

EVALUASI STABILITAS PROSES PRODUKSI GLISERIN BERBASIS STATISTICAL PROCESS CONTROL MENGUNAKAN PETA KENDALI \bar{X} DAN R

Josua Alexander Gultom¹, Windo Sinurat², Manaor Silitonga³

^{1,2,3}Akademi Teknik Deli Serdang

Email: josuaalexandergultom@gmail.com

ABSTRAK

Mengevaluasi stabilitas proses produksi gliserin secara statistik menggunakan pendekatan Statistical Process Control (SPC) dengan fokus pada tiga karakteristik kualitas kritis (CTQ), yaitu kadar kemurnian gliserin, viskositas, dan kandungan air. Method: Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif–deskriptif analitik berbasis SPC. Data sekunder berupa hasil pengujian laboratorium harian selama 30 hari operasional dianalisis dengan pengelompokan subgrup rasional berukuran lima sampel ($n = 5$). Evaluasi kestabilan proses dilakukan menggunakan peta kendali \bar{X} dan R dengan batas kendali ± 3 standar deviasi. Result: Hasil analisis menunjukkan bahwa proses produksi gliserin belum terkendali secara statistik. Peta kendali \bar{X} pada seluruh parameter CTQ mengindikasikan keberadaan variasi penyebab khusus, dengan kandungan air sebagai parameter yang paling tidak stabil dan berdampak pada fluktuasi kemurnian serta viskositas. Peta kendali R menunjukkan bahwa variabilitas dalam subgrup relatif stabil, sehingga permasalahan utama terletak pada pergeseran rata-rata proses antar waktu. Pengendalian kualitas berbasis inspeksi akhir produk tidak cukup untuk menjamin konsistensi kualitas gliserin. Penerapan SPC terbukti efektif sebagai alat evaluasi stabilitas proses dan berpotensi digunakan sebagai sistem peringatan dini untuk mendukung peningkatan kualitas dan efisiensi proses produksi secara berkelanjutan.

Kata Kunci: *Statistical Process Control*, Peta Kendali \bar{X} dan R, Stabilitas Proses, Pengendalian Kualitas, Produksi Gliserin

1. PENDAHULUAN

Gliserin, atau secara kimiawi dikenal sebagai 1,2,3-propanatriol $C_3H_8O_3$), merupakan senyawa alkohol polihidrat yang memiliki peran fundamental dan strategis dalam ekosistem industri kimia global. Sebagai produk sampingan utama dari proses transesterifikasi biodiesel dan saponifikasi lemak, gliserin yang telah dimurnikan (refined glycerin) menjadi bahan baku esensial bagi industri farmasi, kosmetik, serta makanan dan minuman.[1] PT safa farma indonesia. Dalam industri farmasi, gliserin dengan tingkat kemurnian tinggi sering kali merujuk pada standar *United States Pharmacopeia* (USP) atau *European Pharmacopoeia* (EP) digunakan sebagai eksipien dalam sirup obat, bahan pembuat kapsul lunak, hingga agen pembawa dalam formulasi sediaan parenteral.[2] Karakteristik gliserin yang tidak berwarna, tidak berbau, dan memiliki rasa manis, dikombinasikan dengan sifat biokompatibilitasnya, menjadikannya pilihan utama yang sulit digantikan oleh senyawa sintetik lainnya.[3]

Keberhasilan aplikasi gliserin dalam produk hilir sangat bergantung pada konsistensi kualitas fisika dan kimianya. Tiga parameter utama yang menjadi indikator kualitas kritis atau *Critical to Quality* (CTQ) adalah kadar kemurnian gliserin (assay),

viskositas, dan kandungan air.[4] Kadar kemurnian yang tinggi (minimal 99,5% untuk USP Grade) menjamin efikasi dan keamanan produk farmasi.[5] Viskositas, di sisi lain, menentukan perilaku rheologi produk selama proses formulasi dan pengemasan di pabrik pelanggan. Sementara itu, kandungan air merupakan impuritas yang paling krusial untuk dikendalikan; sifat gliserin yang sangat higroskopis memungkinkannya menyerap uap air dari lingkungan secara cepat, yang pada gilirannya akan menurunkan kadar kemurnian dan mengubah profil viskositas secara drastis [6]. Ketidakstabilan pada parameter-parameter ini tidak hanya mengancam integritas produk akhir, tetapi juga merusak efisiensi proses produksi pelanggan dan kepatuhan terhadap regulasi internasional yang ketat.

