

Estimasi Laju Sirkulasi Pelarut (Absorbent) Pada Proses Absorpsi Gas di Kolom Absorber dengan Metode Grafis

Oleh : Arluky Novandy *)

Abstrak

Memperkirakan laju sirkulasi pelarut (absorbent) pada proses gas absorpsi adalah sangat penting guna menghemat biaya operasi dalam pelaksanaannya. Laju sirkulasi pelarut (absorbent) pada proses gas absorpsi ini sangat terkait erat dengan komposisi gas yang akan diserap oleh pelarut. Umumnya setiap lapangan gas memiliki komposisi gas yang berbeda-beda, sehingga nomograf penentuan laju sirkulasi pelarut (absorbent) untuk absorpsi gas di suatu lapangan gas tertentu akan berbeda dengan lapangan gas yang lainnya. Permasalahan penggunaan nomograf ini juga ditemui di suatu lapangan gas yang peralatan absorbernya telah mengalami modifikasi karena perubahan komposisi gas umpan. Dikarenakan keterbatasan tersebut penggunaan nomograf tersebut, maka diperlukan suatu pemahaman fundamental dalam menentukan laju sirkulasi pelarut (absorbent) untuk proses absorpsi gas. Secara teori, perhitungan penentuan laju sirkulasi pelarut (absorbent) dengan metode grafis ini dapat diaplikasikan meskipun penggunaannya tidak sesederhana penggunaan nomograf.

Kata Kunci : Absorpsi, pelarut, kesetimbangan, gas, impurities, gas sweetening, gas dehydration

I. PENDAHULUAN

Setiap gas yang keluar dari sumur, baik yang ada di offshore maupun yang onshore, tidak selalu dalam keadaan yang bersih. Hal ini disebabkan karena adanya kontaminan atau impurities yang terdapat di dalam gas yang diproduksi dari sumur gas. Ada beberapa macam kontaminan misalnya air, gas asam, karbondioksida, hydrogen sulfida, hidrokarbon fraksi berat, dan beberapa pengotor lainnya. Keberadaan impurities ini secara umum bergantung pada tekanan dan temperatur lingkungan dimana gas tersebut diproduksi.

Tahap pertama dalam setiap pengolahan gas

alam selalu diawali dengan proses pemurnian gas, selanjutnya diikuti dengan proses pemisahan dengan kolom fraksinasi. Pemurnian tahap pertama biasanya adalah menghilangkan kandungan CO_2 dan H_2S dalam gas. Tujuan dari pengurangan kadar CO_2 dan H_2S dalam gas ini adalah agar produk gas yang dipasarkan tidak bersifat korosif. Proses selanjutnya adalah proses Dehidrasi, dimana pada proses ini kandungan air di dalam gas akan dikurangi. Pengurangan kadar air di gas ini dimaksudkan agar produk gas yang dijual dipasaran memiliki nilai panas yang tinggi. Tetapi ada juga proses tambahan yang bertujuan memperkecil keberadaan kandungan *mercury* (Hg) di

gas. Keberadaan kandungan *mercury* (Hg) di gas ini harus dikurangi karena *mercury* akan merusak beberapa peralatan yang terbuat dari aluminium terutama di proses pencairan gas alam (*liquefaction*).

Latar Belakang

Dalam proses pembersihan gas dari beberapa impurities dengan metode absorpsi, seperti proses *gas sweetening*, yaitu proses pemurnian gas dari komponen-komponen gas H_2S dan CO_2 , dan proses *gas dehidrasi*, yaitu proses pengurangan kadar air di gas, selalu diperlukan suatu pelarut untuk menjerap komponen-komponen gas impurities tersebut. Dalam pengoperasian proses absorpsi gas tersebut, setiap lapangan gas memiliki nomograf tertentu untuk menentukan laju sirkulasi pelarut yang diperlukan. Sehingga penggunaan nomograf untuk penentuan laju sirkulasi pelarut yang diperlukan di suatu lapangan gas tertentu akan berbeda dengan lapangan gas lainnya. Terlebih lagi bila lapangan gas tersebut telah mengalami modifikasi dalam proses pemurniannya sehingga dimungkinkan penggunaan nomograf untuk penentuan laju sirkulasi pelarut di suatu menara absorber bisa jadi akan berubah. Dikarenakan hal tersebut diatas, maka diperlukan suatu pemahaman fundamental untuk mengestimasi laju sirkulasi pelarut pada proses absorpsi gas. Disamping itu, penentuan laju sirkulasi pelarut secara tidak langsung juga berperan dalam menentukan keekonomian operasional proses gas absorpsi. Dengan kata lain, penentuan laju sirkulasi pelarut yang tepat akan meminimalkan operating cost proses absorpsi.

