Jurnal SENOPATI

Sustainability, Ergonomics, Optimization, and Application of Industrial Engineering

Jurnal homepage : ejurnal.itats.ac.id/senopati



Evaluasi Stabilitas dan Kapabilitas Oily Water Treatment Process di PT. Pertamina Hulu Mahakam Berbasis EWMA dan CUSUM Control Chart

Andra Fachreza[1], Denny Kurniawati[2], Muhammad Habibi Hanny Irawan[3],Fitria Rahmawaty[4],Novi Putriyani Puspita[5],Yolanda Silvania Gunawan[6],Novantri Faradilla[7],M. Ferdaus Noor Aulady[8]*

[1,2,3,4,5,6,7]Program Studi Magister Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No. 100 Surabaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Halaman:
129 – 138

Tanggal penyerahan:
23 November 2025

Tanggal diterima:
18 Februari 2026

Tanggal terbit:
30 April 2026

EMAIL

[1]andra.fchrza@gmail.com
[2]de.kurniawati@gmail.com
[3]habibiirawan971@gimail.com
[4]fitriarahmawaty642@gmail.com
[5]noviputriyanipuspita@gmail.com
[6]ylndsilv@gmail.com
[7]novantrifaradilla@gmail.com
[8]mohamadaulady@itats.ac.id

ABSTRACT

The oily water treatment process in the oil and gas industry has high variability, so it requires monitoring methods that are sensitive to small changes in the process. The study aims to evaluate the stability and capability of the oily water treatment process at PT. Pertamina Hulu Mahakam using EWMA, CUSUM, and non parametric process capability analysis. Oil content test during the period August to October 2025 were analyzed using software Minitab. The result of the Anderson Darling normality test showed that the data were not normally distributed (p< 0,005). The EWMA and CUSUM analysis detected two out of control period (e.g. 10-37 and 64-82). The Ppk value of 1,90 shows the process is highly capable of meeting the 50 ppm regulatory limit of the Minister of Environment No.19/2010. The results of the study emphasized the importance of implementing control map for sustainable waste water quality monitoring.

Keywords: *EWMA, CUSUM, process capability, oil and gas industry*

ABSTRAK

Proses pengolahan air limbah berminyak (*oily water treatment process*) di sektor industri migas memiliki variabilitas yang tinggi, sehingga memerlukan metode pemantauan yang peka terhadap perubahan kecil proses. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas dan kapabilitas proses *oily water treatment* di PT. Pertamina Hulu Mahakam dengan menggunakan metode statistik EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*), CUSUM (*Cumulative Sum*),dan analisis kapabilitas proses non parametrik. Data hasil uji kadar minyak selama periode agustus hingga oktober 2025 dianalisis menggunakan software Minitab 20.3. Hasil uji normalitas Anderson Darling menunjukkan data tidak terdistribusi normal ($p < 0,005$). Analisis EWMA dan CUSUM mendeteksi dua periode out of control (sampel 10-37 dan 64-82). Nilai Ppk sebesar 1,90 menunjukkan kinerja proses sangat baik dalam memenuhi standar baku mutu Permen Lingkungan hidup No.19/2010 yaitu dibawah 50 ppm. Hasil penelitian menekankan pentingnya implementasi peta kendali untuk pemantauan mutu air limbah secara berkelanjutan.

Kata kunci: *EWMA, CUSUM, kapabilitas proses, industri migas*

PENDAHULUAN

Industri hulu migas menghasilkan air limbah yang masih mengandung minyak yang merupakan hasil dari kegiatan produksi, pemisahan cairan, pembersihan alat. Air limbah tersebut memiliki karakteristik fisik kimia yang kompleks yang harus dikelola secara konsisten untuk memenuhi regulasi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan oleh pemerintah yaitu Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 19/2010 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan minyak dan gas serta panas bumi [1].Jika hasil pengolahan melebihi dari yang telah ditetapkan, hal ini dapat mencemari lingkungan.

Untuk menurunkan kadar minyak hingga berada dibawah baku mutu, perusahaan menggunakan sistem pengolahan (*oily water treatment*) yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu pemisahan gravitasi, skimming, flotasi, filtrasi, polishing hingga pembuangan akhir. Penelitian terkini menunjukkan bahwa teknologi pemisahan minyak dan air terus mengalami inovasi karena karakteristik minyak dalam air yang bersifat dinamis dan cenderung membentuk emulsi yang sulit dipisahkan. [2] Menjelaskan bahwa meskipun teknologi membran terkini seperti PPy@TiO_2/PVDF menunjukkan efisiensi tinggi dilaboratorium, masih menghadapi tantangan dalam kondisi industri. Hal ini mengindikasikan bahwa perubahan kandungan minyak sangat dipengaruhi oleh kondisi proses, alat yang digunakan, dan sifat fluida sehingga pengendalian variabilitas menjadi hal yang krusial. Pengendalian variabilitas proses dalam pengolahan limbah cair menjadi aspek yang penting untuk mempertahankan kinerja sistem secara berkelanjutan. Tanpa adanya pengawasan secara statistik yang akurat, fluktuasi kecil dalam proses dapat berkembang menjadi perubahan yang besar yang akan mempengaruhi efisiensi proses dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan hidup. Di sektor industri minyak dan gas, pengawasan proses tidak hanya bertujuan untuk memenuhi standar mutu, akan tetapi juga menjamin kelangsungan operasi serta citra perusahaan.

