

Perbandingan Transmitter Level Tipe *Displacer* dan *Differential Pressure* (DP) Untuk Pengukuran Antarmuka Minyak–Air: Studi Kasus pada Separator Tekanan Menengah

M Iqbal Matondang ^{*1,3}, Yanto^{1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51 Jakarta 12930.

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Raya Cisauk Lapan, Tangerang, Banten 15345

³PT Tri Panji Puring, Multivision Tower Lt. 3 Unit 306. Jl. Kuningan Mulia Lot 9B. Kelurahan Guntur, Kecamatan Setiabudi. Jakarta 12980

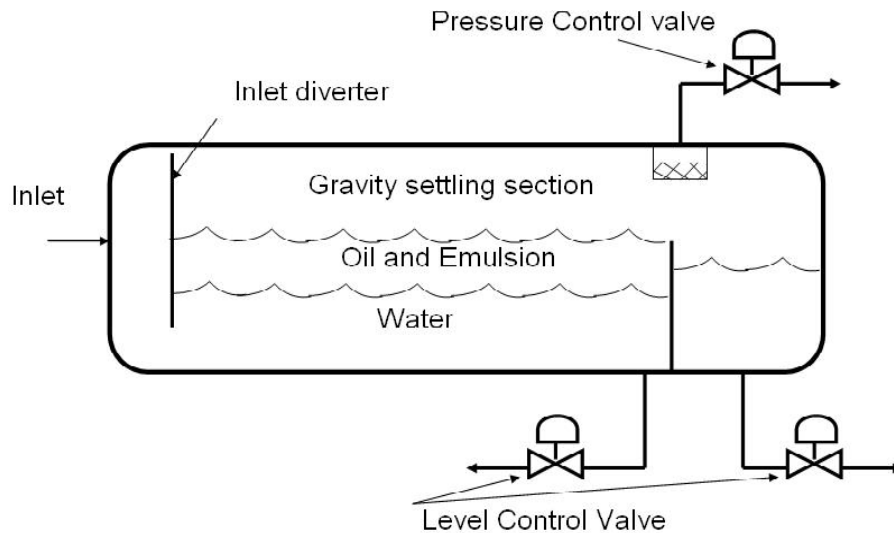
Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 15 December 2025 Accepted 04 February 2026 <i>Keywords:</i> Interface level measurement, specific gravity, Emulsion, Calibration, Commissioning	<i>The reliability of oil–water interface level control in three-phase separators is highly dependent on the accuracy and stability of level measurement instruments. This study evaluates the performance of displacer and differential pressure (DP) level transmitters for interface level measurement on the Medium Pressure (MP) Separator 532-V-02A at the CPP Hess Indonesia Pangkah LTD facility. The evaluation method was conducted through analysis of actual operating trending data and statistical assessment using standard deviation of the Process Variable (PV) for each instrument, with a sample size of N=50. The main results indicate that the DP level transmitter exhibits superior stability, with a standard deviation of 2.22% compared to 7.98% for the displacer, particularly under conditions where an emulsion layer is formed. The practical implications of these findings suggest that the DP level transmitter is more suitable for interface level control applications</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 15 Desember 2025 Diterima: 04 Februari 2026 Kata Kunci: Pengukuran level antarmuka, Berat Jenis, Emulsi, Kalibrasi, Komisioning.	Keandalan pengendalian level antarmuka minyak–air pada separator tiga fasa sangat bergantung pada akurasi dan stabilitas instrumen pengukuran level. Studi ini mengevaluasi kinerja displacer dan differential pressure (DP) level transmitter untuk pengukuran interface level pada <i>Medium Pressure (MP) Separator 532 V 02A</i> di fasilitas CPP Hess Indonesia Pangkah LTD. Metode evaluasi dilakukan melalui analisis data trending operasi aktual dan evaluasi statistik menggunakan simpangan baku (standard deviation) terhadap Process Variable (PV) dari masing masing instrumen dengan jumlah sampel N=50. Hasil utama menunjukkan bahwa DP level transmitter memiliki stabilitas yang lebih baik dengan simpangan baku 2,22% dibandingkan displacer sebesar 7,98%, terutama pada kondisi terbentuknya lapisan emulsi. Implikasi praktis dari hasil ini menunjukkan bahwa DP level transmitter lebih sesuai untuk aplikasi pengendalian interface level yang membutuhkan kestabilan tinggi dan minim fluktuasi kontrol pada industri migas.