Manfaat Penulisan

Adapun manfaat dari penulisan artikel yang berjudul "Estimasi Laju Sirkulasi Pelarut (Ab-

sorbent) Minimum Pada Proses Absorpsi Gas Di Kolom Absorber Dengan Metode Grafis" adalah sebagai berikut :

1. Sebagai dasar dalam penentuan laju sirkulasi pelarut di kolom absorber
2. Tidak bergantung pada nomograf manual peralatan bila terjadi perubahan desain atau modifikasi
3. Setiap lapangan gas dapat diestimasi laju sirkulasi pelarut absorbernya bila tidak tersedia nomografnnya.
4. Dapat dijadikan sebagai referensi bagi pengajar proses *gas sweetening* dan *gas dehydration* dalam menentukan laju sirkulasi pelarut di menara absorber.
5. Sebagai upaya penambah khasanah keilmuan bagi para instruktur dalam melakukan proses transfer knowledge ke peserta diklat sehingga instruktur memiliki kepercayaan diri yang tinggi dalam menjelaskan secara fundamental proses gas absorpsi.

Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan adalah untuk membuktikan bahwa penentuan laju sirkulasi pelarut absorpsi dengan metode grafis dapat diaplikasikan pada proses-proses gas absorpsi di kegiatan *surface facilities*

II. DASAR TEORI

Keseimbangan Gas – Liquid

Dalam menentukan laju sirkulasi pelarut yang akan digunakan dalam proses absorpsi gas maka diperlukan beberapa data experiment laboratorium sebelumnya. Data-data percobaan di laboratorium ini umumnya adalah data keseimbangan gas – liquid. Dilakukan beberapa percobaan di laboratorium karena

data-data kesetimbangan gas – liquid ini tidak selamanya tersedia di beberapa literatur atau manual peralatan menara absorber. Selanjutnya data kesetimbangan gas – liquid pada proses gas absorpsi digunakan untuk membuat kurva kesetimbangan (*equilibrium curve*). Kurva kesetimbangan gas – liquid yang didapatkan dari plotting data experiment laboratorium (atau data-data dari literatur) pada proses gas absorpsi umumnya mengikuti hukum Raoult's sebagai berikut :

$$P^* = px \dots\dots(1)$$

Dimana :

P^* = tekanan parsial gas A yang terlarut yang berkesetimbangan

p = tekanan uap gas A

x = fraksi mole gas

Hukum Raoult's ini berlaku untuk liquid ideal. Pada kenyataannya, liquid ideal tidak ditemui pada kondisi riil sehingga persamaan dari hukum Raoult's ini dikoreksi menjadi sebagai berikut :

$$y^* = \frac{P^*}{P_{total}} = mx \dots\dots(2)$$

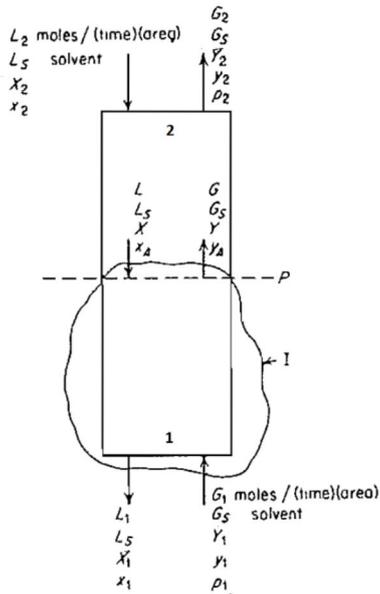
Persamaan (2) diatas dikenal dengan persamaan Henry dan m dikenal dengan konstanta Henry (di beberapa literatur konstanta Henry di tulis dengan huruf H).