Pada operasional harian, variasi beban limbah, kondisi peralatan, fluktuasi aliran, hingga variasi dosis bahan kimia dapat menyebabkan perubahan dalam mutu effluent. Perubahan – perubahan kecil ini seringkali tidak teramati oleh peta kendali konvensional seperti *shewhart chart*, sehingga dibutuhkan peta kendali yang lebih responsif.

Metode yang terbukti efektif untuk mendeteksi perubahan kecil proses adalah EWMA dan CUSUM. Berdasarkan [3] kombinasi EWMA dan CUSUM memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi dalam mendeteksi variasi kecil pada proses industri yang memiliki noise dan fluktuasi yang signifikan. Selain itu perkembangan terbaru dalam CUSUM adaptif. [4] Bahwa metode metode ini relevan untuk memantau proses yang variabilitasnya berubah secara dinamis, dimana kondisi ini sangat umum terjadi dalam pengolahan air limbah pada industri sektor migas.

Meskipun proses air limbah dengan metode fisik dan kimia dapat menurunkan kadar minyak, evaluasi stabilitas proses masih belum optimal, sehingga diperlukan analisis mengenai kemampuan proses untuk memastikan bahwa limbah yang dihasilkan konsisten sesuai regulasi. Kapabilitas proses memberikan ukuran kuantitatif mengenai apakah suatu proses sudah stabil dan mampu menghasilkan kualitas air sesuai dengan regulasi yang ditetapkan.

PT.Pertamina Hulu Mahakam merupakan salah satu perusahaan migas di Indonesia, dimana mengelola eksplorasi dan produksi migas di lepas pantai *(Off-Shore* dan *Onshore*) menghadapi tantangan tersebut. Perubahan kadar minyak dalam air limbah perlu diawasi bukan hanya untuk kepatuhan regulasi, akan tetapi juga memastikan keandalan proses secara statistik. Dengan menerapkan EWMA dan CUSUM Control Chart serta analisis kapabilitas proses, pengawasan mutu air limbah dapat dilakukan lebih tepat, sensitif, dan sistematis.

Oleh karena itu, studi ini penting untuk memberikan gambaran mengenai stabilitas dan kapabilitas proses dalam memenuhi baku mutu, sehingga dapat mendukung peningkatan kinerja operasional serta kepatuhan terhadap regulasi lingkungan di PT. Pertamina Hulu Mahakam.

METODE

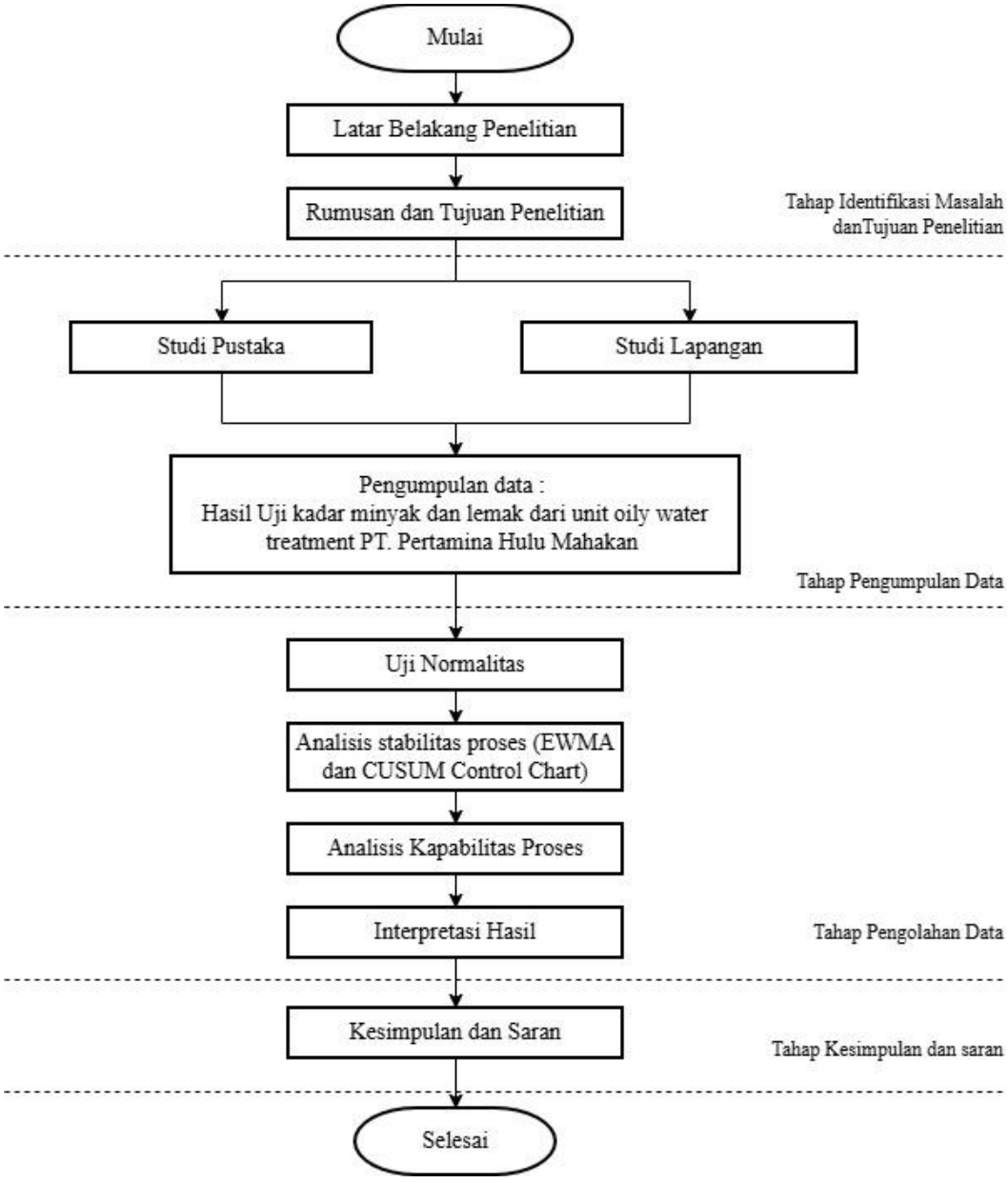
Studi ini dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan mengevaluasi stabilitas dan kapabilitas proses oily water treatment di PT.Pertamina Hulu Mahakam. Mengetahui sejauh mana proses mampu menjaga kadar minyak *effluent* agar tetap berada dibawah batas baku mutu 50 ppm sesuai dengan regulasi Permen Lingkungan Hidup No.19/2010.