PT Energi Oleo Persada, sebagai salah satu pemain kunci dalam industri oleokimia di Indonesia, menghadapi tantangan signifikan dalam mempertahankan stabilitas proses pemurnian gliserinnya. Fenomena empiris di lapangan menunjukkan adanya variabilitas yang cukup lebar pada hasil analisis laboratorium harian. Teramati adanya kejadian di mana kadar gliserin merosot di bawah ambang batas 95%, yang sering kali diikuti oleh lonjakan kandungan air dan fluktuasi viskositas yang tidak menentu. Ketidakteraturan ini menimbulkan implikasi serius, mulai dari meningkatnya jumlah produk yang harus diproses ulang (*rework*), potensi penolakan produk (*reject*) oleh pembeli mancanegara, hingga pemborosan biaya energi pada unit distilasi. Masalah ini mengindikasikan bahwa sistem pengendalian kualitas tradisional yang hanya mengandalkan inspeksi akhir produk tidak lagi memadai untuk memitigasi variabilitas proses yang kompleks di pabrik kimia.

Variabilitas proses dalam industri kimia sering kali merupakan manifestasi dari interaksi rumit antara mesin, manusia, metode, dan material. Di PT Energi Oleo Persada, fluktuasi kualitas ini diduga berasal dari ketidakkonsistenan input bahan baku *crude glycerol* serta parameter operasional pada unit distilasi dan pemucatan (*bleaching*) yang belum terstandarisasi secara statistik. Tanpa adanya pemahaman yang mendalam mengenai perilaku proses dari waktu ke waktu, manajemen akan sulit menentukan apakah suatu penyimpangan kualitas merupakan hasil dari variasi alami yang melekat pada sistem atau disebabkan oleh faktor-faktor gangguan spesifik yang dapat diidentifikasi dan dihilangkan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan analitik yang mampu memantau stabilitas proses secara real-time dan memberikan dasar ilmiah bagi pengambilan keputusan manajerial dalam upaya peningkatan kualitas berkelanjutan.

Meskipun kajian mengenai pengendalian kualitas di industri manufaktur telah banyak dilakukan, literatur yang secara spesifik membahas aplikasi pengendalian kualitas statistik pada industri pemurnian gliserin di Indonesia masih sangat terbatas. Studi terdahulu di sektor oleokimia sering kali berfokus pada optimasi parameter proses melalui desain eksperimen atau metode perbaikan umum seperti Kaizen dan Six Sigma, yang cenderung bersifat proyek jangka pendek dan sering kali mengabaikan aspek stabilitas proses jangka panjang[7]. Banyak penelitian yang dipublikasikan di jurnal nasional maupun internasional lebih menekankan pada deskripsi kualitas produk akhir atau analisis penyebab kegagalan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) tanpa melakukan kuantifikasi terhadap stabilitas statistik proses itu sendiri [8].

Kesenjangan penelitian yang nyata ditemukan pada kurangnya penggunaan *Statistical Process Control* (SPC) secara eksplisit untuk mengevaluasi perilaku proses gliserin dalam memisahkan *common cause variation* (variasi penyebab umum) dan *special cause variation* (variasi penyebab khusus) berbasis data operasional aktual [9]. Sebagian besar studi kualitas di pabrik kimia Indonesia masih terjebak pada paradigma inspeksi pasca-produksi, di mana data laboratorium hanya digunakan untuk memutuskan