Persyaratan Solven (pelarut)

Solven yang digunakan untuk proses absorpsi setidaknya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Memiliki gas solubility yang yang tinggi. Hal ini akan meningkatkan laju absorpsi dari gas dan menurunkan kebutuhan solven
2. Memiliki tingkat volatility yang rendah. Solven dengan tekanan uap yang rendah (tingkat volatility yang rendah) akan mengurangi losses akibat dari penguapan yang berlebihan.
3. Solven yang digunakan harus memiliki sifat korosifats yang rendah terhadap beberapa logam (material) dari beberapa peralatan absorpsi yang ada.
4. Solven harus semurah mungkin tapi mudah pula didapatkan dipasaran karena operasi absorpsi dengan menggunakan solven akan banyak mengalami losses sehingga diperlukan make up solven dalam operasinya.
5. Solven juga harus memiliki viskositas yang rendah. Hal ini dikarenakan laju absorpsi akan lebih cepat bila viskositas solven lebih rendah.
6. Solven juga harus memiliki sifat nontoxic, nonflammable, dan secara kimia stabil, serta memiliki freezing point yang rendah.

Garis Operasi Proses Counterflow



Gambar 1 : Neraca Massa Counterflow Process

Dari proses flow di menara absorber diatas (Gambar 1) dapat dituliskan bahwa laju alir gas di setiap titik di menara absorber yaitu G total mol/(luas area menara)(waktu alir). Sedangkan gas terlarut A di gas umpam mengalami difusi (terlarut di solven) dan memiliki fraksi mol y serta tekanan parsial P, atau bila ditulis dalam mole rasio yaitu Y. Untuk komponen gas yang tidak terlarut di solvent (*insoluble gas*) G_s mol/(luas area menara)(waktu alir) tidak berubah selama proses absorpsi berlangsung. Hubungan antara mole fraksi, fraksi mol, gas terlarut, dan gas yang tak larut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Y = \frac{y}{1-y} = \frac{P}{p_{total}-P} \dots\dots\dots(3)$$

$$G_s = G(1 - y) = \frac{G}{1+Y} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan cara yang sama, untuk solven dapat dituliskan sebagai berikut :

$$X = \frac{x}{1-x} \dots\dots\dots(5)$$

$$L_s = L (1 - x) = \frac{L}{1+x} \dots\dots\dots(6)$$

Dikarenakan secara teori kuantitas dari gas yang tidak terlarut di solvent (*insoluble gas* = G_s), gas total (gas masuk kolom dan keluar kolom = G), dan laju sirkulasi pelarut (L_s) yang terlibat di proses absorpsi gas pada menara absorber tidak berubah, maka neraca massa proses absorpsi gas di menara absorber dapat dituliskan sebagai berikut :

$$G_s (Y_1 - Y) = L_s (X_1 - X) \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

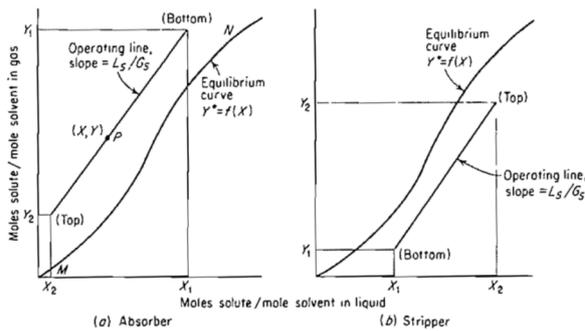
Y_1 = mole rasio gas A yang mengalami difuse masuk dibagian bottom kolom

X_1 = mole rasio solvent yang mengandung komponen gas A yang keluar dari bottom kolom

Persamaan (7) dikenal dengan persamaan garis operasi proses absorpsi gas di menara absorber. Dimana pada persamaan (7) diatas memiliki *slope* sebesar :