Metode yang digunakan antara lain:

1. EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*) *Control Chart*
   Mendeteksi perubahan kecil yang bertahap pada kadar minyak. EWMA memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan yang berlangsung dalam jangka lama dan sesuai untuk diterapkan dalam proses yang tidak stabil seperti pengolahan air limbah. [5] EWMA berhasil dalam mengawasi perubahan yang berlangsung perlahan pada proses industri modern, karena mempertimbangkan bobot eksponensial dari data yang sudah ada. Metode ini dipilih guna memantau kestabilan dalam pengolahan air limbah yang mungkin mengalami variasi kecil tetapi berkelanjutan.
2. CUSUM (*Cumulative Sum*) *Control Chart*

Mendeteksi *small sudden shifts*, yaitu perubahan kecil namun tiba – tiba dalam proses. CUSUM mampu mengidentifikasi pola penyimpangan dengan lebih cepat jika dibandingkan peta kendali shewhart. Berdasarkan [6] CUSUM memiliki kelebihan dalam melakukan monitor kualitas parameter baku mutu lingkungan seperti kadar minyak dan bahan pencemar pada air limbah industri.

3. Analisis kapabilitas proses (*Process Capability Analysis*)
   Mengukur kemampuan proses dapat memenuhi batas spesifikasi baku mutu kadar minyak. Berdasarkan [7] penerapan indeks kapabilitas proses efektif dalam menganalisis kestabilan proses produksi dan identifikasi perbaikan untuk meminimalkan produk yang tidak sesuai spesifikasi.



Gambar 1. *Flow Chart* Penelitian

Populasi penelitian adalah data hasil uji kadar minyak dalam air limbah pada unit pengolaha air limbah PT. Pertamina Hulu Mahakam.

Sampel untuk penelitian adalah data yang diperoleh dari pengujian kadar minyak dalam air pada periode Agustus – Oktober 2025. Instrumen penelitian meliputi :

a. Data kadar minyak, hasil uji lab internal perusahaan.

b. Perangkat lunak/software Minitab Versi 20.3 digunakan untuk membuat grafik EWMA dan CUSUM, analisis statistik proses, uji normalitas, analisis kapabilitas proses
c. Dokumen regulasi baku mutu yaitu Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 19 Tahun 2010 mengenai standar mutu air limbah untuk usaha dan/atau aktivitas minyak dan gas serta panas bumi berkaitan dengan batas maksimal kadar minyak dalam air limbah industri migas *offshore* dan *onshore*.
d. Dokumen proses *oily water treatment* digunakan untuk memahami proses pengolahan dan sumber variabilitas

Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi, mendokumentasikan dan studi literatur.
Pengolahan data dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

i. Uji normalitas. Ini dilakukan untuk mengecek apakah sebaran/distribusi data mengikuti sebaran normal dengan menggunakan metode Anderson Darling, dipilih karena metode ini lebih sensitif dalam menentukan apakah data benar – benar mengikuti pola distribusi normal, terutama ketika ada nilai – nilai ekstrim atau pola yang menyimpang. Data yang dianalisis adalah kadar minyak dalam air yang memiliki karakter tersebut.
ii. Analisis EWMA *Control Chart*. Menghitung nilai λ (0,05–0,30), nilai EWMA setiap data, menghitung batas kendali, menilai apakah proses *in control* atau *out of control*. [8] Kinerja dari EWMA ditentukan oleh nilai batas kontrol L dan smoothing parameter λ. Parameter tersebut adalah L, λ.

$$Zi = \lambda x_i + (1-\lambda)\, Z_{i-1}$$

$Z_0 = \mu_0$, rata-rata dari data yang pertama kali digunakan sebagai titik awal EWMA ($\bar{x} = \mu 0$), sehingga $Z_0 = \bar{x}$, Z_i adalah statistik EWMA pada periode ke-i, λ adalah konstanta dengan rentang nilai, $0 \leq \lambda \leq 1$ dan x_i adalah nilai pengamatan ke-i, dimana i=1,2,3,...,N. Nilai λ yang optimal berkisar atara $0{,}05 \leq \lambda \leq 0{,}25$.

