

Unjuk Kerja Separator Gas Liquid Cylindrical Cyclone (GLCC Metering Loop)

Marwan Effendy

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. Ahmad Yani, Tromol Pos I Pabelan, Surakarta 57012 Indonesia

Email: Marwan.Effendy@ums.ac.id

Abstract

This paper presents an experimental study of the performance of gas liquid cylindrical cyclones (GLCC metering loop) which is commonly used in petroleum industry for separation of multiphase flow. A model within laboratory scale was made from transparent material in this study. Experimental data were acquired using specimen with I.D of 6.25 cm; 140 cm high and inlet tangential with inclined angle of 30°. Investigated parameter included five-design position of recombination point at the exit flow of GLCC metering loop. Some aspects such as superficial gas velocity, superficial liquid velocity, equilibrium liquid level, liquid carry over, and gas carry under were assessed during the experiment. The results showed that the ratio of gas and liquid flow velocity plays an important role to the equilibrium liquid level and regime flow inside the GLCC separator. Four type regimes flow, i.e. bubble, packed bubble, slug and churn flow, were captured inside the vertical cylindrical cyclone as the effect of various gas-liquid flow ratios at the inlet tangential, including the different position of recombination point.

Keywords: *GLCC metering loop, superficial liquid velocity, equilibrium liquid level*

Abstrak

Separator siklon silinder vertikal (*Gas Liquid Cylindrical Cyclones*) merupakan alat pemisahan aliran multifase yang umum dipergunakan dalam industri perminyakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi unjuk kerja dan perilaku hidrodinamika fluida separator *GLCC metering loop* pada pemisahan aliran campuran udara dan air. Eksperimen dilakukan dengan membuat separator skala uji laboratorium menggunakan pipa *acrylic plexyglass* diameter 6,25 cm, tinggi 140 cm dengan sistem inlet tangensial pada sudut inklinasi 30° serta dilengkapi 5 variasi posisi saluran keluaran. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan debit udara dan efek posisi saluran keluaran (*recombination point*). Beberapa aspek penting seperti kecepatan superficial gas (V_{sg}), kecepatan superficial cairan (V_{sl}), level cairan kesetimbangan (L_{eq}), *liquid carry over (LCO)* dan *gas carry under (GCU)* menjadi perhatian selama percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa empat regim aliran yaitu aliran gelembung (*bubble flow*), aliran gelembung paket (*packed bubble flow*), aliran kantung gas atau sumbat cair (*slug flow*) dan aliran acak (*churn flow*) dipengaruhi oleh konfigurasi rasio aliran gas-cairan dan posisi rekombinasinya. Rasio kecepatan superficial antara udara dan cairan memainkan peran penting terhadap terbentuknya regim aliran dan ketinggian level cairan kesetimbangan.

Kata kunci: *GLCC metering loop, kecepatan cairan superficial, level cairan kesetimbangan*

1. Pendahuluan

Pemisahan aliran multifase dari sumur minyak merupakan isu utama di industri perminyakan dan gas. Teknologi separator telah lama diaplikasikan oleh industri perminyakan untuk proses pemisahan produk fluida seperti campuran *liquid-liquid (LL)*, *liquid-solid (LS)*, *gas-liquid (GL)* dan *gas-solid (GS)*. Berpuluh-puluh tahun industri perminyakan telah mempergunakan separator konvensional tipe bejana (*vessel-type separator*) yang memiliki dimensi relatif panjang, bobotnya berat, serta memerlukan investasi dan operasional yang lebih mahal.

Dalam perkembangannya, penerapan teknologi separator yang lebih sederhana dan ringan berhasil diwujudkan dengan ditandai munculnya *compact-type separator* yang dikenal dengan *Gas-Liquid Cylindrical Cyclone (GLCC)* untuk memisahkan gas dan cairan [1]. Beberapa literatur mencatat bahwa biaya pengoperasian separator jenis ini tergolong lebih murah dan mudah perawatannya jika dibandingkan dengan tipe *vessel* [2]. Separator *GLCC* terdiri dari selongsong pipa vertikal dengan saluran pemasukan di tengah siklon yang dipasang secara tangensial terhadap sumbu horizontal. Saluran pengeluarannya terdiri dari dua buah, satu terletak di atas untuk pengeluaran gas dan satu lagi di bawah untuk pengeluaran cairan. Konsep desain *GLCC* dan aplikasinya telah dikembangkan Kouba *et al.* [3].

Sebuah publikasi mencatat bahwa empat model separator *GLCC* telah berhasil dikembangkan untuk keperluan a) *metering loop with single-phase meter*, b) *metering loop with multiphase meters*, c) pemisahan awal (*pre-separation*),

dan d) pemisahan produk (*full separation*), yang dipergunakan secara nyata di industri. Model mekanika juga telah dikembangkan untuk keperluan prediksi perilaku aliran di dalam siklon [4]. Dalam tahun yang sama, fenomena *liquid carry-over (LCO)* yang mempengaruhi kinerja *GLCC* telah berhasil diungkap secara eksperimen dan teoritis. Pada komposisi laju aliran gas rendah dan cairan yang tinggi, terbentuk aliran *churn* di bagian atas siklon vertikal, sedangkan komposisi sebaliknya dengan laju aliran cairan rendah dan gas yang tinggi mengakibatkan terbentuknya aliran *annular*.