apakah suatu batch layak jual atau tidak, bukan sebagai alat untuk memahami kapabilitas proses. [10] Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan menerapkan peta kendali variabel (\bar{X} -bar dan R Chart) guna membedah stabilitas proses produksi gliserin di PT Energi Oleo Persada, memberikan sudut pandang baru yang lebih *preventif* dan berbasis data statistik yang kokoh bagi industri oleokimia nasional. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis mendalam terhadap sistem pengendalian kualitas pada lini produksi gliserin di PT Energi Oleo Persada dengan menggunakan metodologi *Statistical Process Control* (SPC).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini dirancang sebagai studi kuantitatif-deskriptif analitik dengan fokus pada penerapan *Statistical Process Control* (SPC). Berbeda dengan penelitian kualitas konvensional yang sering kali hanya melihat produk sebagai entitas statis, penelitian ini menempatkan "proses produksi" sebagai unit analisis utama. Melalui pendekatan ini, perilaku dinamis dari mesin distilasi, efektivitas bahan kimia pemucat, dan ketelitian operator dalam menjaga parameter suhu serta tekanan dipantau secara statistik. Penggunaan metode SPC memungkinkan deteksi dini terhadap penyimpangan proses sebelum produk akhir yang cacat diproduksi, menjadikannya metode yang proaktif daripada reaktif.

2.2. Objek Sumber Data

Objek penelitian adalah seluruh rangkaian proses pemurnian gliserin di pabrik kimia PT Energi Oleo Persada, mulai dari tahap eliminasi impuritas hingga tahap distilasi akhir. Sumber data yang digunakan adalah data sekunder yang berasal dari laporan laboratorium harian (*daily laboratory report*) perusahaan. Periode pengambilan data dilakukan selama 30 hari operasional secara berturut-turut untuk menangkap variabilitas harian yang representatif terhadap kondisi operasional normal pabrik [11]. Data yang dikumpulkan bersifat kontinu dan terukur (*variable data*), yang meliputi persentase kadar gliserin, nilai viskositas dalam satuan sentipoise (cP), dan persentase kandungan air.

Metodologi penelitian ini dirancang untuk mengumpulkan dan menganalisis data yang relevan dengan tujuan penelitian, menggunakan pendekatan deskriptif dengan data kuantitatif untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi kualitas produk di PT QMX. Penelitian ini dilaksanakan di lantai produksi PT QMX, lokasi utama dari proses produksi pulp, selama 30 hari kerja. Tujuan dari pendekatan kuantitatif ini adalah untuk mengukur variabel-variabel tertentu dan memberikan gambaran yang jelas tentang kepuasan pelanggan terhadap kualitas pelayanan [12].

2.3. Karakteristik Kualitas Gliserin

Pemilihan karakteristik kualitas yang akan dipantau dalam SPC harus didasarkan pada tingkat kepentingan parameter tersebut terhadap fungsi produk dan kepuasan pelanggan. Dalam konteks gliserin di PT Energi Oleo Persada, ditetapkan tiga CTQ utama:

- a. **Kadar Gliserin (%)**: Parameter ini merupakan ukuran kemurnian zat aktif. Untuk aplikasi farmasi dan makanan, kadar gliserin harus berada pada level yang sangat tinggi (biasanya >99,5%) untuk mencegah efek samping dari senyawa pengotor.
- b. **Viskositas (cP)**: Viskositas menentukan kemudahan produk untuk dipompa, dicampur, dan diaplikasikan dalam formula akhir. Fluktuasi viskositas dapat mengganggu presisi alat pengisian otomatis di pabrik pelanggan.

- c. **Kandungan Air (%)**: Air adalah kontaminan paling umum yang secara drastis dapat menurunkan viskositas gliserin karena kemampuannya memutus ikatan hidrogen antar molekul gliserol. Pengendalian kadar air di bawah 0,5% atau bahkan 0,3% sangat krusial untuk menjaga stabilitas sediaan.

2.4. Prosedur Statistical Process Control

Data yang diperoleh dari laboratorium dikelompokkan ke dalam subgrup untuk memfasilitasi perhitungan variasi antar waktu. Penelitian ini menggunakan ukuran subgrup $N = 5$, di mana setiap subgrup terdiri dari lima pengamatan berurutan yang diambil dalam satu hari produksi.[13]. Pemilihan $N = 5$ didasarkan pada prinsip "rational subgroups" dalam statistik, yang bertujuan untuk meminimalkan variasi di dalam subgrup (within-group variation) sehingga variasi antar subgrup (between-group variation) dapat dideteksi dengan lebih sensitif. Ukuran sampel ini juga merupakan praktik standar di industri karena memberikan estimasi yang stabil terhadap parameter proses tanpa membebani proses pengambilan data secara berlebihan.