Titik tengah = μ_0

$$UCL_i = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}[1-(1-\lambda)^{2i}]$$

$$LCL_i = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}}[1-(1-\lambda)^{2i}],$$

Dengan :
UCL^i = batas kendali atas untuk subgrup ke i
LCL^i = batas kendali bawah untuk subgrup ke i
λ = faktor pembobot
σ = standar deviasi masing-masing subgrup
L = batas kendali

iii. Analisis CUSUM *Control Chart*. Menentukan reference value dan decision interval, serta menghitung C^+ dan C^- yang dikenal sebagai representasi data satu arah keatas (+) dan satu arah kebawah (-) untuk mengawasi rata-rata suatuproses. Rumus tabulator CUSUM [8]:

$$Ci^+ = \max[0; \bar{x}_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+]$$

$$Ci^- = \max[0; (\mu_0 + K) - \bar{x}_i + C_{i-1}^-]$$

iv. Analisis kapabilitas Proses (Ppk) menentukan USL (berdasarkan regulasi), menghitung indeks kapabilitas dan performa proses. Interpretasi hasil:

Tabel 1. Kriteria Indeks Kapabilitas Proses (Ppk)

Kriteria	Interpretasi
$Ppk \geq 1{,}33$	Kinerja proses sangat baik
$1{,}00 \leq Ppk < 1{,}33$	Kinerja proses sedang
Ppk < 1,00	kinerja proses tidak memenuhi spesifikasi, perlu perbaikan

v. Penarikan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data diperoleh dari pengukuran rutin selama 3 bulan dengan periode Agustus – Oktober 2025 yang menggambarkan kondisi aktual kinerja unit *oily water treatment process* di PT. Pertamina Hulu Mahakam. Laboratorium internal perusahaan telah terakreditasi ISO 17025 untuk memastikan validitas dan keandalan hasil uji. Data menjadi dasar untuk evaluasi stabilitas dan kapabilitas proses.

Data Hasil Pengujian Kadar Minyak dalam Air

Berikut data hasil pengujian kadar minyak dalam air dari proses *oily water treatment* PT. Pertamina Hulu Mahakam selama bulan Agustus sampai Oktober 2025. Berdasarkan baku mutu Permen LH No.19/2010 batas maksimal kadar lemak dan minyak adalah 50 ppm.