Peneliti yang lain melaporkan bahwa efek geometri dan karakteristik fluida menjadi aspek penting yang menarik perhatian ilmuwan untuk diselidiki korelasinya terhadap perilaku hidrodinamika aliran dalam *GLCC*. Tiga macam diameter *inlet tangensial*, empat variasi viskositas cairan dan efek *surfactant* diamati pengaruhnya terhadap unjuk kerja *GLCC* [5]. Desain *GLCC* dengan *dual-inlet tangensial* juga meningkatkan kinerjanya karena memicu terjadinya pemisahan awal di bagian tersebut. Nilai level cairan kesetimbangan (L_{eq}) mengalami peningkatan dengan adanya kenaikan rugi-rugi gesek pada bagian *liquid leg* sebagai efek naiknya viskositas cairan. Untuk *LCO*, hasil penelitian ini sejalan dengan penyelidikan sebelumnya terkait L_{eq} , *zero-net liquid flow holdup* dan daerah pengoperasian (*operational envelope*). Parameter bentuk inlet lebih lanjut dikembangkan oleh Erdal dan Shirazi [6] dengan mencoba saluran inlet tangensial tunggal, ganda dan mengadopsi prinsip nosel, meskipun penelitian ini belum memberikan perbaikan kinerja *GLCC* yang signifikan untuk geometri "*gradually reduced inlet nozzle*" jika dibandingkan dengan bentuk lainnya.

Kinerja *GLCC metering loop* semakin sempurna dengan diterapkannya sistem kendali tekanan dan level cairan untuk mereduksi *liquid over-flow* ke dalam *gas leg* maupun *gas blow-out* melalui bagian *liquid leg*. Dengan diterapkannya sistem kontrol terintegrasi juga memperbaiki zona pengoperasian karena mampu mengantisipasi kerja *GLCC* pada laju aliran gas dan cairan yang lebih tinggi [7]. Dua kondisi yang mempengaruhi kinerja *GLCC*, yaitu *liquid carry-over (LCO)* dan *gas carry-under (GCU)* juga mampu dikendalikan dengan lebih maksimal. Hal ini artinya penerapan kontrol memungkinkan perbaikan pemisahan produk pada rasio gas-cairan yang lebih tinggi untuk gas kondisi basah (*wet gas*) [8][9]. Kecepatan gas yang tinggi memicu *LCO* yang berlebihan dalam bentuk butiran dan cairan film di daerah aliran *annular*. Fenomena *LCO* pada aliran tiga-fase (oli, air dan udara) di dalam *GLCC* telah dievaluasi oleh Kolla et al. [10], yang mencatat bahwa viskositas cairan memainkan peran penting terhadap pengoperasian *GLCC* dan faktor *surface tension* mempengaruhi kecepatan *annular mist*.

Perkembangan teknologi komputasi mendorong kemajuan pengembangan riset separator *GLCC*, diantaranya Gutterrez et al. [11] untuk mensimulasikan aliran 3D dalam *GLCC* dan fenomena vortex, Hreiz et al. [12] memvisualisasikan aliran *single-phase swirl* di dalam *GLCC*, Le [13] memodelkan pola aliran pada *inlet tangensial* dan di dalam siklon *GLCC*, dan Ghasemi et al. [14] tentang optimisasi kondisi pengoperasian *GLCC* dengan mereduksi terjadinya *GCU* dan *LCU*. Penelitian terkini oleh Yue et al. [15] telah menginvestigasi rezim dan perilaku aliran pada fenomena *upper swirling liquid film (USLF)*. Empat rezim aliran berhasil divisualisasi yaitu aliran *swirl*, *churn*, *annular*, dan *ribbon*. Laju aliran gas-cairan dan karakteristik fluida memiliki peran penting pada perubahan *USLF*. Berdasarkan rezim alirannya, efek *USLF* pada *LCO* dapat dibagi menjadi tiga tahap yaitu *safety stage*, *deteriorating stage*, dan *stable stage* dimana masing-masing identik dengan aliran *swirl*, *churn* dan *annular*.

Dalam dekade terakhir, separator *Gas-Liquid Cylindrical Cyclone (GLCC)* menjadi topik menarik perhatian kalangan ilmuwan di berbagai belahan dunia, terutama yang menekuni di industri pengolahan minyak dan gas. Pendekatan secara eksperimental maupun komputasi juga telah diterapkan dalam penelitian untuk mengembangkan separator tersebut. Sebagian besar penelitian memanfaatkan media air dan udara sebagai fluida kerja separator untuk keperluan penyelidikan, bahkan oli dan surfaktan juga dipergunakan dalam beberapa percobaan. Merujuk beberapa penelitian yang telah dilakukan tersebut, eksperimen ini bertujuan untuk mengevaluasi unjuk kerja dan perilaku hidrodinamika fluida dalam *GLCC metering loop* dengan berbagai variasi laju aliran dan efek posisi saluran keluaran (*recombination point*). Pola aliran di dalam tabung silinder vertikal juga diselidiki dalam eksperimen ini.