Alat ini berupa lembar kerja yang telah dicetak sedemikian rupa sehingga data dapat dikumpulkan dengan mudah dan singkat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode statistical process control. Piranti yang digunakan pada pengolahan data adalah check sheet, diagram Pareto, diagram pencar, dan peta kendali p.

2.5. Analisis Data Deskriptif

Sebagai langkah awal sebelum analisis peta kendali, dilakukan analisis statistik deskriptif untuk merangkum karakteristik dasar dari data yang dikumpulkan. Parameter yang dihitung meliputi nilai rata-rata (mean), standar deviasi untuk mengukur penyebaran, serta nilai minimum dan maksimum untuk mengidentifikasi adanya data ekstrem (outliers) yang mungkin berasal dari kesalahan pengukuran. Analisis ini berfungsi untuk memberikan konteks awal mengenai profil kualitas produk sebelum diuji stabilitasnya secara kronologis melalui peta kendali.

2.6. Analisis Kontrol Chart

Analisis inti dilakukan dengan menggunakan pasangan peta kendali \bar{X} -bar (\bar{X}) dan \bar{R} . Peta \bar{X} -bar digunakan untuk memantau stabilitas rata-rata proses (*centering*), sementara peta \bar{R} digunakan untuk memantau stabilitas variabilitas proses (*spread*) [14]. Langkah-langkah teknis perhitungan meliputi:

1. Perhitungan Statistik Dasar untuk Setiap Subgrup:

- Rata-rata subgrup ($\bar{X} : \bar{X}$)
- Rentang subgrup $\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{R}_j$

2. Perhitungan Garis Pusat (Center Line):

- Grand Mean (\bar{X}): (\bar{X}) $\sum_{i=1}^n X_i$
- Average Range (\bar{R}) $\{ \bar{R} \} = \sum_{j=1}^k X_j$

3. Penentuan Batas Kendali (Control Limits):

Batas kendali dihitung menggunakan konstanta statistik yang disesuaikan dengan ukuran subgrup $n = 5$. Konstanta yang digunakan adalah $A_2 = 0,577$, $D_3 = 0$, dan $D_4 = 2,114$.

- **Peta X-bar:**
 $UCL_x = \bar{X} + A_2 \bar{R}$
 $LCL_x = \bar{X} - A_2 \bar{R}$
- **Batas kontrol atas (UCL)**
 $UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \times \bar{R}$
- **Batas kontrol bawah (LCL)**

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \times \bar{R}$$

- **Peta R:**

$$UCL_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R}$$

Seluruh perhitungan dilakukan dengan ketelitian tinggi untuk memastikan bahwa garis batas kendali mencerminkan variasi alami proses (natural variation) sebesar pm 3 standar deviasi dari rata-rata.

2.5. Decision Rules

Interpretasi terhadap peta kendali dilakukan berdasarkan aturan keputusan yang ketat guna menentukan status proses:

- Proses Terkendali secara Statistik:** Jika seluruh titik data berada di antara batas kendali atas (UCL) dan batas kendali bawah (LCL), serta tersebar secara acak di sekitar garis pusat tanpa menunjukkan pola sistematis.
- Proses di Luar Kendali (Out of Control):** Jika terdapat satu atau lebih titik yang melampaui batas kendali, atau jika ditemukan pola non-acak seperti *runs* (7 titik berurutan di satu sisi garis pusat), *trends* (kenaikan atau penurunan terus-menerus), atau *cycles*. [15]
- Makna Interpretatif:** Penting untuk ditekankan bahwa proses yang terkendali secara statistik tidak secara otomatis berarti proses tersebut mampu menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi teknis pelanggan (proses optimal). Status "terkendali" hanya menunjukkan bahwa proses tersebut stabil, konsisten, dan kinerjanya dapat diprediksi secara statistik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Statistik Deskriptif

Analisis dimulai dengan meninjau profil statistik dari 125 sampel gliserin yang dikumpulkan (25 subgrup x 5 sampel). Ringkasan data pada Tabel 1 memberikan gambaran awal mengenai performa kualitas di PT Energi Oleo Persada.