*Corresponding author. M Iqbal Matondang
Email address: iqbalmatondang@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Separator tiga fasa merupakan peralatan proses utama pada fasilitas produksi migas yang berfungsi memisahkan minyak, air, dan gas berdasarkan perbedaan densitas pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu. Keberhasilan proses pemisahan ini sangat ditentukan oleh sistem pengukuran dan pengendalian level, khususnya pada antarmuka minyak–air.



Gambar 1.

Skematik separator tiga fasa horizontal

Di dalam separator tiga fasa, aliran fluida masuk dan menumbuk *inlet diverter* (pengarah aliran masuk) yang memulai proses pemisahan (lihat Gambar 1). Campuran cairan (minyak dan air) mengendap di dasar bejana, di mana air yang lebih padat mengendap di bawah lapisan minyak/emulsi yang lebih ringan. Pengendalian tingkat antarmuka (*interface level*) cairan-cairan ini sangat krusial untuk memastikan kualitas produk dan mencegah gangguan pada proses hilir (*downstream*).

Bagian pengumpulan cairan pada bejana menyediakan waktu tinggal yang cukup sehingga minyak dan emulsi membentuk lapisan atau 'oil pad' di bagian atas, sementara air mengendap di dasar. Untuk mengendalikan level antarmuka (*interface level*) antara minyak dan air, level air dikendalikan oleh level controller yang mengoperasikan water dump valve. Minyak meluap melewati sekat (*weir*) dan level minyak di sisi hilir sekat dikendalikan oleh level controller yang mengoperasikan oil dump valve. Kegunaan dari sebuah level controller sepenuhnya bergantung pada kemampuannya untuk mendeteksi dan mengendalikannya.

Pengukuran level antarmuka fluida sering kali mengandalkan dua teknologi umum: tipe *displacer* dan tipe transmitter level tekanan diferensial (*DP level transmitter*). Namun, keandalannya dapat terganggu oleh kondisi proses yang berubah-ubah, seperti perubahan berat jenis (*specific gravity*), konstanta dielektrik, dan keberadaan lapisan emulsi. Studi ini bertujuan untuk mengukur perbedaan kinerja antara kedua instrumen tersebut saat mengukur antarmuka minyak–air pada *Medium Pressure* (MP) separator yang sedang beroperasi.

Penelitian dan praktik industri dalam lima tahun terakhir menunjukkan bahwa keberadaan lapisan emulsi dapat secara signifikan mempengaruhi akurasi pengukuran level, baik pada instrumen berbasis gaya apung maupun tekanan hidrostatik (Reyna *et al.*, 2025; Liu *et al.*, 2026; ISO 2186; Skeie dan Halstensen, 2010). Emulsi menyebabkan perubahan densitas efektif dan profil tekanan, yang berpotensi menimbulkan ketidakstabilan sinyal

pengukuran. Beberapa studi sebelumnya membahas kelebihan dan keterbatasan *displacer* serta DP level transmitter secara teoritis, namun masih terbatas penelitian berbasis data operasi nyata yang membandingkan kestabilan kontrol kedua instrumen tersebut pada kondisi separator beremulsi.

Gap penelitian ini terletak pada kurangnya evaluasi kuantitatif berbasis data lapangan yang menilai performa kontrol *interface level* menggunakan parameter statistik sederhana namun relevan bagi operasi industri. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan kinerja *displacer* dan DP level transmitter untuk pengukuran *interface level* pada MP separator dengan menilai kestabilan sinyal dan performa kontrol di bawah pengaruh lapisan emulsi.

2. METODOLOGI

2.1 Konfigurasi Proses dan Instalasi Instrumen

Penelitian dilakukan pada MP Separator 532 V 02A yang beroperasi secara kontinyu. *Displacer* dan DP level transmitter dipasang pada elevasi tapping point yang sama untuk memastikan kesetaraan kondisi pengukuran. Karakteristik fluida diperoleh dari data laboratorium, dengan specific gravity air sebesar 1,1 dan minyak sebesar 0,93.