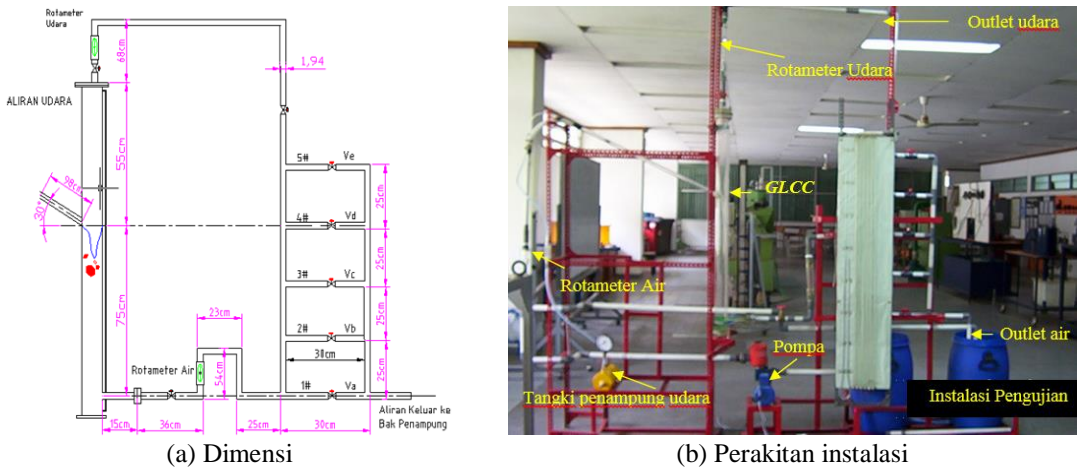
2. Eksperimen

2.1. Geometri dan Instalasi Pengujian

Langkah awal dalam penelitian ini melakukan desain separator dan pembuatan instalasi pengujian skala laboratorium sebagaimana pada gambar 1. Eksperimen dilakukan di laboratorium Hidrodinamika, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Desain separator ini diadaptasi dari model *GLCC* yang pernah diteliti oleh Arpandi et al. [1] dan Effendy [16] dengan memodifikasi ukuran dan jumlah saluran rekombinasi keluaran. Detail geometri ditunjukkan pada gambar 1(a), sedangkan alat uji *GLCC metering loop* dalam kondisi terakit seperti gambar 1(b). Untuk keperluan selama percobaan, instalasi separator *GLCC metering loop* dibuat dari material *acrylic plexyglass* berdiameter 6,25 cm, tinggi 140 cm dengan sistem inlet tangensial pada sudut inklinasi 30°. Lima posisi variasi saluran keluaran (*recombination point*) dibuat dengan penambahan ketinggian tiap 25 cm. Satu diantara posisi rekombinasi tersebut memiliki ketinggian yang sama dengan posisi saluran *inlet tangensial*. Alat pengukur kecepatan superfisial udara dan cairan ditempatkan seperti pada gambar 1.

Uji kebocoran dilaksanakan dengan cara mengisi air hingga penuh ke seluruh bagian instalasi pengujian, dimana posisi inlet tangensial dan keluaran diberikan saluran tambahan (*extension*) untuk mengatur level cairan di dalam *GLCC metering loop*. Udara bertekanan disuntikan melalui saluran inlet tangensial untuk memberikan tekanan tabung yang lebih tinggi, sehingga kebocoran bisa diamati. Apabila tidak didapati kebocoran maka percobaan bisa dilakukan dengan

mengatur variasi laju aliran masuk gas maupun cairan pada semua posisi titik rekombinasi. Pengaturan aliran keluar dikontrol oleh buka-tutup katup V_a hingga V_e untuk mendapatkan variasi titik rekombinasi (lihat gambar 1(a)).



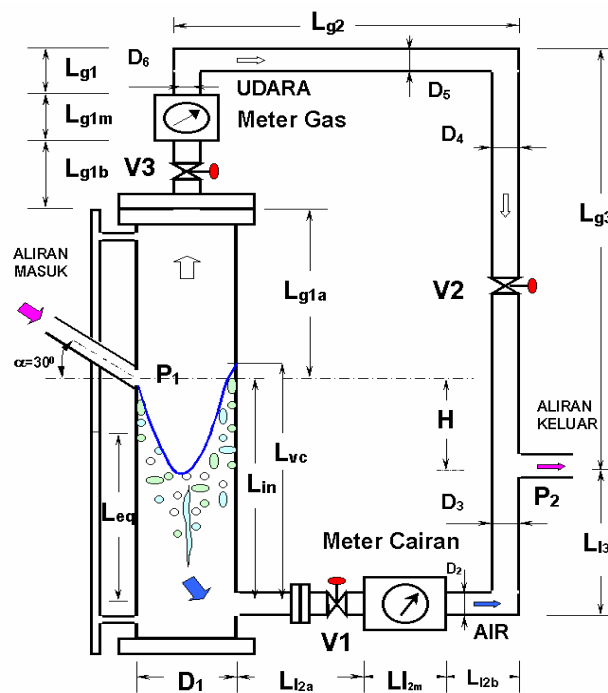
Gambar 1. Instalasi Percobaan separator GLCC metering loop