Tabel 1. Ringkasan Statistik Deskriptif Karakteristik Kualitas Gliserin

Parameter	Satuan	Mean (X̄)	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum	Range
Kadar Gliserin	%	97,92	1,35	94,20	99,70	5,50
Viskositas	cP	1085,50	92,40	890,00	1240,00	350,00
Kandungan Air	%	0,78	0,28	0,32	1,55	1,23

Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata kadar gliserin sebesar 97,92% secara teknis masih berada di bawah target ideal 99,5% untuk kelas USP. Nilai minimum sebesar 94,20% mengonfirmasi adanya kejadian di mana kemurnian jatuh di bawah ambang batas yang dapat diterima, yang berisiko menyebabkan penolakan produk. Tingkat variasi pada viskositas dan kandungan air juga terlihat cukup lebar, yang mengindikasikan adanya fluktuasi signifikan dalam proses produksi harian.

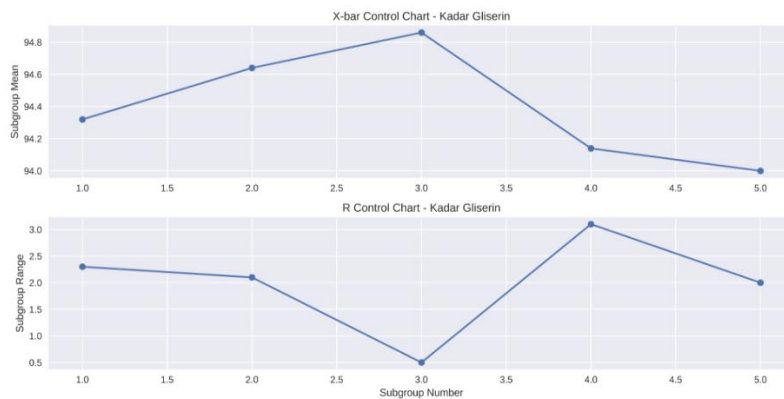
3.2. Hasil Grafik X-Bar dan R Untuk Kandungan Gliserin

Pengujian stabilitas kadar gliserin dilakukan dengan menghitung batas kendali berdasarkan nilai rata-rata rentang $\{R\} = 1,12\%$ dan rata-rata kemurnian $\bar{X} = 97,92\%$.

Tabel 2. Batas Kendali Peta X-bar dan R untuk Kadar Gliserin

Jenis Peta	UCL	Center Line (CL)	LCL
Peta X-bar (%)	98,57	97,92	97,27
Peta R (%)	2,37	1,12	0

Visualisasi data menunjukkan bahwa pada peta X-bar, terdapat 3 subgrup (subgrup 12, 18, dan 24) yang berada di bawah batas kendali bawah (LCL). Hal ini menandakan adanya pergeseran rata-rata proses yang tidak diinginkan menuju level kemurnian yang lebih rendah. Namun, pada peta R, seluruh titik berada dalam batas kendali, yang berarti variabilitas di dalam setiap subgrup masih bersifat konsisten. Kondisi ini mengindikasikan bahwa masalah utama terletak pada stabilitas rata-rata antar waktu, bukan pada presisi alat ukur atau variasi sesaat dalam batch.



Gambar 1. Hasil X-Bar Kandungan Gliserin

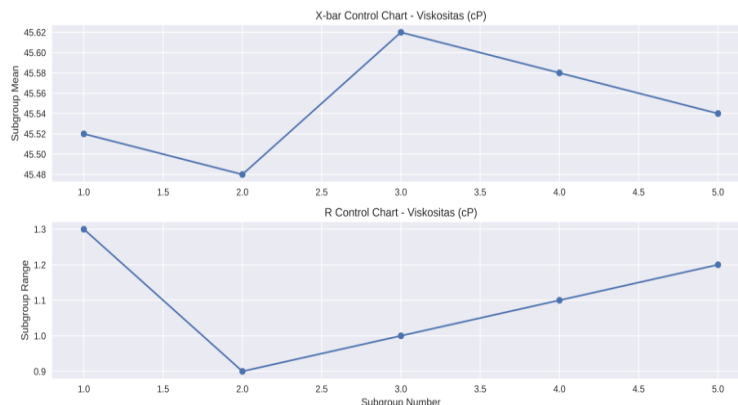
3.3. Hasil Grafik X-Bar dan R Untuk Viskositas

Analisis stabilitas viskositas menghasilkan nilai $\bar{X} = 1085,50$ cP dan $\{R\} = 75,40$ cP. Parameter ini sangat penting dipantau karena viskositas gliserin murni sangat sensitif terhadap perubahan kecil pada kadar air dan suhu.