Studi ini dilakukan pada sebuah *Medium Pressure* (MP) separator 532 V 02A yang beroperasi secara kontinyu di lingkungan produksi. Separator tersebut menggunakan *transmitter level* tipe *displacer* dan tipe DP untuk perbandingan, yang dipasang dalam konfigurasi level antarmuka (*interface level*) standar. Kedua transmitter ditempatkan pada elevasi yang sama: titik sadapan (*tapping point*) atas sejajar dengan sekat (*weir*) di dalam separator MP (1443 mm), dan titik sadapan bawah pada -278 mm di bawah dasar bejana.

Fluida yang terlibat dikarakterisasi melalui analisis laboratorium:

- Minyak (air berminyak, fluida yang lebih ringan, S_2): Berat jenis (S_2) = 0,93
- Air (fluida yang lebih berat, S_1): Berat jenis (S_1) = 1,1

2.2 Prosedur Kalibrasi

2.2.1 *Displacer Level Transmitter*

Kalibrasi dilakukan dengan mengisi rumah *displacer* (*displacer housing*) dengan air. Nilai "nol" (*zero*) diatur pada 4 mA pada nilai rentang bawah (*lower range value*) dari *displacer*, dan rentang penuh (*span*) diatur pada 20 mA pada level 100%. Perubahan level cairan proses akan menyebabkan elemen *displacer*, yang ditumpu oleh sebuah pegas (*spring*), naik dan turun. Sebuah *armature*, yang terletak di dalam tabung tekanan pada bagian kepala (*head*), terhubung langsung ke *displacer* dan bergerak secara vertikal bersama elemen *displacer* tersebut. Di dalam selungkup (*enclosure*), sebuah *Linear Variable Differential Transformer* (*LVDT*) memberikan output yang sebanding dengan posisi *armature* tersebut. Panjang *displacer* ditentukan oleh rentang operasi yang ditentukan, berat jenis (*specific gravity*), tekanan, dan suhu proses.

2.2.2 *Differential Pressure (DP) Level Transmitter*

Kalibrasi memerlukan perhitungan *Upper Range Value* (*URV*) dan *Lower Range Value* (*LRV*) berdasarkan berat jenis dari fluida proses dan fluida segel (*seal fluid*). Silicone 200 ($S_f = 0,934$) dipilih sebagai cairan segel. Perhitungan rentang tekanan (*Span*) menggunakan rumus berikut untuk instalasi *wetted leg*:

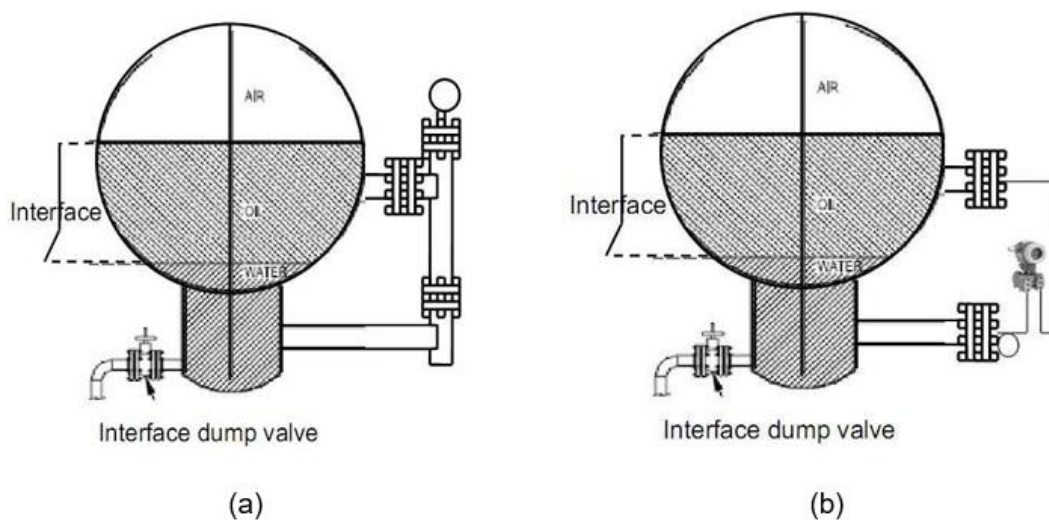
$$LRV (4mA) = (L \cdot S_2) - (h \cdot S_f) \dots\dots\dots (1)$$

$$HRV (20mA) = (L \cdot S_1) - (h \cdot S_f) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