2.2. Prinsip Kerja GLCC dan Level Cairan Kesetimbangan

Prinsip kerja separator GLCC yaitu aliran multifase didorong masuk ke dalam GLCC melalui saluran inlet tangensial (lihat gambar 2). Desain konstruksi inlet secara tangensial menyebabkan aliran membentuk gerakan yang berputar-putar saat memasuki GLCC dan menimbulkan gaya sentrifugal. Proses yang berlangsung secara kontinyu akan terbentuk aliran vorteks. Adanya gaya sentrifugal maka akan mendesak cairan menuju dinding dan akibat gaya gravitasi cairan bergerak turun, selanjutnya cairan keluar melalui saluran outlet bagian bawah. Sementara gas yang mempunyai sifat ringan bergerak keluar melewati lubang atas menuju pusat GLCC.

Level cairan kesetimbangan (*equilibrium liquid level*) merupakan indikator yang menunjukkan sejumlah cairan di dalam GLCC. Untuk aliran dua fase, level cairan mungkin berada di bawah atau di atas saluran inlet. Posisi level cairan bergantung pada kondisi pengoperasiannya. Level cairan dapat diukur dengan menempatkan skala indikator pada GLCC. Level cairan akan terlihat jelas pada tabung indikator ketika GLCC dioperasikan.

Sistem separator GLCC didesain secara *multiphase metering loop* maupun *pre-separation*, menurut Movafaghian et al. [5], level cairan sebaiknya dijaga dibawah saluran inlet untuk menghindari terbawanya butiran cairan ke dalam saluran percabangan gas. Berkaitan dengan level cairan kesetimbangan (L_{eq}), maka dalam mendesain separator GLCC perlu mempertimbangkan penempatan posisi saluran keluaran terhadap saluran inlet.



Gambar 2. Parameter Spesimen GLCC

Menurut Arpandi *et al.* [1], dengan merujuk parameter geometri spesimen uji gambar 2, penurunan tekanan dalam saluran cairan bisa diformulasikan sebagai persamaan 1.

$$\Delta P_l = \rho_l g(L_{eq} - L_{l_3}) + \rho_g g(L_{in} - L_{eq}) - \left(\Phi_l + \frac{f_l L_{eq}}{D_1} \frac{\rho_l v_l^2}{2} \right) \quad (1)$$

Penurunan tekanan dalam saluran gas,

$$\Delta P_g = \rho_g g(L_{g_3} - L_{g_1}) - \Phi_g \quad (2)$$

Rugi tekanan karena gesekan dalam cairan,

$$\Phi_l = \frac{\rho_l}{2} \left(\sum_{i=1}^m \frac{f_i L_i v_i^2}{D_i} + \sum_{i=1}^n K_i v_i^2 \right)_l \quad (3)$$

Rugi tekanan karena gesekan dalam gas,

$$\Phi_g = \frac{\rho_g}{2} \left(\sum_{i=1}^p \frac{f_i L_i v_i^2}{D_i} + \sum_{i=1}^q K_i v_i^2 \right)_g \quad (4)$$

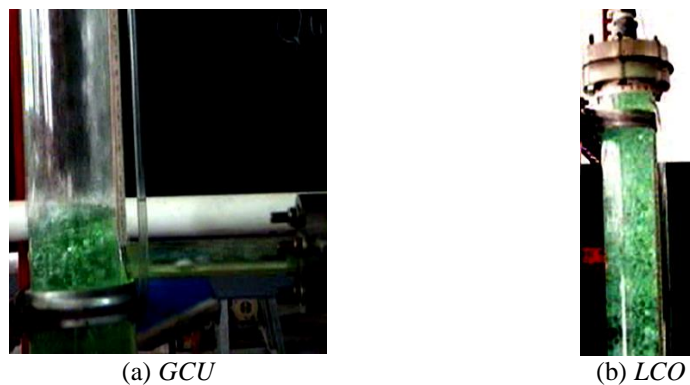
Bagian depan dari persamaan (3) dan (4) merepresentasikan rugi-rugi gesekan dalam segmen pipa yang berbeda dan bagian kedua merupakan rugi-rugi yang berupa belokan serta percabangan (*fitting*). Notasi m dan n masing-masing menunjukkan jumlah segmen pipa dan *fitting* dalam saluran cairan, sedangkan p dan q merupakan elemen saluran gas.

Dengan mempersamakan penurunan tekanan gas dan cairan serta mengabaikan interaksi hidrodinamik antara kedua fasenya, yakni

$$L_{eq} = \frac{\Phi_l - \Phi_g + \rho_l g L_{l_3} - \rho_g g(L_{in} + L_{g_1} - L_{g_3})}{g(\rho_l - \rho_g) - \left(\frac{f_l}{D_1} \frac{\rho_l v_l^2}{2} \right)} \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pada percobaan separator *GLCC metering loop* dengan variasi lima posisi saluran keluaran (*recombination point*), setiap pengaturan laju aliran gas dan maupun gas diamati fenomena yang terjadi di dalam tabung siklon silinder vertikal. Selain itu, pada setiap perubahan posisi rekombinasi diamati alirannya dikaitkan dengan fenomena *LCO* dan *GCU*. Dalam penelitian ini, pengukuran debit masuk dan keluarnya gas dengan mempergunakan *rotameter* skala 10 ÷ 70 scfh, sedangkan debit air menggunakan *rotameter* skala 1 ÷ 14 GPM. Berdasarkan percobaan, fenomena di dalam *GLCC* dipengaruhi oleh perubahan rekombinasi, debit udara masuk dan debit cairan masuk yang menyebabkan perubahan jenis aliran dan level cairan kesetimbangan (L_{eq}).