Tabel 3. Batas Kendali Peta X-bar dan R untuk Viskositas

Jenis Peta	UCL	Center Line (CL)	LCL
Peta X-bar (cP)	1129,00	1085,50	1042,00
Peta R (cP)	159,40	75,40	0

Hasil pemetaan menunjukkan fluktuasi yang sangat tajam pada parameter viskositas. Terdapat 5 titik subgrup yang melampaui UCL dan 2 titik yang berada di bawah LCL. Fenomena ini mengonfirmasi adanya gangguan besar pada proses yang memengaruhi kekentalan produk. Lonjakan viskositas yang tidak terkendali ini sering kali terjadi bersamaan dengan penurunan kadar air, namun ketidakteraturan kemunculannya menunjukkan adanya masalah pada sistem pengendalian suhu di tangki pencampuran atau penyimpanan.



Gambar 2. Hasil X-Bar Viskositas

3.4. Hasil Grafik X-Bar dan R Untuk Kandungan Air

Kandungan air merupakan parameter CTQ yang paling menentukan kualitas gliserin murni. Berdasarkan data, diperoleh $\bar{X} = 0,78\%$ dan $\{R\} = 0,25\%$

Table 4. Batas Kendali Peta X-bar dan R untuk Kandungan Air

Jenis Peta	UCL	Center Line (CL)	LCL
Peta X-bar (%)	0,92	0,78	0,64
Peta R (%)	0,53	0,25	0

Analisis peta kendali untuk kandungan air menunjukkan tingkat ketidakstabilan yang paling parah dibandingkan parameter lainnya. Sebanyak 8 dari 25 subgrup berada di luar batas kendali (*out of control*), di mana mayoritas berada di atas UCL. Selain itu, peta R menunjukkan adanya satu titik yang melampaui UCL_R , menandakan bahwa variabilitas di dalam subgrup itu sendiri sudah sangat tidak stabil. Temuan ini secara kuat menunjukkan adanya "penyebab khusus" yang bersifat sporadis, seperti kebocoran sistem vakum pada unit distilasi atau kontaminasi dari pipa yang tidak bersih, yang menyebabkan kandungan air melonjak secara drastis pada waktu-waktu tertentu.

4. KESIMPULAN

4.1. Proses Interpretasi Stabilitas

Berdasarkan hasil analisis peta kendali X-bar dan R pada ketiga parameter utama, dapat disimpulkan secara definitif bahwa proses produksi gliserin di PT Energi Oleo Persada berada dalam kondisi "tidak terkendali secara statistik" (*out of statistical control*). Keberadaan titik-titik yang melampaui batas kendali pada peta X-bar untuk kadar gliserin, viskositas, dan kandungan air merupakan bukti nyata adanya intervensi dari penyebab khusus (*special causes*) yang mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan.

Dalam teori statistik proses, sebuah proses yang tidak stabil dicirikan oleh ketidakmampuannya untuk memberikan hasil yang konsisten dan dapat diprediksi. Di PT Energi Oleo Persada, variasi yang ditemukan bukan sekadar "noise" alami dari mesin (*common causes*), melainkan gangguan yang memiliki akar penyebab spesifik dan dapat diidentifikasi. Ketidakstabilan pada peta X-bar sementara peta R tetap terkendali pada parameter kadar gliserin menunjukkan bahwa sistem sebenarnya memiliki presisi yang cukup baik dalam jangka pendek, namun mengalami "pergeseran level" (*shift*) yang signifikan antar periode produksi. Pergeseran ini kemungkinan besar disebabkan oleh faktor eksternal seperti fluktuasi kualitas bahan baku *crude glycerol* yang diterima pabrik atau perubahan pengaturan parameter distilasi yang dilakukan secara manual oleh operator tanpa panduan standar yang memadai.