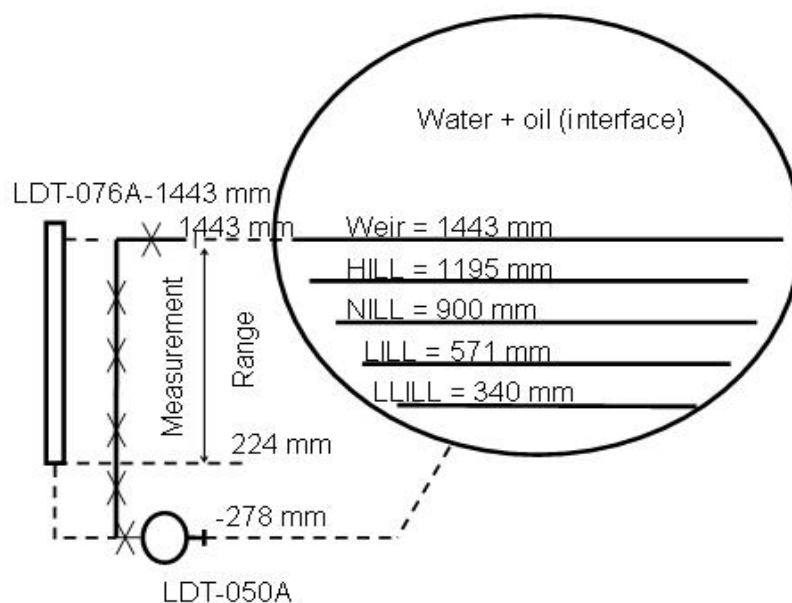
- L: Rentang level yang diukur (1937 mm dari titik sadapan bawah ke *weir*).
- S_1 : Berat jenis cairan yang lebih berat (1,1).
- S_2 : Berat jenis cairan yang lebih ringan (0,93).
- S_f : Berat jenis cairan segel (0,934)
- h: Panjang kolom cairan segel, yang dalam hal ini mewakili seluruh rentang pengukuran (*measurement span*).

Berdasarkan deviasi titik sadapan aktual (494 mm untuk 4 mA dan 1937 mm untuk 20 mA), rentang kalibrasi yang ditentukan adalah dari -65,585 mmH₂O (LRV) hingga 321,54 mmH₂O (URV)



Gambar 2.

Instalasi level transmitter tipe *Displacer* (a) dan *Differential Pressure* (DP) (b) untuk pengukuran level antar muka (*interface level*).



Gambar 3.

Instalasi Level transmitter tipe *Displacer* (LDT-076A) dan *Differential Pressure* (DP) (LDT-050A) pada MP Separator.