Gambar 3. Fenomena GCU dan LCO

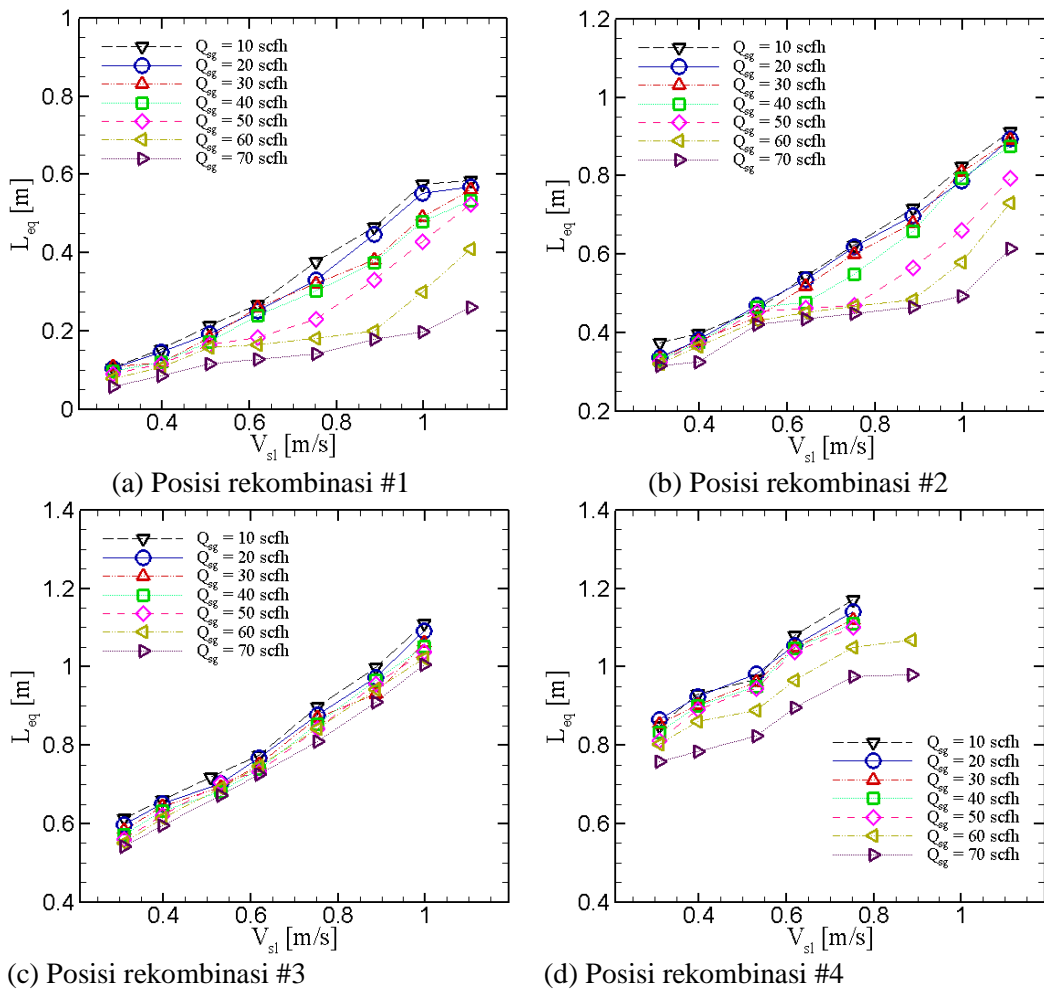
Gambar 3(a) merupakan fenomena terjadinya penyusupan gelembung-gelembung gas dalam cairan melewati saluran keluaran cairan, yang peristiwa ini sering dikenal dengan *gas carry under (GCU)*. Peristiwa ini terjadi apabila posisi L_{eq}

jauh di bawah inlet, sehingga gas terbawa keluar bersamaan dengan cairan melalui saluran keluaran cairan. Gambar 3(b) merupakan fenomena terjadinya penyusupan cairan bersamaan dengan gas melewati saluran keluaran gas, yang dikenal dengan *liquid carry over (LCO)*. Peristiwa ini terjadi pada posisi L_{eq} jauh di atas inlet, sehingga cairan terbawa keluar bersamaan dengan gas melalui saluran keluaran gas.