4.2. Hubungan Antara Hasil SPC dan Kualitas Produk

Diskusi mendalam mengenai hasil SPC mengungkapkan keterkaitan erat antara fenomena statistik dengan prinsip kimia gliserin. Temuan penelitian ini mengonfirmasi secara empiris hubungan fungsional di mana lonjakan kandungan air secara sistematis berkorelasi dengan penurunan kadar kemurnian gliserin dan perubahan viskositas. Secara teknis, air bertindak sebagai pengencer (*diluent*) dalam sistem gliserol murni; masuknya molekul air akan melemahkan jaringan ikatan hidrogen antar molekul gliserol yang padat, yang secara langsung mengakibatkan penurunan viskositas secara drastis.

Pola yang ditemukan pada peta kendali kandungan air, di mana banyak titik berada di atas UCL , menjelaskan mengapa viskositas produk sering kali jatuh di bawah spesifikasi teknis. Ketidakstabilan viskositas yang ekstrem (5 titik di luar batas) juga mengisyaratkan adanya masalah pada pengendalian termal. Karena viskositas cairan sangat dipengaruhi oleh suhu, fluktuasi yang tidak menentu pada peta kendali viskositas

di PT Energi Oleo Persada menunjukkan bahwa unit pemanas atau sistem isolasi pada tangki penyimpanan tidak mampu menjaga stabilitas suhu produk.⁵ Keterkaitan logis ini membuktikan bahwa SPC bukan sekadar alat matematika, melainkan cermin dari kesehatan teknis seluruh ekosistem produksi kimia.

4.3. Perbandingan Studi dengan Sebelumnya

Jika dibandingkan dengan penelitian serupa di industri manufaktur lain di Indonesia, tingkat ketidakstabilan proses di PT Energi Oleo Persada tergolong tinggi. Studi oleh Ayuni dkk. pada sektor jasa utilitas atau studi pada industri film plastik umumnya menemukan proses yang lebih stabil dengan hanya sedikit titik yang keluar dari batas kendali. Namun, pada industri proses kimia seperti pemurnian gliserin, variabilitas cenderung lebih tinggi karena sifat material yang sensitif terhadap lingkungan dan kompleksitas unit distilasi.

Penelitian ini juga memberikan perspektif yang berbeda dibandingkan studi yang hanya menggunakan metode FMEA atau Pareto. Sementara FMEA fokus pada identifikasi jenis kegagalan, pendekatan SPC kami berhasil mengukur "kapan" dan "seberapa parah" penyimpangan tersebut terjadi secara kronologis. Temuan kami sejalan dengan argumen Deming dan Shewhart bahwa tindakan perbaikan tidak akan efektif jika dilakukan pada proses yang tidak stabil. Oleh karena itu, rekomendasi kami melampaui sekadar perbaikan mekanis, yaitu menekankan pentingnya mencapai stabilitas statistik terlebih dahulu sebelum melakukan optimasi proses lebih lanjut melalui metode Six Sigma atau integrasi AI seperti yang disarankan oleh Panjapornpon et al.

4.4. Implikasi Manajerial dan Industri

Hasil analisis SPC ini membawa implikasi strategis bagi manajemen PT Energi Oleo Persada. Pertama, SPC harus diimplementasikan bukan hanya sebagai alat pelaporan kualitas, tetapi sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) di lantai produksi. Dengan memantau peta kendali secara real-time, operator dapat mendeteksi pergeseran proses ke arah batas kendali sebelum produk gagal diproduksi, sehingga dapat dilakukan penyesuaian parameter distilasi secara proaktif. Hal ini akan secara drastis mengurangi biaya *rework* dan konsumsi energi yang sia-sia pada unit pemurnian.

Kedua, manajemen perlu melakukan investigasi mendalam terhadap unit-unit kritis yang berkontribusi pada lonjakan kandungan air. Ketidakstabilan yang ditemukan pada peta kendali air menunjukkan perlunya jadwal pemeliharaan preventif yang lebih ketat pada sistem vakum dan pompa kondensat. Ketiga, standarisasi operasional (SOP) untuk penyesuaian suhu dan tekanan harus direvisi berdasarkan batas kendali statistik, bukan hanya berdasarkan intuisi operator. Keempat, bukti statistik mengenai variabilitas input dapat digunakan sebagai dasar untuk negosiasi kontrak dengan pemasok bahan baku guna menuntut konsistensi kualitas *crude glycerol* yang lebih baik. Implementasi SPC yang disiplin akan mentransformasi PT Energi Oleo Persada dari perusahaan yang mengandalkan inspeksi menjadi perusahaan yang memiliki "kualitas pada sumbernya" (*quality at the source*).