2.3 Metode Evaluasi Kinerja

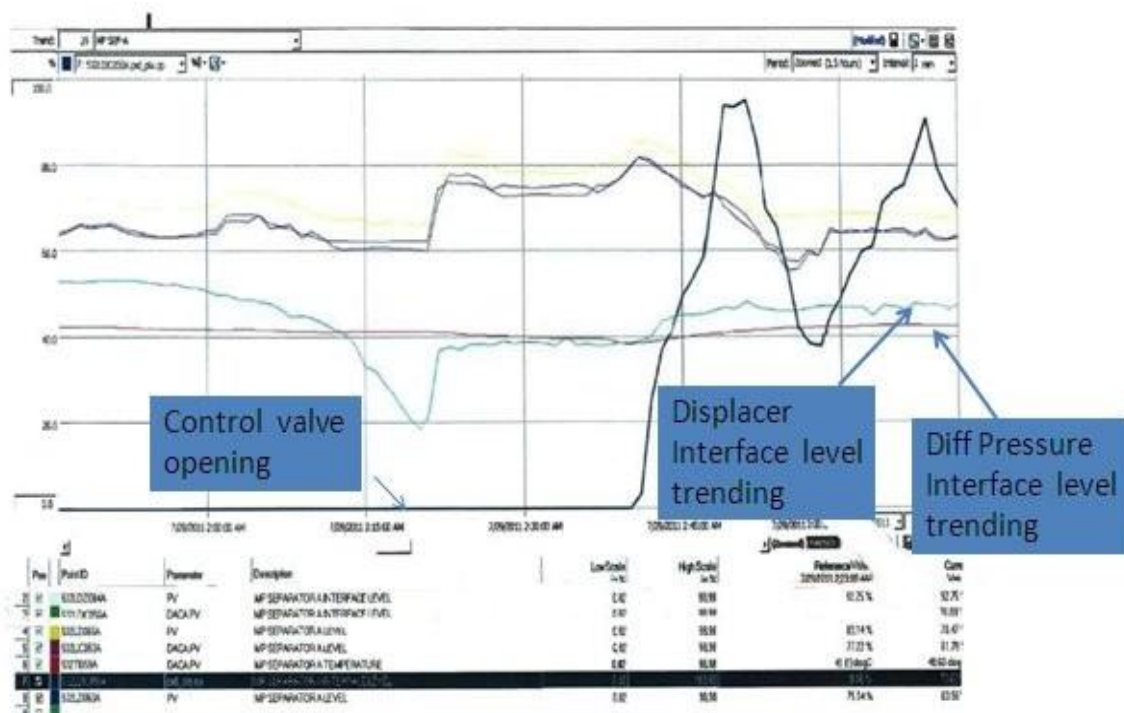
Kinerja *control loop* untuk masing-masing tipe transmitter dinilai dengan menganalisis variabilitas *Process Variable* (PV) terhadap Set Point (SP). Variabilitas diukur secara statistik menggunakan Standar Deviasi (σ) dari pembacaan level antarmuka dengan ukuran sampel $N=50$ titik data untuk setiap instrumen. Standar deviasi yang lebih rendah menunjukkan kinerja kontrol yang lebih baik dan penyimpangan yang lebih kecil dari setpoint.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Tren *Real-Time*

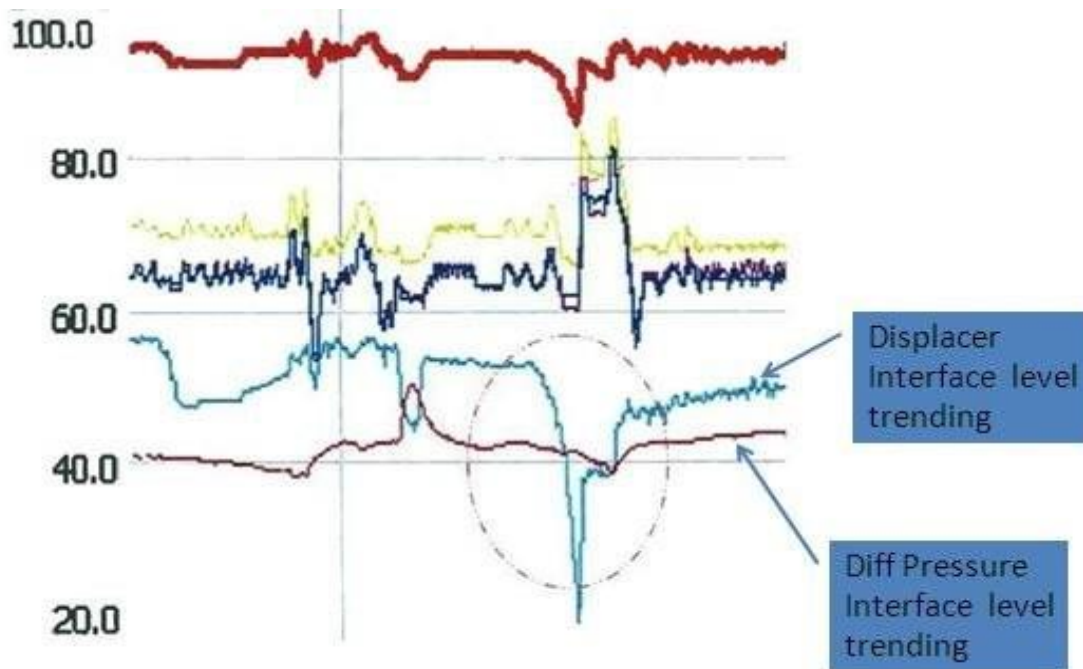
Dalam lingkungan produksi, aksi dinamis di dalam separator menciptakan lapisan emulsi di antara minyak dan air. Bagi instrumen, kondisi ini secara efektif terlihat sebagai tiga lapisan cairan dengan dua antarmuka (*interface*). Lapisan emulsi, yang memiliki berat jenis dan konstanta dielektriknya sendiri, memengaruhi pembacaan kedua instrumen dengan cara yang berbeda. Analisis data tren proses (Gambar 4 dan Gambar 5) menunjukkan hal-hal berikut:

- Tren level antarmuka pada *Displacer* menunjukkan fluktuasi sesaat yang lebih besar, terutama selama periode aktivitas katup kendali (*control valve*) yang tinggi. Hal ini dikarenakan output-nya didasarkan pada posisi vertikal pelampung (*float*). Ketika emulsi terbentuk, pelampung mendeteksi fluida bagian atas menjadi lebih padat, sehingga menyebabkannya naik atau turun secara tidak terduga, yang mengakibatkan deviasi pengukuran yang lebih besar
- Tren level antarmuka *Differential Pressure* (DP) menunjukkan output yang lebih halus dan lebih stabil dengan lonjakan (*spikes*) yang lebih sedikit, meskipun tren keseluruhannya mengikuti (selaras dengan) *displacer*.



Gambar 4.

Tren pengukuran level *interface level*



Gambar 5.

Tren pengukuran level antarmuka (*interface level*) tipe *Displacer* dan *DP*

3.2 Pengaruh Emulsi terhadap Pengukuran

Pembentukan emulsi menciptakan lapisan dengan densitas transisi antara minyak dan air. Studi-studi terkini (Liu *et al.*, 2026; Skeie dan Halstensen, 2010) menunjukkan bahwa lapisan ini mempengaruhi respons mekanis displacer lebih signifikan dibandingkan pengukuran berbasis tekanan. Hasil *trending* menunjukkan bahwa displacer mengalami fluktuasi lebih besar akibat perubahan gaya apung pada lapisan emulsi, sedangkan DP transmitter memberikan respons yang lebih halus dan stabil.

3.3 Analisis Statistik terhadap Performa Kontrol

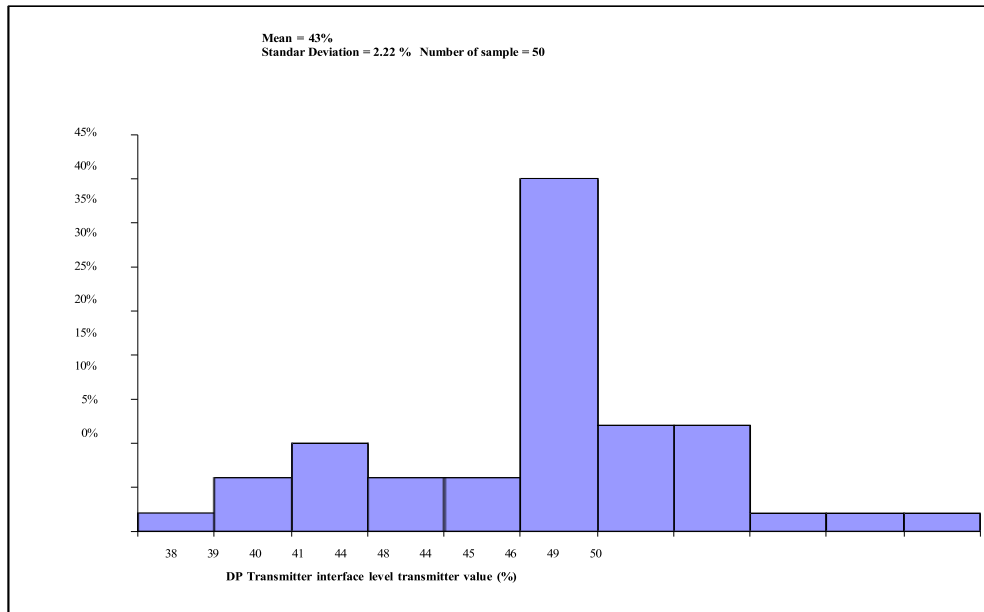
Analisis statistik yang digunakan adalah rata-rata dan standar deviasi. Standar deviasi digunakan untuk mengukur secara kuantitatif perbedaan stabilitas yang teramati. Secara statistik, standar deviasi merupakan salah satu ukuran keragaman sampel yang banyak digunakan (Yanto, 2021). Rata-rata level *interface*, standar deviasi, dan jumlah sampel dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1.