3.1. Karakteristik Level Cairan Kesetimbangan (L_{eq})

Gambar 4(a) – 4(d) menggambarkan hubungan antara kecepatan cairan superficial (V_{sl}) dan level cairan kesetimbangan (L_{eq}) pada berbagai variasi laju aliran gas (Q_{sg}) antara 10-70 scfh, untuk empat posisi titik rekombinasi yang berbeda. Secara umum, variasi rekombinasi memainkan peran penting pada perubahan nilai L_{eq} . Semakin titik posisi titik rekombinasi, semakin meningkat besarnya L_{eq} . Pada laju aliran cairan yang sama, nilai L_{eq} mengalami penurunan pada laju aliran gas yang semakin meningkat.

Gambar 4(a) menunjukkan hubungan L_{eq} terhadap laju aliran cairan pada posisi rekombinasi #1 dengan variasi laju aliran gas. Posisi rekombinasi #1 memiliki beda ketinggian antara posisi *inlet* tangensial dan posisi keluaran sebesar 75 cm. Konfigurasi pengujian seperti ini diperoleh dengan menutup katup V_b hingga V_e dan membiarkan katup V_a terbuka (lihat gambar 1(a)). Semakin meningkat kecepatan cairan superficial menyebabkan level cairan mengalami kenaikan. Kinerja separator pada pengesetan posisi rekombinasi #1 kurang menguntungkan karena level cairan berada di bawah inlet sehingga kinerjanya kurang optimal. Nilai L_{eq} sangat rendah pada laju aliran gas dan cairan yang sama rendahnya. Peningkatan laju aliran gas pada saluran masuk justru menurunkan nilai L_{eq} . Perbedaan penurunan semakin nyata pada laju aliran cairan yang semakin tinggi. Pengoperasian separator seperti ini sebaiknya dihindari karena akan berpeluang terjadi penyusupan udara dalam saluran keluaran air atau disebut *gas carry under (GCU)*.



Gambar 4. Level cairan kesetimbangan pada pemisahan udara dan air

Pada pembukaan katup V_b dan menutup semua katup lain pada saluran keluaran menghasilkan data pengujian seperti terlihat pada gambar 4(b). Posisi rekombinasi #2 ini menyebabkan adanya perbedaan ketinggian antara posisi *inlet* dan *outlet* sebesar 50 cm. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan level cairan dibanding saat pengoperasian posisi rekombinasi #1, sehingga kinerja separator lebih baik ditinjau dari aspek ketinggian nilai L_{eq} . Pada komposisi rasio kecepatan aliran gas yang relatif rendah dengan aliran cairan yang tinggi mengakibatkan nilai L_{eq}

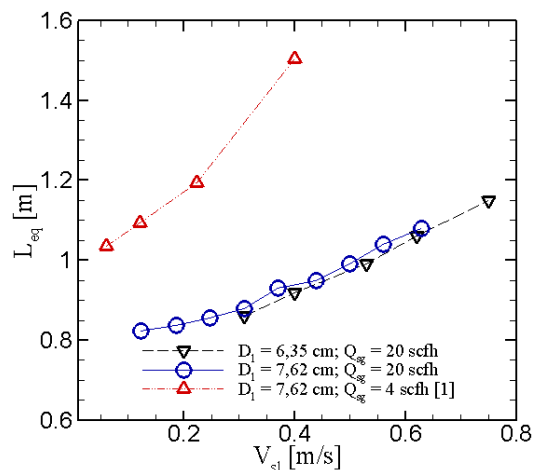
melampaui ketinggian di atas *inlet* tangensial. Nilai L_{eq} akan tereduksi apabila terjadi penurunan laju aliran cairan masuk melalui *inlet* tangensial. Nilai L_{eq} tersebut juga akan tereduksi lebih ekstrim jika laju aliran gas terjadi kenaikan yang semakin besar. Pada level cairan di bawah 40 cm kemungkinan masih terdapat resiko terjadinya *GCU*. Kinerja separator dianggap optimal apabila posisi level cairan berada di sekitar inlet untuk menghindari fenomena *GCU* maupun *LCO*.

Gambar 4(c) menunjukkan hubungan L_{eq} terhadap kecepatan cairan superficial pada posisi rekombinasi #3, yang memiliki perbedaan posisi *inlet* dan *outlet* sebesar 25 cm. Kinerja pada rekombinasi #3 kondisinya semakin baik dibandingkan konfigurasi #1 dan #2, sehingga efisiensi semakin meningkat. Pada komposisi $V_{sl}=1,107$ m/s fenomena *LCO* secara visual terjadi, namun kejadian ini dipandang masih layak diterapkan sepanjang air tidak menyusup melalui saluran udara. Perbedaan posisi *inlet* dan *outlet* yang semakin tipis memicu dominasi nilai L_{eq} melebihi posisi *inlet* tangensial pada berbagai komposisi laju aliran gas dan cairan. Fluktuasi perubahan nilai L_{eq} juga semakin tereduksi dibandingkan gambar 4(a) dan 4(b). Hal ini mengindikasikan potensi peristiwa *GCU* maupun *LCO* bisa diminimalisasi dengan menurunkan perbedaan posisi *inlet* tangensial dan *outlet* pada batas kewajaran.

