_0 *bed* akan mengalami kenaikan hingga kondisi jenuhnya (C/C_0 mendekati 1). Dosis NaOH aktual (spot merah) dapat dilinearisasi menghasilkan *trendline 1*, sementara dosis NaOH prediksi (spot ungu) dapat dilinierisasi menghasilkan *trendline 2*. Penggabungan kedua *trendline*

menghasilkan kurva konsumsi NaOH *bed* berbentuk persamaan polinomial orde 2, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva dosis NaOH terhadap OSD

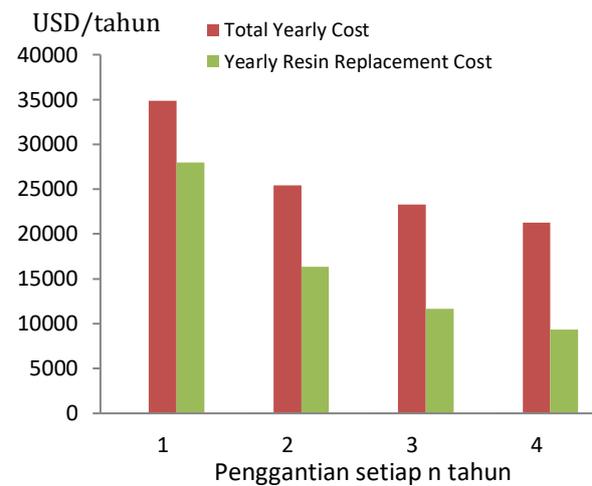
Kurva dosis NaOH pada Gambar 7 ini membantu untuk memperkirakan kebutuhan NaOH unit distilasi pada OSD tertentu, sehingga dosis dan biaya NaOH pada berbagai skenario dapat diperhitungkan. Sebagai contoh, pada Tabel 2 ditampilkan perhitungan kebutuhan konsumsi NaOH untuk beberapa OSD. Dengan menggunakan Tabel 2 dan biaya resin baru (28.000 USD setiap penggantian), dapat dibuat perbandingan biaya tahunan unit distilasi (Tabel 3). Biaya tahunan dihitung untuk periode 12 tahun, dengan menjumlahkan biaya resin dan masa pemakaian resin OSD pada pemakaian 1, 2, 3 dan 4 tahun, kemudian dibagi dengan lama periode (12 tahun). Perbandingan biaya tahunan untuk setiap alternatif pilihan ditampilkan pada Gambar 8.

Tabel 2. Konsumsi NaOH unit distilasi

Tahun ke-	OSD	Total NaOH, kg	Biaya NaOH, USD
1	325	11,425	6855
2	650	26,041	15624
3	975	46,592	27955
4	1133	59,550	35730

Tabel 3. Perbandingan total biaya unit distilasi (penggantian resin dan biaya NaOH)

Penggantian setiap n tahun	Biaya total tahunan, USD
1	34855
2	25447
3	23314
4	21243



Gambar 8. Biaya tahunan pada penggantian tiap 1, 2, 3 dan 4 tahun

Dari perhitungan yang ditunjukkan di Tabel 3 dan Gambar 8, dapat diketahui bahwa skenario penggantian resin setiap 4 tahun memberikan biaya tahunan yang paling rendah dibandingkan dengan skenario lainnya.

3.3 Regenerasi Resin

Resin pada 030-F07 merupakan resin kation sebagaimana resin pada unit pengolahan air. Pada prinsipnya, saat resin telah jenuh performa *bed* akan menurun dan dapat dilakukan regenerasi. Dalam hal ini dilakukan percobaan regenerasi resin bekas dari *charge* 2012. Regenerasi dilakukan dengan menggunakan larutan NaCl 10%, dan hasil percobaannya dapat dilihat pada Tabel 4.

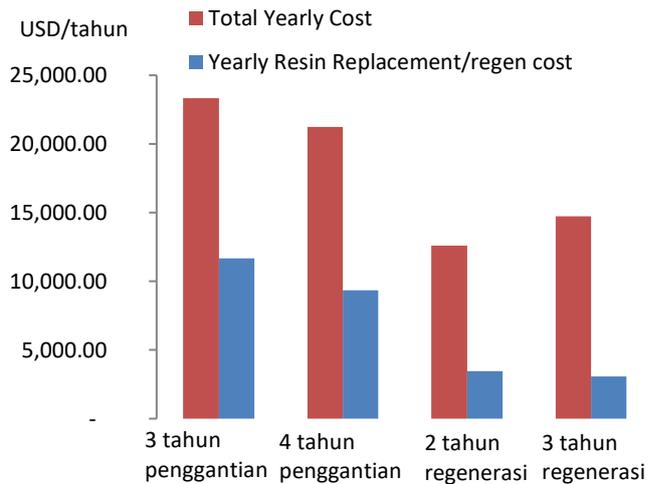
Tabel 4. Hasil percobaan regenerasi resin

Parameter	Konsentrasi awal	Resin baru	Resin hasil regenerasi
TMA, ppb	100,33	59	45
% Adsorbed		41	55

Pada Tabel 4 dapat dilihat perbandingan performa penjerapan TMA oleh resin hasil regenerasi dan resin baru. Persentase TMA yang terjerap sebesar 41% untuk resin C100 baru dan 55% untuk resin hasil regenerasi. Hal ini menunjukkan performa resin regenerasi cukup mirip dengan resin C100 baru. Resin hasil regenerasi punya kinerja lebih baik kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan prosedur percobaan yang serba manual, sehingga *linear velocity* metanol melalui *bed* lebih rendah (waktu kontak lebih lama), meski parameter operasi keduanya diupayakan untuk seidentik mungkin.