Rangkuman rata-rata *interface*, standar deviasi, dan jumlah sampel

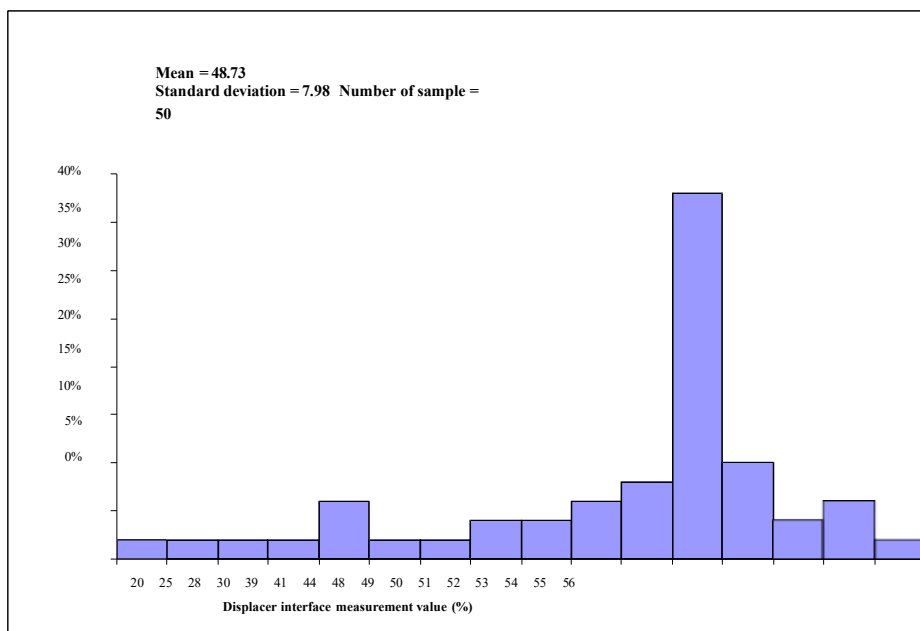
Tipe Instrument	Rata-rata Level Interface (%)	Standard Deviasi (σ)	Jumlah Sampel (N)
DP Transmitter	43.0%	2.22%	50
Displacer Transmitter	48.73%	7.98%	50

Gambar 6 menunjukkan nilai-nilai pengukuran level; pengukuran level transmitter antarmuka (*interface*) DP memiliki nilai rata-rata (*mean*) sebesar 43% dengan standar deviasi sebesar 2,22%, yang menunjukkan persentase frekuensi dari level transmitter antarmuka (*interface*) DP tersebut.

**Gambar 6.**

Grafik pengukuran level antarmuka (*interface*) DP transmitter vs persentase frekuensi

Gambar 7 menunjukkan nilai-nilai pengukuran level; pengukuran level antarmuka *Transmitter Displacer* memiliki nilai rata-rata (*mean*) sebesar 48,73% dengan standar deviasi sebesar 7,98%, yang menunjukkan persentase frekuensi dari antarmuka *transmitter Displacer* tersebut.