Karakteristik pemisahan produk dengan penerapan posisi rekombinasi #4 ditunjukkan gambar 4(d). Konfigurasi ini memiliki perbedaan ketinggian antara posisi *inlet* tangensial dan *outlet* sebesar 0 cm atau level *inlet* tangensial sama tingginya terhadap saluran pengeluaran. Kerja separator pada kecepatan cairan superficial $V_{sl} = 0,332$ m/s merupakan kinerja paling optimal dimana level cairan kesetimbangan berada di atas daerah *inlet* tangensial, sehingga kerja separator dapat optimal. Pada kecepatan cairan superficial $V_{sl} = 0,886$; $0,997$; dan $1,107$ m/s, pengambilan data tidak dapat dilakukan karena terjadi *LCO* yang berlebihan sehingga menyebabkan penyusupan air dalam indikator level cairan.

Kondisi sangat ekstrim pada saat dioperasikan pada posisi rekombinasi #5, dimana posisi saluran keluaran 25cm lebih tinggi dibandingkan posisi *inlet* tangensial. Kerja separator *GLCC* menjadi sangat tidak optimal karena hampir semua rasio gas dan cairan menjadi tidak efektif. Menurut Wang *et al.* [7][17], pada kondisi seperti ini pengaturan bukaan katup berbasis *automatic control* menjadi sangat diperlukan untuk mengendalikan level cairan kesetimbangan yang cenderung fluktuatif. Hal ini karena kinerja separator *GLCC* sangat tergantung pada level cairan dan perbedaan pressure cairan yang terjadi di dalam siklon.

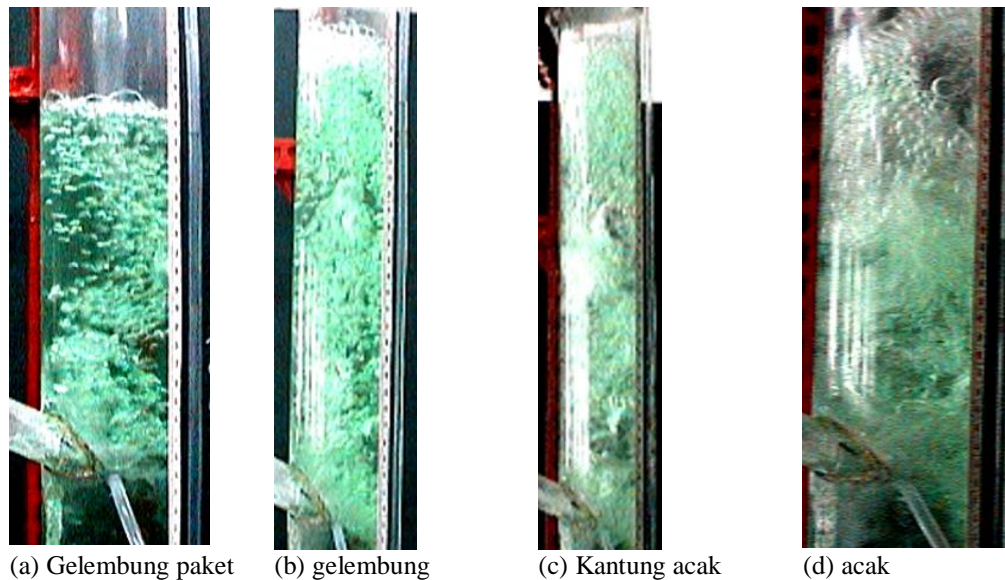
Gambar 5 memberikan perbandingan level cairan kesetimbangan dalam penelitian ini terhadap eksperimen yang telah dilakukan Arpandi *et al.* [1] pada pengesetan aliran gas 4 scfh. Secara umum, hasil penelitian ini konsisten dengan capaian eksperimen lain yang serupa, dimana nilai L_{eq} meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan cairan superficial (V_{sl}). Desain tabung siklon dengan diameter yang berbeda tidak memberikan perbedaan nilai L_{eq} yang besar, meskipun ada pergeseran zona kecepatan cairan superficial. Penggunaan tabung siklon dengan diameter lebih besar ($D_1 = 7,62$ cm) memungkinkan pengoperasian *GLCC* dengan kecepatan cairan superficial lebih tinggi.



Gambar 5. Perbandingan level cairan kesetimbangan

3.2. Perilaku Hidrodinamika Fluida di dalam GLCC

Gambar 6 menunjukkan hasil visualisasi regim aliran dalam *GLCC metering loop* pada posisi rekombinasi #4 dengan mempertahankan debit aliran air antara 2-3 GPM. Ada empat rezim aliran yang terbentuk sebagai akibat dari perubahan rasio gas dan cairan yang masuk dalam tabung *GLCC*. Aliran gelembung (*bubble flow*) muncul saat aliran superficial gas 10 scfh. Aliran gelembung paket (*packed bubble flow*) terbentuk jika aliran superficial gas dinaikkan antara 20-40 scfh. Pola aliran kantung gas atau sumbat cair (*slug flow*) terjadi pada saat aliran superficial gas ditingkatkan antara 50-60 scfh. Pertambahan aliran superficial gas sekitar 70 scfh membentuk aliran acak (*churn flow*).