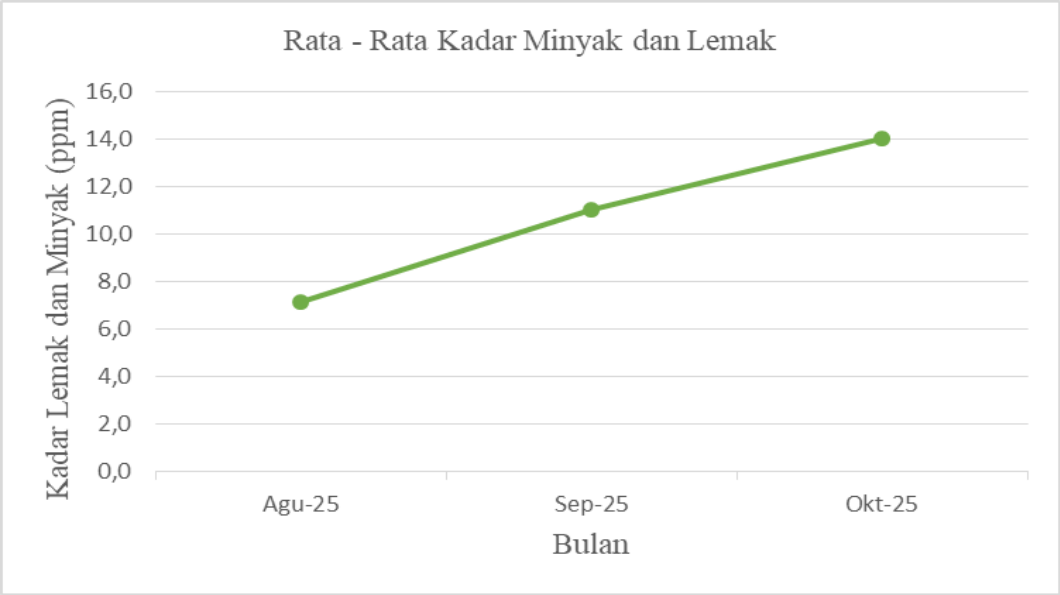
Tabel 2. Hasil Uji Kadar Minyak

No.	Kadar Minyak (ppm)		
	Agu-25	Sep-25	Okt-25
1	7,7	9,7	23,4
2	7,1	19,3	24,8
3	6,5	14,2	11,3
4	6,8	21,0	9,6
5	8,0	5,6	25,7
6	3,7	6,0	16,2
7	11,1	15,6	7,1
8	8,0	4,7	11,2
9	4,1	9,3	17,9
10	7,6	26,6	7,9
11	5,3	7,7	17,1
12	4,1	11,9	20,8
13	4,9	6,3	19,6
14	3,9	3,9	14,6
15	4,9	13,4	11,8
16	4,6	6,3	7,3
17	4,3	6,3	9,3
18	6,5	7,6	6,2
19	6,9	6,3	9,7
20	5,8	16,5	14,6
21	5,4	16,0	12,5
22	7,0	7,1	6,4
23	6,4	17,0	12,8
24	8,6	13,2	17,9
25	5,8	9,2	7,5
26	6,4	14,7	16,2
27	16,7	8,8	17,3
28	17,0	7,9	11,1
29	11,9	7,3	10,6
30	7,1	10,4	15,2
31	7,5		20,6
Rata - rata	7,1	11,0	14,0

Tabel 3. Hasil Statistik Deskriptif

Variabel	N	Mean	StDev	Min	Maks
Kadar Minyak (ppm)	92	10,71	5,57	3,7	26,6

Dari tabel diatas kadar maksimal 26,6 ppm dan minimum 3,7 menandakan bahwa seluruh data berada dibawah batas maksimum yang telah ditetapkan Permen LH No.19/2010. Nilai rata-rata (mean) kadar minyak sebesar 10,71 ppm menunjukkan proses memiliki kinerja yang baik dalam menjaga kualitas effluent. Nilai standar deviasi 5,57 menunjukkan variabilitas antar sampel cukup tinggi. Nilai ini menandakan bahwa adanya variabilitas proses yang perlu dikendalikan melalui metode statistik yang lebih sensitif seperti EWMA dan CUSUM.



Gambar 2. Tren rata – rata kadar minyak

Gambar 2 menunjukkan tren peningkatan rata – rata kadar minyak dari bulan Agustus sampai Oktober 2025. Hal ini bisa disebabkan oleh peningkatan aktivitas produksi sehingga mempengaruhi beban influent, perubahan karakteristik limbah, atau penurunan efisiensi alat pemisah minyak seperti skimmer dan flotation unit (DAF/Dissolved Air Flotation).[9] fungsi DAF untuk mengurangi konsentrasi minyak, lemak serta padatan tersuspensi dengan proses pengikatan partikel yang kemudian terangkat ke permukaan dan dipisahkan dengan skimmer. Efektivitas ini bergantung pada tekanan udara, laju air, serta kestabilan operasional, dimana gangguan pada parameter tersebut dapat menurunkan efisiensi pemisahan minyak.

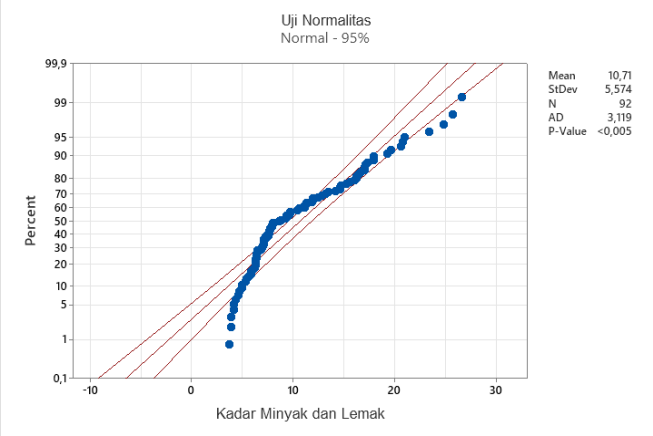
Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan tahap yang penting dalam menganalisis data karena berfungsi sebagai syarat untuk mengetahui apakah penggunaan metode statistik parametrik bisa dilakukan atau tidak [10]. Pengujian distribusi normal merupakan metode untuk menentukan apakah data mengikuti pola distribusi normal sehingga bisa diterapkan dalam analisis statistik parametrik [11]. Berikut hipotesis yang digunakan untuk menguji normalitas :

H_0 : Data mengikuti pola distribusi normal.

H_1 : Data tidak mengikuti pola distribusi normal.