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa Statistical Process Control (SPC) merupakan instrumen analitik yang sangat krusial bagi pengendalian kualitas di industri kimia. Analisis terhadap proses produksi gliserin di PT Energi Oleo Persada mengungkapkan bahwa meskipun perusahaan memiliki standar kualitas yang jelas, proses produksinya secara statistik masih belum stabil. Parameter kandungan air teridentifikasi sebagai sumber variabilitas utama yang paling tidak terkendali, yang memberikan efek domino pada stabilitas kadar kemurnian dan viskositas produk.

Keberadaan penyebab khusus (*special causes*) yang terdeteksi melalui peta kendali

X-bar dan R menuntut tindakan korektif yang sistemik, mulai dari pemeliharaan peralatan unit distilasi hingga standarisasi operasional operator. Kontribusi utama dari studi ini adalah penyediaan bukti empiris bagi manajemen bahwa inspeksi akhir produk tidaklah cukup; kestabilan proses adalah fondasi utama untuk mencapai efisiensi biaya dan kepuasan pelanggan. Dengan mengadopsi kerangka kerja SPC, PT Energi Oleo Persada berpotensi besar untuk mengurangi tingkat pengerjaan ulang, meminimalkan risiko penolakan produk, dan memperkuat posisinya sebagai produsen gliserin berkualitas tinggi di pasar internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Noezar, I. (2004). Konversi produk industri oleokimia menjadi pelumas sintetik.
- [2] PT Safa Farma Indonesia mendistribusikan produk Glycerin 99,5% (USP Grade) - 250kg/Drum
- [3] Joko Santoso. (2018). Optimasi Formula Krim Ekstrak Polih herbal Sebagai Antibakteri Dengan Kombinasi Gliserin, Sorbitol Dan Propilenglikol Sebagai Humektan.
- [4] Anzar, E., Yusi, M. S. Y., & Bow, Y. (2018). Purification of crude glycerol from biodiesel by-product by adsorption using bentonite. *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*
- [5] Alviany, A., dkk. (2021). Pemanfaatan fly ash sebagai adsorben dalam pemurnian crude glycerol. *Jurnal Serambi Engineering*,
- [6] Suseno, N., dkk. (2020). Pemurnian gliserol dengan kombinasi adsorpsi, mikrofiltrasi, dan evaporasi. *Jurnal Teknik Kimia*
- [7] Setiawan, D., & Hakim, A. R. (2019). Implementasi Six Sigma dalam peningkatan kualitas proses industri kimia. *Jurnal Teknik Industri*
- [8] Wignarajah, A., dkk. (2019). Application of failure mode and effect analysis (FMEA) in chemical process industries: A review. *Journal of Quality and Reliability Engineering*
- [9] Gaspersz, V. (2012). *All-in-one integrated total quality talent management*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- [10] Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to statistical quality control* (7th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- [11] Hines, W. W., Montgomery, D. C., Goldsman, D. M., & Borror, C. M. (2003). *Probability and statistics in engineering*
- [12] Siahaan, Eka Febriyanti, et al. "Analisis Kualitas Pulp Dengan Empat Metode Terhadap Jumlah Produk Cacat PT. QMX."
- [13] Tupan, J. M. (2011). *Desain peta kendali \bar{X} dan R*. Dalam *ARIKA*
- [14] Gultom, Josua Alexander, and Manaor Silitonga. "Analisa Layanan Jasa Bengkel Sepeda Motor Terhadap Kepuasan Pelanggan (Studi Kasus Bengkel Motor Dolpine Di Kec. Medan Johor)." *ATDS Saintechnical Journal of Engineering* 4.1 (2023): 11-22.
- [15] Maulana, M. R. & Rochman, D. D. (2023). *Analisis Kualitas Feed Water Boiler menggunakan Peta Kendali Variabel X dan R*.