Gambar 6. Pola aliran di dalam siklon GLCC

4. Kesimpulan

Unjuk kerja separator GLCC dipengaruhi oleh konfigurasi kecepatan gas superficial (V_{sg}), kecepatan cairan superficial (V_{sl}), dan posisi titik rekombinasi. Konfigurasi ketiganya memainkan peran penting adanya perbedaan perilaku hidrodinamika seperti *liquid carry over (LCO)* dan *gas carry under (GCU)*. Peningkatan kecepatan superficial gas memicu penurunan level cairan kesetimbangan (L_{eq}). Ada empat regim aliran yang terbentuk dalam silinder vertikal GLCC yaitu aliran gelembung, aliran gelembung paket, aliran kantung gas dan aliran acak.

5. Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada Sdr. Barkah, Dimas dan Pardam atas kerjasamanya dalam membantu penyiapan instalasi dan spesimen pengujian.

Daftar Pustaka

- [1] I. A. Arpandi, O. Shoham, S. A. Shirazi, and G. E. Kouba, "Hydrodynamics of Two-Phase Flow in Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators," *SPE J.*, December, pp. 427–438, 1996.
- [2] O. Shoham and G. E. Kouba, "State of The Art of Gas / Liquid Compact-Separator Technology," *SPE J.*, July, pp. 58–65, 1998.
- [3] G. E. Kouba, O. Shoham, and Siamack Shirazi, "Design and Performance of Gas Liquid Cylindrical Cyclone Separators," in *International Conference on "Multiphase 95,"* 1995.
- [4] L. E. Gomez *et al.*, "Enhanced Mechanistic Model and Field- Application Design of Gas / Liquid Cylindrical Cyclone Separators," June, 2000.
- [5] S. Movafaghian, J. A. Jaua-marturet, R. S. Mohan, O. Shoham, and G. E. Kouba, "The Effect of Geometry, Fluid Properties and Pressure on The Hydrodynamics of Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators," *Multiph. Flow J.*, vol. 26, pp. 999–1018, 2000.
- [6] F. M. Erdal and S. A. Shirazi, "Effect of the Inlet Geometry on the Flow in a Cylindrical," *Energy Resour. Technol. J.*, vol. 128, March 2006, pp. 62–69, 2006.
- [7] S. Wang, R. S. Mohan, O. Shoham, J. D. Marrelli, and G. E. Kouba, "Performance Improvement of Gas Liquid Cylindrical Cyclone Separators Using Integrated Level and Pressure Control Systems," *Energy Resour. Technol. J.*, vol. 122, no. December 2000, pp. 185–192, 2000.
- [8] S. Wang, L. E. Gomez, R. S. Mohan, O. Shoham, and G. E. Kouba, "Gas-Liquid Cylindrical Cyclone (GLCC©) Compact Separators For Wet Gas Applications," *Energy Resour. Technol. J.*, vol. 125, no. 1, pp. 43–50, 2003.
- [9] R. Molina, S. Wang, L. E. Gomez, R. S. Mohan, O. Shoham, and G. E. Kouba, "Wet Gas Separation in Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separator," *Energy Resour. Technol. J.*, vol. 130, December 2008, pp. 42701-1-42701-13, 2008.
- [10] S. S. Kolla and R. S. Mohan, "Experimental Analysis of Liquid Carry-Over in Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators," *Syst. Technol. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–14, 2008.
- [11] M. A. Reyes-gutiérrez, L. R. Rojas-solórzano, J. C. Marin-Moreno, and A. J. Melendez-Ramirez, "Eulerian-Eulerian Modeling of Disperse Two-Phase Flow in a Gas-Liquid Cylindrical Cyclone," *Fluids Eng. J.*, vol. 128, no. July 2006, pp. 832–837, 2006.
- [12] R. Hreiz, C. Gentric, and N. Midoux, "Chemical Engineering Research and Design Numerical investigation of

- swirling flow in cylindrical cyclones,” *Chem. Eng. Res. Des. J.*, vol. 89, no. 12, pp. 2521–2539, 2011.
- [13] L. Van Sy, “Influence of inlet angle on flow pattern and performance of gas-liquid cylindrical cyclone separator,” *Part. Sci. Technol.*, vol. 35, no. 5, pp. 555–564, 2017.
- [14] A. Ghasemi, M. Shams, and M. M. Heyhat, “A Numerical Scheme for Optimizing Gas Liquid Cylindrical Cyclone Separator,” *Process Mech. Eng. J.*, vol. 231, no. 4, pp. 836–848, 2017.
- [15] T. Yue, J. Chen, J. Song, X. Chen, Y. Wang, and Z. Jia, “Experimental and numerical study of Upper Swirling Liquid Film (USLF) among Gas-Liquid Cylindrical Cyclones (GLCC),” *Chem. Eng. J.*, vol. 358, pp. 806–820, 2019.
- [16] M. Effendy, “Pengaruh Posisi Rekombinasi Terhadap Kinerja Separator GLCC Metering Loop,” *Media Mesin J.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2005.
- [17] S. Wang, L. Gomez, R. Mohan, O. Shoham, G. Kouba, and J. Marrelli, “The State-of-the-Art of Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Control Technology: From Laboratory to Field,” *Energy Resour. Technol. J.*, vol. 132, no. September 2010, pp. 32701-1-32701-9, 2010.