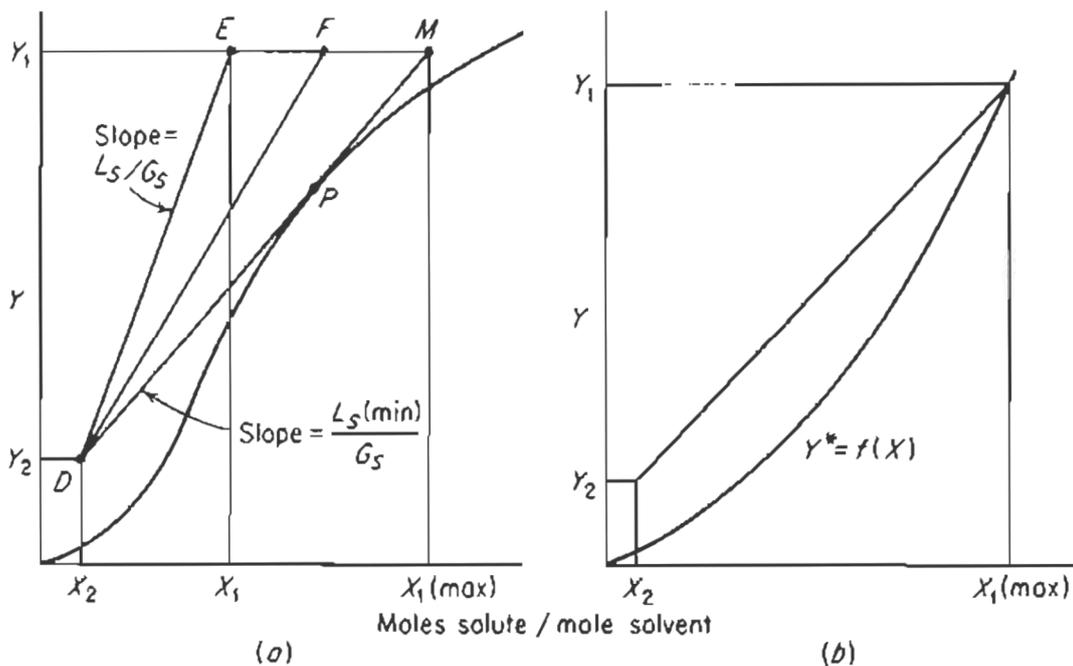
$$\frac{L_s}{G_s} \dots\dots\dots (8)$$

Besaran *slope* pada persamaan (8) diatas bila ditarik garis akan melewati titik . Persamaan garis operasi dengan *slope* ini bila digambarkan dalam bentuk grafis akan nampak seperti pada gambar 2.



Gambar 2 : Kurva kesetimbangan, garis operasi, dan slope pada proses gas absorpsi di menara absorber dan proses gas stripping di menara stripper regenerator

Minimum Liquid – Gas Rasio untuk Proses di Absorber



Gambar 3 : Minimum liquid – gas rasio pada proses gas absorpsi di menara absorber

Nampak bahwa pada gambar 3a dan 3b diatas dalam penentuan laju sirkulasi solven minimum, garis operasi disinggungkan dengan kurva kesetimbangan gas – liquid di titik P. Maka persamaan garis operasi untuk jumlah solvent minimum, yaitu garis DM, pada gambar 3a diatas adalah sebagai berikut :

Pada desain absorber, jumlah gas yang mengalami treating di menara absorber yaitu G atau G_s , sedangkan mole rasio awal dan akhir gas A yang berdiffusi yaitu . Untuk mole rasio gas A yang terdapat pada *fresh solvent* yang akan masuk ke kolom absorber yaitu . Mole rasio gas A yang terdapat di *fresh solvent* (Tetapi laju sirkulasi pelarut yang masuk ke kolom absorber umumnya adalah tetap). Pelarut yang diumpangkan adalah dipilih berdasarkan persyaratan proses. Sehingga untuk kondisi operasi dengan rasio liquid-gas yang minimum dapat digambarkan dengan grafis seperti pada gambar 3 berikut :

$$G_s (Y_1 - Y) = L_s \text{ minimum } (X_1 - X) \dots (9)$$

Persamaan (9) dikenal dengan persamaan garis operasi minimum proses absorpsi gas di menara absorber. Persamaan (9) diatas memiliki *slope* sebesar :

$$\frac{L_s \text{ minimum}}{G_s} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

L_s minimum = Laju sirkulasi solven minimum yang diperlukan pada proses gas absorpsi di menara absorber

III. STUDI KASUS

Untuk memahami metode grafis dalam menentukan laju sirkulasi pelarut berikut studi kasus sederhana tentang proses absorpsi gas.

Diketahui kondisi lapangan sebagai berikut :

Gas Masuk Kolom Absorber

Gas masuk kolom = 0,250 m³/detik

Tekanan operasi kolom absorber (P_{total}) = 803 mmHg ($1,07 \times 10^5$ N/m²)

Gas masuk kolom mengandung 2,0% vol. light oil vapor (hasil analisis laboratorium light oil vapor adalah fraksi benzen).

Light oil vapor yang terdapat di gas umpan diharapkan bisa terserap solven sebanyak 95%.