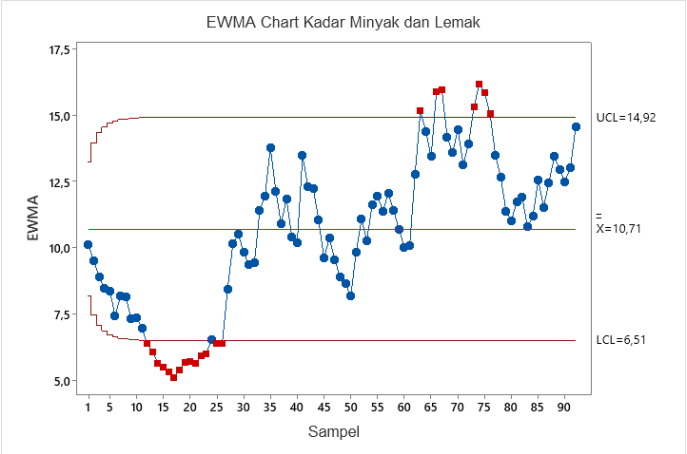
Pada penelitian ini menggunakan uji normalitas Anderson Darling karena metode ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap penyimpangan distribusi pada bagian ekor (*tail*), sehingga lebih akurat untuk mendeteksi ketidak normalan pada data hasil proses yang umumnya memiliki nilai ekstrem dan swekness. Metode Anderson Darling merupakan uji yang lebih sensitif terhadap terhadap perubahan bentuk distribusi dibandingkan Kolmogorov Smirnov atau Shapiro Wilk, terutama untuk data ukuran sedang hingga besar[11].



Gambar 3. Uji Normalitas

Hasil uji normalitas nilai p-value < 0,005 pada gambar 3, dimana jauh lebih kecil dibandingkan dengan tingkat signifikansi α = 0,05. P-value < α, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Maka data kadar minyak tidak mengikuti ditribusi normal. [12] Uji normalitas sering gagal pada data industri yang memiliki fluktuasi tidak teratur, sehingga harus menggunakan metode yang *robust* terhadap distribusi non normal. Analisis stabilitas dilakukan menggunakan EWMA dan CUSUM, sedangkan kapabilitas proses menggunakan nonparametrik.

EWMA Chart

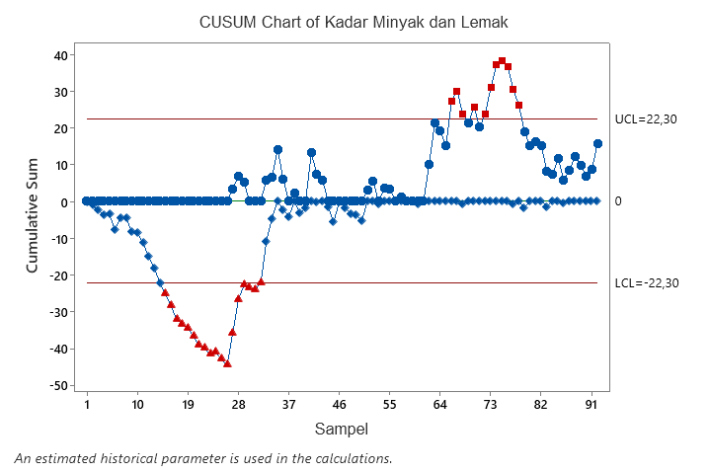


Gambar 4. EWMA Chart

Analisis EWMA dilakukan dengan parameter pembobotan λ = 0,2, yang efektif untuk mengidentifikasi perubahan kecil pada data proses. Berdasarkan grafik EWMA pada gambar 4 menunjukkan rata – rata proses 10,71 ppm, dengan *Upper control limit*/UCL 14,92 ppm *Lower control limit*/LCL 6,51 ppm. Secara umum sebagian besar berada dalam batas kontrol, tetapi terdapat pada rentang data ke 10 - 20 dan ke 70 – 80 diluar UCL dan LCL. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan dalam variabilitas proses dan kecenderungan adanya perubahan bertahap. Pola ini tidak melanggar aturan run test . [5] Efektifitas EWMA dalam mendeteksi perubahan bertahap pada proes industri yang memiliki fluktuasi inheren (alami), seperti *oily water treatment* dalam industri migas. Dengan demikian, penerapan EWMA terbukti relevan dan efektif untuk memantau kestabilan proses oily water treatment, yang secara alami memiliki variabilitas tinggi akibat fluktuasi beban limbah, kondisi peralatan, dan dosis bahan kimia.

CUSUM Chart

Hasil dari CUSUM chart dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai parameter k yang dipilih adalah k=0,5, yang efektif untuk mendeteksi pergeseran kecil hingga menengah.



Gambar 5. CUSUM Chart

Berdasarkan grafik CUSUM Chart pada gambar 3 menunjukkan rata-rata 0 ppm, dengan *Upper control limit*/UCL 22,30 ppm dan *Lower control limit*/LCL -22,30 ppm. Secara umum proses sebagian besar berada dalam batas control, namun terdapat pada rentang data ke 10 – 37 dan ke 64 – 82 diluar UCL dan LCL. Hal ini menunjukkan adanya ketidakstabilan proses pada dua rentang tersebut dengan pergeseran proses yang signifikan, meskipun semua data masih di bawah batas regulasi. Sesuai dengan pernyataan [6] bahwa CUSUM lebih unggul dalam mendeteksi penyimpangan kecil dengan cepat dibandingkan peta kendali Shewhart. Dengan demikian, penerapan CUSUM Chart terbukti efektif untuk mendeteksi pergeseran proses *oily water treatment* yang tidak stabil secara statistik.

Analisis Faktor Penyebab Ketidakstabilan Proses

Dari analisis EWMA dan CUSUM yang menunjukkan adanya kondisi out of control, dilakukan analisis sebab akibat untuk mengidentifikasi faktor yang berkontribusi terhadap ketidakstabilan proses.