Selain unjuk kerja, perbandingan biaya juga perlu dilakukan. Untuk melakukan regenerasi resin, diperlukan NaCl dan air. Dari hasil perhitungan, untuk setiap regenerasi resin dibutuhkan garam NaCl sebanyak 1750 kg (setara dengan 1071,43 USD) dan air, sehingga total biaya menjadi 2271 USD.

Selanjutnya, dari biaya penggantian atau regenerasi resin dan konsumsi NaOH sebagaimana disajikan dalam Tabel 2 dapat dibuat perbandingan biaya tahunan antara penggantian 4 tahunan dan regenerasi setiap periode tertentu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9. Pada Gambar 9 terlihat bahwa regenerasi resin setiap 2 tahun memberikan biaya tahunan yang paling minim dibandingkan yang lain. Regenerasi setiap 3 tahun memberikan biaya tahunan yang lebih tinggi akibat konsumsi NaOH di tahun ke-3 yang lebih tinggi sehingga menaikkan biaya tahunan.

**Gambar 9.** Perbandingan biaya tahunan penggantian resin dan regenerasi resin

3.4 Dampak Lingkungan

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk mendapatkan metanol dengan spesifikasi kemurnian yang diinginkan, maka optimasi proses penghilangan TMA ini sangat diperlukan. Dari simulasi dan perhitungan yang dilakukan, opsi regenerasi resin TMA *catchpot* dapat dilakukan untuk mendapatkan biaya yang minimal dan efek terhadap lingkungan yang kecil, seperti ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Dampak lingkungan dari optimasi TMA *Catchpot* dan regenerasi resin

Aksi	Efek
Menekan jumlah konsumsi NaOH	Kebutuhan air proses dapat ditekan, efisiensi penggunaan air meningkat
Meregenerasi resin	Limbah B3 dapat dikurangi secara signifikan

Dengan melakukan regenerasi resin TMA *catchpot*, PT. KMI menunjukkan inisiatif dan peran aktif dalam usaha-usaha 3R (*reduce, reuse, recycle*) limbah B3. Dalam hal ini, resin yang sudah jenuh diregenerasi, sehingga dapat digunakan kembali (*reuse*). Aktivitas ini dapat menurunkan jumlah timbulan limbah

B3 (resin bekas) yang dihasilkan. Dari sisi air proses dan konsumsi bahan kimia, seperti dapat dilihat pada skema di Gambar 2, kebutuhan air proses dapat ditekan, sehingga efisiensi penggunaan air meningkat. Selain itu, karena kandungan NaOH yang digunakan lebih kecil, maka penggunaan bahan kimia (NaOH) juga dapat dikurangi. Hal ini menunjukkan bahwa PT. KMI telah melakukan upaya untuk melakukan efisiensi penggunaan sumber daya dan penurunan pencemaran lingkungan.

4. Kesimpulan

Dari hasil kajian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggantian resin paling optimal adalah 4 tahun sekali, apabila hanya memperhitungkan faktor biaya. Namun jika faktor lingkungan turut dipertimbangkan, penggantian resin dengan regenerasi akan optimal jika dilakukan setiap 2 tahun. Pada percobaan regenerasi resin dengan menggunakan NaCl 10%, hasil uji resin setelah diregenerasi cukup sesuai dengan ekspektasi, terbukti dari hasil uji adsorpsi TMA yang relatif tidak jauh berbeda dengan hasil uji adsorpsi dengan resin baru.

Ucapan Terima Kasih

Studi ini dilakukan berdasarkan kontrak kerja PT. KMI dan UGM dengan kontrak Nomor 025/SPK-KMI/LOG/VIII/2020. Penulis menyampaikan terima kasih kepada jajaran Manajemen PT. KMI yang telah memberi

kesempatan dan fasilitas sehingga seluruh proses penelitian dan penerapan regenerasi resin TMA *catchpot* dapat dilakukan dan memberikan hasil yang maksimal.

Daftar Pustaka

- Pan, B.C., Meng, F.W., Chen, X.Q., Pan, B.J., Li, X.T., Zhang, W.M., Zhang, X., Chen, J.L., Zhang, Q.X., and Sun, Y., 2005, Application of an effective method in predicting breakthrough curves of fixed-bed adsorption onto resin adsorbent, *J. Hazard. Mater.*, 124 (1–3), 74–80.
- Putro, I.K. and Nugroho, A., 2012, Pemurnian Metanol dari Kandungan Tri Methyl Amine di PT. Kaltim Metanol Industri – Bontang Kaltim, Pemurnian Metanol Dari Kandung. Tri Methyl Amin. Di PT. Kaltim Metanol Ind. Bontang Kaltim, 3 (2), 30–36.
- Seader, D. and Henley, E.J., 1999, *Separation Process Principles*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Xu, Z., Zhang, Q., and Fang, H.H.P., 2003, Applications of Porous Resin Sorbents in Industrial Wastewater Treatment and Resource Recovery, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 33 (4), 363–389.
- Evaluasi Pabrik PT Kaltim Metanol Industri “TMA Catchpot Monitoring dan Opsi Penggantian Resin”, *Process & System Section*, 2018.
- Engineering Bulletin Purolite C100 Sodium Cycle, 2012.