Solven Masuk Kolom

Temperatur solven masuk kolom = 26°C

Kandungan fraksi benzen di *fresh solvent* = 0,005 mole (BM = 260)

Laju sirkulasi = 1,5 kali minimum (data desain)

Dengan kondisi lapangan seperti diatas dapat dicari batasan laju sirkulasi solven minimum dan laju sirkulasi solven optimum yang digunakan berdasarkan operasi pada gambar 1 diatas sebagai berikut :

$$G_1 = 0,250 \frac{273}{273 + 26} \frac{1,07 \times 10^5}{10133 \times 10^5} \frac{1}{22,4} = 0,01075 \text{ kmol/detik}$$

$$y_1 = 0,02$$

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0,02}{1 - 0,02} = 0,0204 \frac{\text{kmol benzen}}{\text{kmol dry gas}}$$

$$G_s = G_1 (1 - y_1) = 0,01075 (1 - 0,02) = 0,01051 \text{ kmol dry gas/detik}$$

Light oil vapor yang terdapat di gas umpan diharapkan bisa terserap solven sebanyak 95% :

$$Y_2 = 0,05 (Y_1) = 0,05 (0,0204) = 0,00102 \frac{\text{kmol benzen}}{\text{kmol dry gas}}$$

$$x_2 = 0,005 \text{ mole}$$

$$X_2 = \frac{x_2}{1 - x_2} = \frac{0,005}{1 - 0,005} = 0,00503 \frac{\text{kmol benzen}}{\text{kmol oil}}$$

Tekanan uap Benzen pada temperatur operasi 26 °C adalah 100 mmHg (= 13.330 N/m²), sehingga persamaan larutan ideal untuk Benzen adalah :

$$P^* = 13.330 x$$

Koreksi persamaan larutan ideal Benzen sebagai berikut :

$$y^* = \frac{P^*}{P_{total}} = \frac{13.330 x}{1,07 \times 10^5} = 0,125 x$$

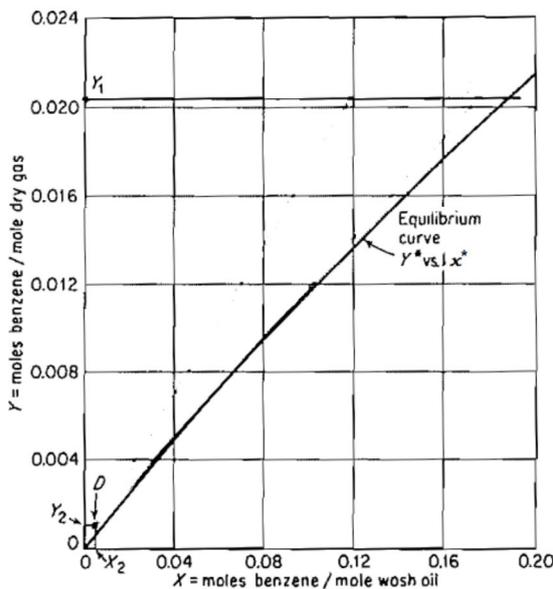
Bila dalam mole ratio :

$$\frac{y^*}{1 - y^*} = 0,125 \frac{x^*}{1 - x^*}$$

$$Y^* = 0,125 X^*$$

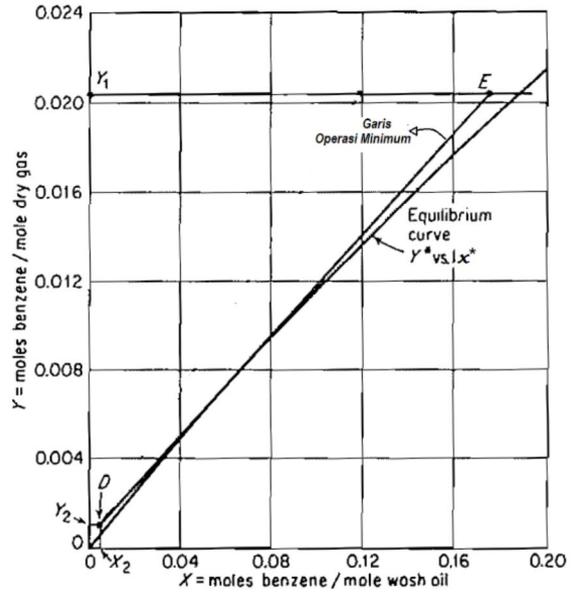
maka : $\frac{Y^*}{1 + Y^*} = 0,125 \frac{X^*}{1 + X^*}$ (persamaan garis kesetimbangan)

Selanjutnya persamaan garis kesetimbangan, titik (Y_2, X_2) , dan Y_1 tersebut di plot seperti pada gambar 4 berikut ini :



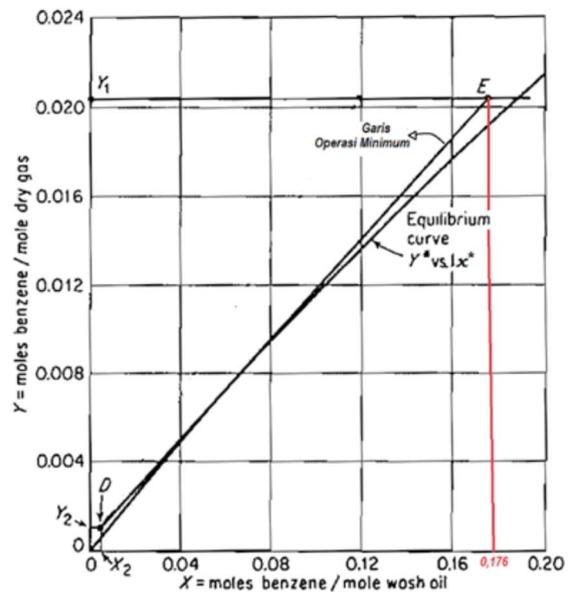
Gambar 4 : kurva kesetimbangan untuk contoh studi kasus

Dari titik D pada gambar 4 diatas dibuat garis operasi minimum yang menyinggung kurva kesetimbangan dan memotong dititik E seperti pada gambar 5 berikut ini :



Gambar 5 : Garis DE adalah garis operasi minimum untuk contoh studi kasus

Dari titik E ditarik garis ke bawah (garis merah) maka didapatkan harga saat laju sirkulasi solvent minimum seperti pada gambar 6 berikut ini :



Gambar 6 : Penentuan harga X_1 dengan laju sirkulasi solvent minimum pada contoh studi kasus

Maka besarnya laju sirkulasi pelarut minimum pada proses absorpsi gas pada kasus ini adalah :

$$L_{s \text{ minimum}} = \frac{G_s (Y_1 - Y_2)}{X_1 - X_2}$$

$$L_{s \text{ minimum}} = \frac{0,01051(0,0204 - 0,00102)}{0,176 - 0,00503}$$

$$= 1,190 \times 10^{-3} \text{ kmol oil/detik}$$

Untuk $L_{opt} = 1,5 \times L_{s \text{ minimum}}$, maka besarnya laju sirkulasi pelarut optimum (operasi) adalah :

$$L_{opt} = 1,5 (1,190 \times 10^{-3})$$

$$= 1,787 \times 10^{-3} \text{ kmol/detik}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa laju sirkulasi pelarut dari proses gas absorpsi contoh kasus diatas bisa dioperasikan dengan rentang $1,190 \times 10^{-3}$ sampai dengan $1,787 \times 10^{-3}$ kmol/detik.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari contoh studi kasus diatas dapat disimpulkan :

Referensi :

- Treybal, Robert. E, "Mass Transfer Operations", 3rd ed, 1981, Mc Graw Hill Book Company, USA.
- Geankoplis, Christie. J, "Transport Process and Unit Operations", 3rd ed, 1993, Prentice Hall Inc, USA
- Foust, Alan. S, "Principles of Unit Operations", 2nd pr, Willey International, USA

Penulis :

Widyaiswara Madya PPSDM Migas

1. Perhitungan dalam penentuan laju sirkulasi pelarut absorbent pada proses gas absorpsi dengan metode grafis dapat diaplikasikan dengan data desain yang tersedia.
2. Metode perhitungan grafis untuk menentukan laju sirkulasi pelarut pada proses gas absorpsi memerlukan data kesetimbangan uap-liquid dan hasil analisis komposisi gas (untuk menentukan konsentrasi awal komponen gas yang mengalami difusi)
3. Data kesetimbangan uap-liquid yang digunakan untuk menentukan laju sirkulasi pelarut pada proses gas absorpsi didapatkan melalui percobaan laboratorium, literatur, atau manual peralatan.

B. Saran

Agar dilakukan pengambilan data-data lapangan dan dilakukan perhitungan laju sirkulasi dengan metode grafis pada lapangan-lapangan gas lainnya guna mengetahui durability dari metode grafis tersebut. Selanjutnya, hasil perhitungan tersebut dibandingkan dengan nomograf dimana data-data lapangan gas tersebut didapatkan.