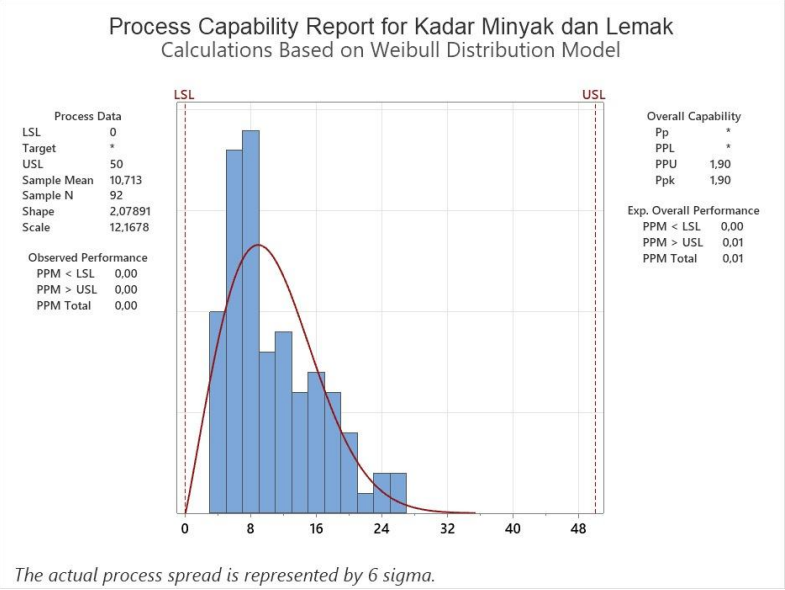
Tabel 4. Faktor Penyebab Ketidakstabilan Proses

Faktor	Penyebab	Dampak
Variasi karakteristik influent	Fluktuasi beban minyak dan stabilitas emulsi	Terjadi pergeseran rata - rata kualitas effluent
Chemical	Perubahan dosis dan efektifitas demulsifier/koagulan	Efisiensi pemisahan minyak dan air menurun secara gradual
Kinerja peralatan	Fouling dan akumulasi sludge pada unit pemisahan	Penurunan kinerja pemisahan
Variasi hidraulik dan operasional	Fluktuasi laju alir dan waktu tinggal proses	Mekanisme koalesensi dan pemisahan menjadi tidak stabil

[13] Sinergi EWMA dan CUSUM efektif dalam mengidentifikasi ketidakstabilan proses yang tidak selalu dapat dilihat dari pemenuhan batas spesifikasi kualitas. Dari hasil analisis EWMA dan CUSUM menunjukkan bahwa proses masih mengalami kondisi *out of control* pada beberapa periode pengamatan, yang menandakan adanya ketidakstabilan secara statistik. Hal ini terjadi meskipun parameter kualitas berada dalam batas spesifikasi, sehingga menegaskan bahwa pemenuhan standar spesifikasi tidak secara langsung mencerminkan stabilitas proses. Hasil ini memperkuat pentingnya penerapan *Statistical Process Control* sebagai alat evaluasi stabilitas proses sebelum melakukan analisis terhadap kapabilitas proses.

Kapabilitas Proses

Indeks Ppk secara matematis masih dapat dihitung dan dilaporkan meskipun kondisi *control chart out of control*. Namun, dalam kondisi ini nilai Ppk tidak diinterpretasikan sebagai indikator kapabilitas yang sepenuhnya valid, akan tetapi sebagai gambaran kinerja nyata proses terhadap batas spesifikasi yang telah ditetapkan. Nilai Ppk dalam kondisi proses yang belum stabil menggambarkan proses masih dapat memenuhi spesifikasi tanpa berasumsi variasi proses sudah terkendali secara statistik [14].



Gambar 6. Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses bertujuan untuk mengukur sejauh mana proses yang tidak stabil tersebut masih mampu memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam hal ini batas maksimal kadar minyak 50 ppm (USL). Berdasarkan grafik kapabilitas pada gambar 6 menunjukkan ppk > 1,33 yang bernilai 1,90 menyatakan bahwa proses *oily water treatment* memiliki kinerja proses yang sangat baik. Dimana proses ini memiliki "*safety margin*" yang besar karena nilai maksimum dari data adalah 26,6 ppm sedangkan batas regulasi kadar minyak saat ini adalah 50 ppm. Hal ini berarti, meskipun tidak stabil berdasarkan analisis EWMA dan CUSUM, proses ini secara *inherent* mampu untuk memenuhi regulasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada dosen pembimbing serta rekan – rekan dalam tim yang telah memberikan dukungan, semangat dan saran berharga selama penelitian.