**Gambar 7.**

Grafik pengukuran level antarmuka (*interface*) Displacer vs persentase frekuensi

Transmitter DP menunjukkan standar deviasi yang secara signifikan lebih rendah ($\sigma = 2,22\%$) dibandingkan dengan *transmitter displacer* ($\sigma = 7,98\%$). Perbedaan ini sangat besar, yang membuktikan bahwa transmitter DP memberikan sinyal *Process Variable* (PV) yang lebih stabil bagi *control loop*. Stabilitas yang lebih tinggi pada transmitter DP ini disebabkan oleh prinsip operasinya yang mengukur perbedaan tekanan hidrostatik (pressure head) di seluruh rentang antarmuka. Meskipun kalkulasinya sangat sensitif terhadap perubahan

gravitasi spesifik, pengukuran DP tampak kurang rentan terhadap fluktuasi cepat dan palsu yang disebabkan oleh turbulensi emulsi kecil dibandingkan dengan pergerakan mekanis elemen displacer. *Displacer*, karena sensitif terhadap gaya apung mekanis, bereaksi lebih dramatis terhadap profil densitas dan berat jenis yang bervariasi dari lapisan emulsi dinamis tersebut. Sebaliknya, transmitter DP dikenal rentan terhadap faktor eksternal seperti perubahan suhu yang memengaruhi *remote seal* dan kapiler, yang dapat menyebabkan pergeseran (*drift*). Namun, dalam studi kasus ini, instrumen DP tetap memberikan tingkat stabilitas yang secara statistik lebih unggul untuk kontrol *closed-loop*.

4. KESIMPULAN

Efisiensi pengendalian antarmuka (*interface control*) dalam suatu proses produksi sangat bergantung pada keandalan dan stabilitas pengukurannya. Kinerja kontrol, yang diukur berdasarkan standar deviasi dari set point, dengan jelas menunjukkan stabilitas unggul dari transmitter level tipe *differential pressure* (DP). Transmitter DP memberikan kinerja kontrol yang lebih stabil dengan standar deviasi sebesar 2,22%, secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan 7,98% yang tercatat pada *transmitter level* tipe displacer. Meskipun displacer menunjukkan reaksi langsung yang lebih jelas terhadap perubahan proses, instrumen ini menunjukkan deviasi yang jauh lebih besar karena sensitivitasnya terhadap pembentukan emulsi yang dinamis dan variasi densitas pada lapisan emulsi tersebut. Oleh karena itu, untuk pengendalian level antarmuka yang kokoh (*robust*) dan stabil di mana minimalisasi variabilitas *control loop* adalah hal yang utama, transmitter level DP terbukti menjadi pilihan yang lebih efektif dalam aplikasi MP separator ini.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa DP level transmitter memiliki performa yang lebih stabil dibandingkan displacer untuk pengukuran interface level pada MP separator dengan kondisi beremulsi. Stabilitas ini tercermin dari nilai simpangan baku yang lebih rendah. Keterbatasan studi ini terletak pada analisis yang hanya dilakukan pada satu kondisi tekanan menengah dan satu jenis komposisi minyak mentah. Keterbatasan dari studi ini adalah masih menggunakan data dari satu unit separator dan kondisi operasi tertentu. Dengan demikian, generalisasi hasil penelitian masih terbatas. Rekomendasi penelitian selanjutnya meliputi evaluasi pada berbagai tipe separator seperti separator tekanan tinggi (HP Separator), variasi karakteristik emulsi, serta analisis pengaruh degradasi seal pada DP transmitter.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. ISO 2186 (2019). *Fluid flow in closed conduits — Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements*. Geneva: International Organization for Standardization.
2. Liu, F., Dou, L., Li, J., & Li, J. (2026). Innovative design of differential pressure level sensor in flotation environment. *Flow Measurement and Instrumentation*. 108, 103138.
3. Reyna, C. A. B., Franco, E. E., Laín, S., de Oliveira T.F., Tsuzuki, M.S.G. & Buiochi, F. (2025). Concentration monitoring of highly-filuted crude oil-in-water emulsions by Ultrasonic Backscattering Sensors. *Fluids*, 2025, 10 (5), 108
4. Skeie, N., & Halstensen, M. (2010). Level estimation in oil/water separators based on multiple pressure sensors and multivariate calibration. *Journal Chemometrics*. 24, 387–398.
5. Yanto. (2021). *Pengantar Statistika dan Teori Probabilitas untuk Teknik Industri*. Jakarta: Penerbit Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya.