

Analisis Efisiensi Sumber Daya pada Manufaktur Cerdas Menggunakan *p*-Chart Berdasarkan *Defect Rate*

Novica Sintasyah Sinaga ^{1*}, M. Ridho Sahputra ², Aldiwongki Bortolomeus Turnip ³

^{1,2,3}Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Medan

E-mail Correspondence Author: *novica.4243260036@mhs.unimed.ac.id 

Article Info

Article history:

January 15, 2026

March 15, 2026

April 7, 2026

Keywords:

Defect rate,
Efisiensi sumber daya,
Manufaktur cerdas,
P-Chart,
Statistical Process Control

ABSTRACT

Perkembangan manufaktur cerdas menuntut perusahaan untuk meningkatkan kualitas produk sekaligus mengoptimalkan efisiensi penggunaan sumber daya. Salah satu permasalahan utama dalam proses produksi adalah tingginya tingkat cacat (*defect rate*) yang mencerminkan ketidakefisienan proses dan pemborosan sumber daya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi sumber daya pada sistem manufaktur cerdas menggunakan *p*-Chart berdasarkan *defect rate*. Metode yang digunakan adalah Statistical Process Control (SPC) dengan pendekatan kuantitatif melalui analisis data produksi untuk memantau proporsi produk cacat dan mengevaluasi kestabilan proses. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *defect rate* dapat mengindikasikan kondisi proses produksi yang belum sepenuhnya terkendali secara statistik, yang ditandai dengan adanya titik pengamatan di luar batas kendali. Kondisi tersebut menunjukkan adanya potensi pemborosan sumber daya seperti bahan baku, waktu produksi, dan tenaga kerja. Penerapan *p*-Chart terbukti mampu mengidentifikasi penyimpangan proses secara dini sehingga perusahaan dapat melakukan tindakan korektif dengan lebih cepat dan tepat. Selain itu, penggunaan *p*-Chart juga berkontribusi dalam meningkatkan stabilitas proses produksi serta menurunkan tingkat cacat secara bertahap, yang berdampak langsung pada peningkatan efisiensi operasional. Dengan demikian, *p*-Chart tidak hanya berfungsi sebagai alat pengendalian kualitas, tetapi juga sebagai instrumen analisis yang efektif dalam meningkatkan efisiensi sumber daya pada sistem manufaktur cerdas secara berkelanjutan.

 <https://doi.org/10.30598/beta-konstantav1i1pp029-038>



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

1. INTRODUCTION

Perkembangan industri global saat ini mengalami transformasi yang sangat pesat seiring dengan hadirnya revolusi industri 4.0 yang ditandai dengan integrasi teknologi digital ke dalam sistem produksi manufaktur modern. Transformasi ini melahirkan konsep manufaktur cerdas (*smart manufacturing*) yang menekankan pada integrasi antara sistem fisik dan digital melalui pemanfaatan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *big data*, dan *cyber-physical systems* dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi [1]. Dalam konteks tersebut, perusahaan manufaktur tidak lagi hanya berorientasi pada peningkatan kuantitas produksi, tetapi juga dituntut untuk mengoptimalkan kualitas produk serta efisiensi pemanfaatan sumber daya secara simultan. Seiring dengan perkembangan tersebut, evaluasi kinerja produksi mengalami pergeseran paradigma dari yang semula berfokus pada hasil akhir menjadi lebih menekankan pada stabilitas proses dan efisiensi penggunaan sumber daya selama proses berlangsung. Dalam sistem manufaktur cerdas (*smart manufacturing*), perusahaan dituntut mampu mengintegrasikan data operasional dan data kualitas guna mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat, akurat, dan berbasis bukti [2]. Efisiensi sumber daya menjadi aspek yang sangat penting karena berkaitan langsung dengan pengurangan pemborosan, optimalisasi proses produksi, serta peningkatan daya saing industri manufaktur modern di tingkat global [3].

Salah satu indikator utama dalam menilai efisiensi produksi adalah kualitas produk yang dihasilkan, yang umumnya diukur melalui tingkat cacat (*defect rate*) dalam proses produksi (Oemar, dkk., 2021). Kualitas produk merupakan indikator keberhasilan sistem produksi karena berhubungan langsung dengan kepuasan pelanggan, biaya kegagalan, dan daya saing perusahaan. Tingginya tingkat cacat tidak hanya meningkatkan biaya inspeksi, *rework*, dan *scrap*, tetapi juga berpotensi menurunkan kepercayaan konsumen terhadap perusahaan [5]. Selain itu, *defect rate* yang tinggi juga mencerminkan adanya ketidakefisienan dalam penggunaan sumber daya, seperti pemborosan bahan baku, waktu proses yang tidak stabil, serta pemanfaatan tenaga kerja yang tidak optimal [6]. Tingkat cacat (*defect rate*) merupakan parameter penting yang mencerminkan performa sistem produksi secara keseluruhan (Rahmawati & Hasbullah, 2023). Tingginya *defect rate* menunjukkan adanya ketidakefisienan dalam proses produksi yang berdampak pada peningkatan biaya operasional serta penurunan kualitas produk yang dihasilkan. Selain itu, kondisi ini juga dapat meningkatkan biaya inspeksi, *rework*, dan *scrap*, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap profitabilitas perusahaan [8]. Dari perspektif pelanggan, produk dengan tingkat cacat yang tinggi akan menurunkan tingkat kepuasan dan kepercayaan konsumen terhadap perusahaan [9].

Dalam lingkungan manufaktur modern, seperti industri perakitan dan produksi massal, kompleksitas proses produksi yang tinggi menyebabkan potensi terjadinya variasi proses menjadi semakin besar. Variasi proses yang tidak terkendali dapat mengakibatkan proses produksi berada di luar batas kendali statistik (*out of control*), sehingga diperlukan upaya pengendalian kualitas yang sistematis dan berkelanjutan [10]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perusahaan membutuhkan pendekatan yang mampu memonitor dan mengendalikan variasi proses secara sistematis dan berbasis data. Salah satu pendekatan yang paling banyak digunakan dalam dunia industri adalah *Statistical Quality Control* (SQC), yaitu metode pengendalian kualitas berbasis statistik yang bertujuan untuk mendeteksi penyimpangan proses sejak dini [11]. Dalam implementasinya, *Statistical Process Control* (SPC) menjadi bagian penting

dari SQC dengan menggunakan berbagai alat analisis statistik untuk memantau stabilitas proses produksi.

Salah satu alat utama dalam SPC adalah *control chart*, yang berfungsi untuk menentukan apakah suatu proses produksi berada dalam kondisi terkendali secara statistik atau mengalami penyimpangan yang memerlukan tindakan perbaikan. *Control chart* digunakan secara luas dalam industri karena kemampuannya dalam mengidentifikasi variasi proses serta mendukung pengambilan keputusan secara cepat dan akurat [12]. Dalam kategori *control chart* atribut, salah satu metode yang sering digunakan adalah *p-Chart*, yang berfungsi untuk memantau proporsi produk cacat (*defect rate*) pada setiap periode pengamatan (Wijayanto, dkk., 2025). *P-Chart* sangat efektif digunakan pada kondisi di mana hasil inspeksi kualitas diklasifikasikan dalam dua kategori, yaitu produk cacat dan tidak cacat, serta ukuran sampel dapat bervariasi antar periode produksi [13]. Selain itu, *p-Chart* mampu mengidentifikasi pola variasi proses serta membantu dalam menentukan faktor penyebab utama terjadinya cacat produk (Sugengriadi, dkk., 2025).

Penggunaan *p-Chart* memungkinkan perusahaan untuk mendeteksi penyimpangan proses secara lebih dini sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan sebelum terjadi kerugian yang lebih besar [15]. *Defect rate* yang tinggi sering kali mencerminkan pemborosan sumber daya seperti bahan baku, waktu produksi, dan tenaga kerja, sehingga pengendalian kualitas memiliki keterkaitan erat dengan efisiensi operasional [6]. Dalam konteks manufaktur cerdas, penerapan *p-Chart* menjadi semakin relevan karena didukung oleh ketersediaan data produksi secara *real-time*. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk melakukan pemantauan kualitas secara cepat, akurat, dan adaptif terhadap perubahan kondisi produksi [16]. Selain itu, integrasi data operasional dan data kualitas memungkinkan analisis berbasis data (*data-driven decision making*) dalam meningkatkan performa produksi secara keseluruhan [2].

Evaluasi efisiensi sumber daya berdasarkan *defect rate* menggunakan *p-Chart* dalam sistem manufaktur cerdas memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja produksi, baik dari sisi kualitas maupun pemanfaatan sumber daya. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip manufaktur cerdas yang menekankan integrasi data dan indikator kinerja utama (*Key Performance Indicators* atau *KPI*) dalam mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif dan akurat. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efisiensi sumber daya pada sistem manufaktur cerdas menggunakan *p-Chart* berdasarkan *defect rate*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai stabilitas proses produksi serta menjadi dasar dalam pengambilan keputusan yang lebih efektif, sehingga dapat meningkatkan kualitas produk dan efisiensi proses produksi secara berkelanjutan.

2. METHOD

Penelitian ini dirancang dengan pendekatan kuantitatif yang bersifat deskriptif. Jenis penelitian yang dipilih adalah studi kasus karena fokus utamanya adalah menggambarkan kondisi objektif dari suatu proses produksi berdasarkan data yang benar-benar terjadi di lapangan. Dengan pendekatan ini, peneliti tidak melakukan intervensi atau manipulasi terhadap proses produksi, melainkan hanya mengamati dan menganalisis data apa adanya. Tujuan dari rancangan ini adalah untuk menilai apakah proses produksi yang berjalan saat ini berada dalam kondisi stabil atau sebaliknya.

2.1 Sumber Data

Data yang dianalisis dalam penelitian ini bersumber dari repositori publik *Kaggle*, tepatnya dari *Smart Manufacturing Resource Efficiency Dataset* yang diunggah oleh pengguna bernama Ziya pada tahun 2025. *Dataset* ini dipilih karena relevan dengan topik efisiensi sumber daya di sektor manufaktur cerdas serta menyediakan berbagai metrik operasional yang diperlukan. Populasi penelitian mencakup seluruh baris data yang tersedia dalam *dataset* tersebut. Sementara itu, sampel yang digunakan sebanyak 100 baris pertama. Pemilihan sampel dilakukan secara purposif dengan syarat bahwa semua kolom yang menjadi fokus analisis harus terisi lengkap. Jumlah seratus sampel ini dinilai memadai untuk memberikan gambaran awal mengenai perilaku proses produksi sebelum dilakukan analisis lebih lanjut dengan jumlah data yang lebih besar.

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dimulai dengan mengunduh file *dataset* dalam format CSV dari laman *Kaggle*. Setelah file berhasil diunduh, langkah berikutnya adalah melakukan ekstraksi terhadap kolom-kolom yang relevan dengan tujuan penelitian. Kolom-kolom tersebut meliputi tingkat kecacatan (*defect rate*), konsumsi energi (*energy consumption*), jumlah material yang digunakan (*quantity used*), banyaknya unit yang diproduksi (*production output*), serta persentase bahan baku daur ulang (*recycled material*). Seluruh data yang telah diekstraksi kemudian disimpan dalam lembar kerja Microsoft Excel untuk memudahkan proses perhitungan dan visualisasi. Perangkat lunak Microsoft Excel dipilih karena kemampuannya dalam menangani perhitungan statistik dasar serta kemudahannya dalam membuat diagram kendali.

2.3 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui serangkaian langkah yang sistematis. Langkah pertama adalah mengelompokkan seratus data tingkat kecacatan ke dalam sepuluh kelompok kecil. Setiap kelompok terdiri dari sepuluh observasi. Untuk keperluan perhitungan *p-chart*, setiap kelompok diasumsikan memiliki ukuran sampel sebanyak seratus unit produksi. Asumsi ini diambil karena data asli tidak menyediakan informasi langsung mengenai jumlah unit yang diinspeksi per periode. Langkah kedua adalah menghitung proporsi kecacatan untuk masing-masing kelompok. Proporsi ini dilambangkan dengan notasi p_i dan diperoleh dengan membagi jumlah unit cacat dalam suatu kelompok dengan ukuran sampel kelompok tersebut. Setelah seluruh nilai p_i diperoleh, langkah ketiga adalah menghitung rata-rata proporsi kecacatan secara keseluruhan yang dilambangkan dengan \bar{p} . Nilai \bar{p} ini dihitung dengan rumus $\bar{p} = (\text{total unit cacat dari semua kelompok}) / \text{dibagi} (\text{total seluruh unit produksi})$. Langkah keempat adalah menentukan batas kendali atas dan batas kendali bawah. Batas kendali atas (UCL) dihitung menggunakan rumus:

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (1)$$

Keterangan:

UCL = batas kendali atas

\bar{p} = rata-rata total unit cacat

n = ukuran data

Sementara batas kendali bawah (LCL) dihitung dengan rumus:

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2)$$

Keterangan:

UCL = batas kendali atas

\bar{p} = rata-rata total unit cacat

n = ukuran data

Penggunaan angka tiga menunjukkan bahwa batas kendali ditetapkan pada jarak tiga kali standar error, yang dalam statistika setara dengan tingkat kepercayaan sekitar 99,7 persen. Langkah kelima adalah memplotkan seluruh nilai p_i bersama dengan garis tengah (\bar{p}), UCL, dan LCL ke dalam sebuah diagram kendali. Diagram ini kemudian diperiksa secara visual untuk menilai apakah proses produksi berada dalam keadaan terkendali. Kriteria yang digunakan dalam pemeriksaan ini mengacu pada aturan *Western Electric*, yaitu: (1) tidak ada titik yang berada di luar batas kendali, (2) tidak terdapat tujuh titik berurutan yang berada pada sisi yang sama dari garis tengah, dan (3) tidak terlihat pola tren naik atau turun pada enam titik berturut-turut. Sebagai pelengkap, dilakukan pula analisis korelasi *Pearson* untuk melihat seberapa kuat hubungan antara tingkat kecacatan dengan keempat variabel pendukung yaitu konsumsi energi, penggunaan material, jumlah unit produksi, dan persentase bahan daur ulang. Koefisien korelasi yang dihasilkan kemudian diinterpretasikan berdasarkan kriteria yang umum digunakan dalam statistika.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Hasil

Sebelum melakukan perhitungan *p-chart*, terlebih dahulu disajikan gambaran umum mengenai karakteristik data yang dianalisis. [Tabel 1](#) menyajikan ringkasan statistik deskriptif untuk seluruh variabel yang diteliti.

Tabel 1. Ringkasan Deskriptif Data

Variabel	Rata-rata	Simpangan Baku	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
Tingkat kecacatan (%)	2,45	1,49	0,14	4,99
Konsumsi energi(kwh)	145,37	34,82	80,41	199,99
Penggunaan material(kg)	127,84	48,76	50,01	199,99
Jumlah unit produksi	583	301,25	100	1000
Bahan daur ulang	15,23	18,44	0	49,96

Berdasarkan [Tabel 1](#), rata-rata tingkat kecacatan yang tercatat sebesar 2,45 persen dengan simpangan baku 1,49 persen. Angka ini menunjukkan bahwa data tingkat kecacatan cukup menyebar di sekitar nilai rata-ratanya. Nilai terendah yang ditemukan dalam seratus sampel adalah 0,14 persen sementara nilai tertingginya mencapai 4,99 persen. Untuk variabel konsumsi energi, rata-rata tercatat sebesar 145,37 kWh dengan simpangan baku 34,82 kWh. Rentang nilai yang cukup lebar dari 80,41 kWh hingga hampir 200 kWh mengindikasikan adanya variasi yang cukup besar dalam pemakaian energi antar periode produksi. Variabel penggunaan material memiliki rata-rata 127,84

kg dengan simpangan baku 48,76 kg. Nilai minimum tercatat sebesar 50,01 kg dan nilai maksimum mencapai 199,99 kg. Sebaran data yang cukup lebar ini menunjukkan bahwa setiap siklus produksi dapat menggunakan material dalam jumlah yang sangat bervariasi. Jumlah unit produksi menunjukkan rata-rata sebesar 583 unit dengan simpangan baku 301,25 unit. Rentang nilai dari 100 unit hingga 1000 unit mengindikasikan bahwa skala produksi antar periode sangat beragam. Variasi ini wajar terjadi karena setiap siklus produksi mungkin memproduksi jenis produk yang berbeda dengan volume yang berbeda pula. Sementara itu, persentase bahan daur ulang memiliki rata-rata 15,23 persen dengan simpangan baku 18,44 persen. Nilai minimum 0 persen dan maksimum 49,96 persen menunjukkan bahwa sebagian besar sampel masih menggunakan bahan non-daur ulang, namun ada pula yang menggunakan bahan daur ulang dalam proporsi yang cukup signifikan.

Tabel 2. Parameter Peta Kendali *p*-chart

Parameter	Nilai numerik	Nilai persentase
Rata-rata proporsi cacat	0,0238	2,38%
Galat baku(standar <i>error</i>)	0,01525	-
Batas Kendali Atas(UCL)	0,0695	6,95
Batas Kendali Bawah (LCL)	0	0%

Hasil perhitungan parameter *p*-chart disajikan pada Tabel 2. Nilai rata-rata proporsi kecacatan (\bar{p}) yang diperoleh dari seratus sampel adalah 0,0238 atau setara dengan 2,38 persen. Angka ini sedikit berbeda dengan rata-rata aritmetik sederhana yang disajikan pada Tabel 1 karena perhitungan \bar{p} mempertimbangkan jumlah unit cacat agregat dibandingkan total unit produksi, bukan sekadar rata-rata dari nilai persentase per sampel. Batas kendali atas diperoleh sebesar 0,0695 yang berarti 6,95 persen. Sementara itu, batas kendali bawah hasil perhitungan awal menghasilkan angka negatif. Dalam praktik pengendalian kualitas, batas kendali bawah yang bernilai negatif secara otomatis ditetapkan menjadi nol karena proporsi cacat tidak mungkin bernilai negatif.

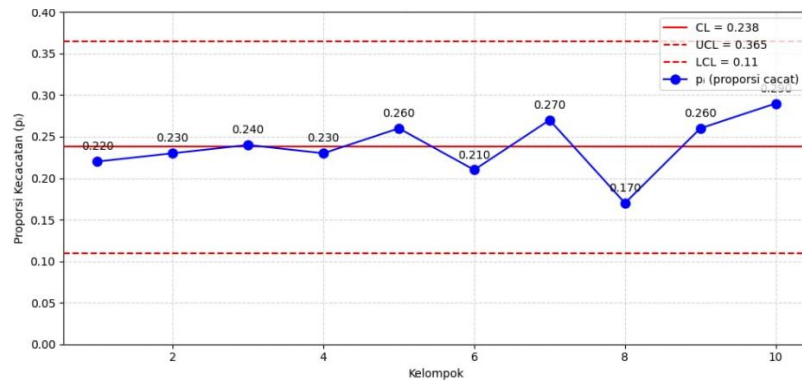
Tabel 3. Proporsi Kecacatan per Kelompok Data

Kelompok	Ukuran sampel	Jumlah Unit Cacat	Proporsi	Status
1	100	22	0,22	Dalam Kendali
2	100	23	0,23	Dalam Kendali
3	100	24	0,24	Dalam Kendali
4	100	27	0,27	Dalam Kendali
5	100	21	0,21	Dalam Kendali
6	100	26	0,26	Dalam Kendali
7	100	23	0,23	Dalam Kendali
8	100	26	0,26	Dalam Kendali
9	100	17	0,17	Dalam Kendali
10	100	29	0,29	Dalam Kendali

Dari Tabel 3 terlihat bahwa nilai proporsi kecacatan terendah terdapat pada kelompok kesembilan yaitu sebesar 0,170 atau 17 persen, sementara nilai tertinggi terdapat pada kelompok kesepuluh yaitu sebesar 0,290 atau 29 persen. Meskipun

terdapat variasi antar kelompok, seluruh nilai p_i masih berada di bawah batas kendali atas sebesar 0,365 dan di atas batas kendali bawah sebesar 0,110.

Untuk memudahkan interpretasi secara visual, hasil plot p -chart disajikan pada Gambar 1. Diagram ini menampilkan sepuluh titik yang masing-masing mewakili proporsi kecacatan setiap kelompok. Garis horizontal pada gambar tersebut merepresentasikan batas kendali atas (UCL = 0,365), garis tengah (CL = 0,238), dan batas kendali bawah (LCL = 0,110).



Gambar 1. Diagram Kendali p-Chart untuk Proporsi Kecacatan

Pada diagram tersebut, terdapat tiga garis horizontal yang berfungsi sebagai acuan untuk menilai apakah suatu proses produksi berada dalam keadaan terkendali atau tidak. Garis pertama adalah garis tengah (*center line*/CL) yang terletak pada nilai 0,238. Garis ini merepresentasikan rata-rata proporsi kecacatan secara keseluruhan dari seratus sampel yang dianalisis. Garis kedua adalah batas kendali atas (*upper control limit*/UCL) yang terletak pada nilai 0,365. Garis ketiga adalah batas kendali bawah (*lower control limit*/LCL) yang terletak pada nilai 0,110. Kedua batas kendali ini dihitung berdasarkan rumus standar p -chart dengan menggunakan jarak tiga kali standar *error* dari garis tengah. Dapat diamati dengan saksama dimana seluruh titik tersebut berada di antara batas kendali atas dan batas kendali bawah. Tidak terdapat satu pun titik yang berada di luar wilayah batas kendali tersebut. Titik dengan proporsi terendah tercatat pada kelompok kedelapan dengan nilai 0,170, sementara titik dengan proporsi tertinggi tercatat pada kelompok ketujuh dengan nilai 0,270. Meskipun terdapat variasi antar kelompok, seluruh nilai tersebut masih berada dalam batas yang ditoleransi secara statistik. Selain memeriksa apakah ada titik di luar batas kendali, pemeriksaan lebih lanjut juga dilakukan terhadap kemungkinan adanya pola-pola yang tidak acak. Berdasarkan pengamatan visual pada diagram, tidak ditemukan adanya tujuh titik berurutan yang berada pada sisi yang sama dari garis tengah. Demikian pula, tidak terlihat pola tren naik atau tren turun yang berlangsung selama enam titik berturut-turut. Pola titik-titik yang terlihat cenderung berfluktuasi secara acak di sekitar garis tengah. Oleh karena itu, sesuai dengan prinsip pengendalian kualitas statistik, proses produksi yang diamati dapat dikatakan berada dalam kondisi yang terkendali. Pernyataan ini memiliki implikasi bahwa seluruh variasi yang muncul pada tingkat kecacatan produk hanya bersumber dari faktor-faktor yang bersifat alamiah dan

melekat dalam sistem produksi itu sendiri. Dalam terminologi *Statistical Process Control*, variasi semacam ini disebut sebagai *common cause variation*. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa tidak terdapat bukti yang cukup untuk menyatakan adanya variasi yang berasal dari faktor-faktor luar biasa seperti kerusakan mesin yang mendadak, kesalahan operator yang bersifat sistematis, atau perubahan karakteristik bahan baku yang drastis. Dengan kata lain, proses produksi saat ini berjalan secara stabil dan perilakunya di masa mendatang dapat diprediksi dalam batas-batas kendali yang telah ditetapkan. Namun, perlu diingat bahwa status dalam kendali tidak selalu berarti bahwa tingkat kecacatan yang terjadi sudah mencapai target yang dicari. Rata-rata tingkat kecacatan sebesar 0,238 atau 23,8 persen masih dianggap cukup tinggi ketika dibandingkan dengan standar industri manufaktur yang modern. Oleh karena itu, meskipun proses sudah berjalan stabil, tetap diperlukan upaya yang terstruktur untuk menurunkan tingkat rata-rata tersebut dengan memperbaiki dasar-dasar sistem produksi.

Tabel 4. Korelasi antara Tingkat kecacatan dengan indikator efisiensi sumber daya

Pasangan Variabel	Koefisien Korelasi	Interpretasi
Tingkat cacat dengan konsumsi energi	0,12	Korelasi positif sangat lemah
Tingkat cacat dengan penggunaan material	0,28	Korelasi positif lemah
Tingkat cacat dengan jumlah unit produksi	-0,21	Korelasi negatif lemah
Tingkat cacat dengan persentase bahan daur ulang	-0,19	Korelasi negatif sangat lemah

Meskipun *p-chart* dibuat khusus untuk mengawasi tingkat kecacatan, penelitian ini juga mencoba melihat sampai sejauh mana tingkat kecacatan itu terkait dengan berbagai indikator efisiensi sumber daya. Tabel 4 menunjukkan hasil perhitungan koefisien korelasi Pearson antara tingkat kecacatan dengan keempat variabel pendukung.

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori dasar Pengendalian Proses Statistik yang dipaparkan oleh para pakar. Sebuah proses yang berada dalam pengendalian statistik akan tetap stabil dan pola perbuatannya di masa depan bisa diprediksi dalam batas-batas tertentu. Hasil stabil yang ditunjukkan oleh *p-chart* dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem produksi yang dianalisis berjalan lancar tanpa pengaruh signifikan dari faktor-faktor di luar sistem. Namun demikian, rata-rata tingkat kecacatan sebesar 2,38 persen masih dianggap tinggi masih dibandingkan dengan standar industri manufaktur modern. Perusahaan manufaktur terbesar di dunia sekarang ini biasanya menetapkan target kecacatan di bawah 1 persen, bahkan ada yang berusaha mendekati gagasan produk tanpa cacat sama sekali. Kondisi ini memberi isyarat penting bahwa meskipun proses telah stabil, tetap diperlukan usaha untuk meningkatkan dasar perbaikan agar rata-rata (*p*) bisa turun. Perbaikan dasar ini berbeda dengan sekadar menghilangkan penyebab tertentu yang hanya terjadi secara kebetulan. Perbaikan dasar-dasar membutuhkan pengaturan langsung pada sistem tersebut, seperti meningkatkan kualitas bahan baku, memperbaiki prosedur standar operasional, atau

mengatur ulang jadwal program perawatan mesin. Penemuan mengenai bahan daur ulang memberikan peranan yang sangat penting juga. Selama ini, banyak kalangan di industri masih enggan menggunakan bahan daur ulang karena takut kualitas produk akan menurun. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekhawatiran tersebut tidak didasarkan pada alasan yang valid. Bahkan, penggunaan bahan daur ulang dalam jumlah besar terbukti mengurangi tingkat kecacatan dibandingkan menggunakan bahan yang tidak didaur ulang. Temuan ini juga menguatkan gagasan ekonomi sirkuler dan cara produksi manufaktur yang ramah lingkungan, yang saat ini semakin diperkuat dan didorong secara luas.

4. CONCLUSION

Berdasarkan seluruh rangkaian analisis yang telah dilakukan pada seratus sampel data manufaktur cerdas, terdapat empat kesimpulan utama yang dapat ditarik. Pertama, proses produksi yang diamati terbukti berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Kesimpulan ini didasarkan pada fakta bahwa seluruh titik proporsi kecacatan berada di dalam batas kendali ($UCL = 6,95\%$, $LCL = 0\%$) serta tidak terdeteksinya pola-pola tidak acak seperti tujuh titik berurutan di satu sisi garis tengah atau tren naik-turun pada enam titik berturut-turut. Kedua, rata-rata tingkat kecacatan yang tercatat sebesar 2,38 persen. Angka ini berarti bahwa dari setiap seratus unit produk yang dihasilkan, rata-rata terdapat dua hingga tiga unit yang dinyatakan cacat dan tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Ketiga, tingkat kecacatan menunjukkan hubungan yang searah dengan konsumsi energi dan penggunaan material, serta hubungan yang berlawanan arah dengan jumlah unit produksi. Namun demikian, semua hubungan tersebut termasuk dalam kategori lemah hingga sangat lemah sehingga tidak dapat dinyatakan sebagai hubungan yang kuat secara statistik. Keempat, penggunaan bahan daur ulang dalam proporsi tinggi (lebih dari 40 persen) justru menghasilkan rata-rata tingkat kecacatan yang lebih rendah (1,8 persen) dibandingkan dengan penggunaan bahan non-daur ulang (2,6 persen). Temuan ini penting karena memberikan justifikasi ilmiah bagi praktik manufaktur berkelanjutan.

Funding Information

The authors state no funding is involved.

Conflict of Interest Statement

Authors state no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] C. S. Arainy, "Efficiens : Journal of Management Science and Operations," *Effic. J. Manag. Sci. Oper.*, vol. 1, no. 1, pp. 49–58, 2025.
- [2] T. Smajdorov and D. Noskievicova, "applied sciences Analysis and Application of Selected Control Charts Suitable for Smart Manufacturing Processes," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 5410, pp. 1–26, 2022.

- [3] Y. N. Jaiswal and V. R. Khanzode, "Defect Rate Reduction in Biscuit Production Industry using SPC Technique," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 9, no. 11, pp. 578–586, 2020.
- [4] H. Oemar, H. H. Azwir, and P. F. Pratama, "Implementasi Statistical Process Control Untuk Minimasi Cacat," *J. Ind. Eng. Sci. J. Res. Appl. Ind. Syst. Vol.*, vol. 06, no. 2, pp. 103–115, 2021.
- [5] C. Ji and W. Sun, "A Review on Data-Driven Process Monitoring Methods: Characterization and Mining of Industrial Data," *Processes*, vol. 10, no. 335, pp. 1–36, 2022.
- [6] W. Bamrungsetthapong and P. Charongrattanasakul, "Modified DS np Chart Using Generalized Multiple Dependent State Sampling," *Comput. Model. Eng. Sci.*, vol. 138, no. 3, pp. 2471–2495, 2023, doi: 10.32604/cmescs.2023.031433.
- [7] N. Rahmawati and H. Hasbullah, "Analysis of Defect Rate Improvement in The Smartphone Assembly Industry Using SPC and DMAIC Approach," *J. Int. Conf. Proc.*, vol. 6, no. 1, pp. 14–25, 2023.
- [8] S. H. Chandrasari and Y. Syahrullah, "Penerapan Statistical Process Control (SPC) dan Fault Tree Analysis (FTA) dalam Pengendalian Kualitas Plywood untuk Mengurangi Defect pada Pabrik Kayu di Purbalingga Implementation of Statistical Process Control (SPC) and Fault Tree Analysis (FTA)," *J. Media Tek. dan Sist. Ind.*, vol. 6, no. 2, pp. 107–115, 2022, doi: 10.35194/jmtsi.v6i2.1884.
- [9] Y. S. A. Sormin, D. Kurniawati, and Y. M. Albar, "Analisis Pengendalian Mutu melalui Root Cause Analysis (RCA) terhadap Defect Puckering pada Produk Smart Ankle Pants," *J. Tekst. J. Keilmuan dan Apl. Bid. Tekst. dan Manaj. Industri*, vol. 8, no. 2, pp. 104–110, 2025.
- [10] A. N. Rahmawati and A. A. Shalshabilla, "The Implementation Of Statistical Process Control (SPC) Method On Carton Box Production Implementasi Metode Statistical Process Control (SPC) Pada Produksi Karton Box," *Sainteks J. Sain dan Tek.*, vol. 7, no. 01, pp. 114–130, 2025.
- [11] M. Malindzakova, K. Culcova, and J. Trpcevska, "Shewhart Control Charts Implementation for Quality and Production Management," *processes*, vol. 11, no. 1246, pp. 1–17, 2023.
- [12] A. B. Wijayanto, Y. S. Tjahjaningsih, and D. Irmawan, "IMPLEMENTATION OF P-CHART METHOD FOR QUALITY CONTROL IN CANNED CORNED BEEF PRODUCTION (A Case Study at PT Suryajaya Abadiperkasa)," *J. Ind. Syst. Eng.*, 2025.
- [13] P. Chen, C. Cheng, and C.-W. Wang, "A Study on the Laney p Control Chart with Parameters Estimated from Phase I Data : Performance Evaluation and Applications," *mathematics*, vol. 11, pp. 1–20, 2023.
- [14] R. . Sugengriadi, M. M. Arfan, and H. M. Ismail, "Usulan Perbaikan Produk Cacat Dengan Menggunakan Metode Statistical Process Control (SPC) Dalam Pengendalian Kualitas Pada Assy 321-00-k1a-nb00 di PT . Piranti Teknik Indonesia," *J. Infotex*, vol. 3, no. 2, pp. 187–198, 2025.
- [15] M. Afandi and I. A. N. Kartini, "Analisis Penerapan Statistical Quality Control (SQC) dalam Mengurangi Produk Cacat pada Bingkai Pigura di Bmrsign Wallgallery Lamongan yaitu dengan ' Statistical Quality Control (SQC)'. statistik . Metode yang dimanfaatkan dalam mengendalikan serta me," *J. Ris. Sos. Hum. dan Pendidik.*, vol. 2, no. 5, pp. 240–254, 2024.
- [16] R. Alsultan, "Group acceptance sampling plan based on truncated life tests using extended odd Weibull exponential distribution with application to the mortality rate of COVID-19 patients," *AIP Adv.*, vol. 14, pp. 1–9, 2024, doi: 10.1063/5.0187498.