KESIMPULAN

Hasil menunjukkan bahwa berdasarkan evaluasi dengan peta kendali EWMA dan CUSUM, proses oily water treatment di PT. Pertamina Hulu Mahakan belum stabil secara statistik, dengan indikasi ketidakstabilan pada rentang data ke 10 hingga 37 dan data ke 64 sampai 82, hal ini bisa disebabkan oleh variasi karakteristik *influent*, bahan kimia, kinerja peralatan, dan variasi hidraulik dan operasional. Meski demikian, analisis kapabilitas proses menghasilkan nilai Ppk = 1,90 menandakan bahwa proses memiliki kinerja yang sangat baik dalam memenuhi standar kualitas kadar minyak dibawah 50 ppm sesuai dengan regulasi Permen Lingkungan Hidup No.19 Tahun 2010. Hal ini menegaskan bahwa meski terdapat variasi dalam kestabilan secara statistik, akan tetapi dari kinerja operasional proses mampu untuk tetap menjaga kualitas effluent dibawah ambang batas. Penerapan metode peta kendali EWMA dan CUSUM terbukti efektif dalam mendeteksi perubahan kecil dalam proses dan dapat dijadikan sebagai dasar untuk pengembangan sistem pengawasan kualitas air limbah yang lebih responsif dan berkelanjutan di industri migas.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 19 Tahun 2010 Tentang Baku Mutu Limbah Bagi Usaha dan/Atau Kegiatan Minyak dan Gas Serta Panas Bumi*. Indonesia, 2010, pp. 1–12.

[2] U. Baig and A. Waheed, "A facile strategy for fabrication of nanocomposite ultrafiltration membrane : oily wastewater treatment and photocatalytic self-cleaning," *King Fahd Univ. Pet.*

Miner., pp. 1–13, 2023, doi: 10.1038/s41545-023-00279-1.

[3] F. M. N. Nor, A. Abdul-Rahman, and A. M. A. Atta, "The Effectiveness Of Robust Mixed EWMA-CUSUM Control Chart On G-And-H Distribution," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 101, no. 13, pp. 5122–5129, 2023.

[4] A. A. H. Ahmadini, I. Khan, S. S. A. Alshqaq, H. Alqadi, R. Ghodhbani, and B. Ahmad, "Improved adaptive CUSUM control chart for industrial process monitoring under measurement error," *Sci. Reports* |, vol. 15, pp. 1–11, 2025, doi: https://doi.org/10.1038/s41598-025-01734-42.

[5] V. Alevizakos, A. Chatterjee, K. Chatterjee, and C. Koukouvinos, *The exponentiated exponentially weighted moving average control chart*, vol. 65, no. 6. Springer Berlin Heidelberg, 2024. doi: 10.1007/s00362-024-01544-2.

[6] M. Riaz, H. Alshammari, N. Abbas, and T. Mahmood, "Navigating Process Drift : The Power of CUSUM in Monitoring Air Quality Processes and Maintenance Operations," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 50, no. 14, pp. 11145–11166, 2025, doi: 10.1007/s13369-024-09453-0.

[7] T. Chaciński, P. Jaskólski, and M. Pałubicki, "Study of process stability in injection molding based on product weight," *J. Mech. Energy Eng.*, vol. 6(46), no. 1, pp. 21–26, 2022, doi: 10.30464/jmee.2022.6.1.21.

[8] A. Resti, T. Widiharih, and R. Santoso, "Grafik Pengendali Mixed Exponentially Weighted Moving Average-Cumulative Sum (MEC) Dalam Analisis Pengawasan Proses Produksi (Studi Kasus : Wingko Babat Cap 'Moel')," *Gaussian*, vol. 10, no. 2021, pp. 114–124, 2021.

[9] Risna and F. Oktafiani, "Analisis Pengaruh Reaktor Flotasi Udara Terlarut Terhadap Limbah Cair Kilang Unit Pertamina," *Majamecha*, vol. 7, no. 20, pp. 245–254, 2025, doi: https://doi.org/10.36815/majamecha.v7i1.3862.

[10] R. Sianturi, "Uji Normalitas Sebagai Syarat Pengujian Hipotesis," *Pembelajaran dan Mat. Sigma*, vol. 11, no. 1, pp. 1–14, 2025, doi: https://doi.org/10.36987/jpms.v10i2.5881.

[11] S. Sh. M. Wara, A. F. Adziima, M. Nasrudin, and A. Rizaldy, "Evaluasi Kinerja Uji Normalitas pada Ragam Distribusi dan Ukuran Sampel," *Diferensial*, vol. 7, no. 2, pp. 172–183, 2025, doi: https://doi.org/10.35508/jd.v7i2.24042.

[12] A. Agustian, K. Lisdiana, A. Suryana, and M. Nursalman, "Analisis Statistik Uji Normalitas dan Homogenitas Data Nilai Mata Pelajaran dengan Menggunakan Python," *Al-Ibanah J. Keislaman, Kemasyarakatan, dan Pendidik.*, vol. 10, no. 1, pp. 51–56, 2025, doi: 10.54801/ibanah.v10i1.307.

[13] S. P. Sari, Maiyastri, and D. Devianto, "The Mixed Univariate Control Chart EWMA And CUSUM For Flour Production Quality Process Monitoring," *Mat. UNAND*, vol. 13, no. 4, pp. 309–315, 2024, doi: 10.25077/jmua.13.4.309-315.2024 THE.

[14] M. Eissa, "Enhancing Pharmaceutical Manufacturing through Statistical Process Control : An Industrial Engineering Approach to Quality Assurance," *J. Eng. Adv.*, vol. 06, no. 04, pp. 131–137, 2025, doi: 10.38032/jea.2025.04.001.