Analisis Pengendalian Kualitas Statistik dan Perencanaan Desain Smart Garden Furniture Berbasis Python Data Library

Onny Purnamayudhia[1*], Subaderi[2], Ampar Jaya Suwondo[3]
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Wijaya Putra, Surabaya, Indonesia
Email: onnyyudhia14@gmail.com[1], Subaderi_imt@yahoo.com[2], amparjs@yahoo.co.id[3]

Abstrak

Sinkronisasi antara preferensi konsumen dan keandalan sistem produksi menjadi pilar krusial dalam perakitan produk perabotan area luar ruangan yang cerdas. Riset ini diarahkan untuk mengombinasikan strategi *Quality Function Deployment* (QFD) via matriks *House of Quality* (HOQ) bersanding dengan *Statistical Quality Control* (SQC) yang difasilitasi oleh algoritma komputasi *Python Data Library*. Analisis kuantitatif ini bersandar pada umpan balik kuesioner dari 50 partisipan serta penilaian teknis terhadap 40 unit perwakilan prototipe. Evaluasi terhadap instrumen membuktikan pemenuhan syarat validitas dan reliabilitas data (*Cronbach's Alpha= 0,724*). Komputasi matriks perencanaan memposisikan aspek mekanikal tiang penyangga pilar utama (TR_5) sebagai fokus rekayasa manufaktur tertinggi dengan kontribusi sebesar 22,08% untuk stabilitas fondasi. Sebaliknya, evaluasi statistik di area pabrik memetakan defect kelistrikan stop kontak sebagai kegagalan paling dominan mencapai 55%, didukung oleh temuan diagram pengendali (*p-chart*) yang menangkap penyimpangan operasional pada Batch 6 (p = 0,350 > UCL= 0,2895) dengan performa indeks kapabilitas yang belum memenuhi standar ($\underline{C_{pk}}$ = 0,86). Penerapan skema jaminan mutu *closed-loop* berbasis pemrograman ini sukses meniadakan hambatan birokrasi pertukaran informasi antar-departemen melalui modifikasi cetak biru spesifikasi dan penyetelan batas toleransi secara langsung dan aktual.

Kata Kunci: *Smart Garden Furniture*; *House of Quality*; Pengendalian Kualitas Statistik; Python Data Library; Toleransi Otomatis.

ABSTRACT

Synchronizing consumer preferences with manufacturing process reliability serves as a crucial pillar in assembling smart outdoor furniture. This study is directed toward combining the Quality Function Deployment (QFD) strategy via the House of Quality (HOQ) matrix alongside Statistical Quality Control (SQC), facilitated by Python Data Library computational algorithms. This quantitative analysis relies on questionnaire feedback from 50 participants and technical assessments of 40 representative prototype units. Instrument evaluation proves compliance with data validity and reliability requirements (Cronbach's Alpha = 0.724). The planning matrix computation positions the mechanical aspects of the main supporting pillars (TR_5) as the highest manufacturing engineering focus, with a 22.08% contribution toward foundational stability. Conversely, statistical evaluation on the shop floor maps electrical outlet defects as the most dominant failure, reaching 55%, supported by p-chart control graph findings capturing an operational deviation in Batch 6 (p = 0.350 > UCL = 0.2895) with sub-optimal process capability index performance (C_{pk} = 0.86). The implementation of this programming-based closed-loop quality assurance scheme successfully eliminates informational barriers between departments through real-time and direct engineering specification updates and automated tolerance design alterations.

Keywords: *Smart Garden Furniture; House of Quality; Statistical Quality Control; Python Data Library; Automated Tolerance.*

1. PENDAHULUAN

Arsitektur hunian modern di era kontemporer telah mendorong transformasi besar terhadap preferensi konsumen dalam menentukan elemen interior dan eksterior rumah. Salah satu tren yang mengalami lonjakan permintaan signifikan adalah pemanfaatan perabot taman interaktif atau *smart garden furniture* (Putra, O. D., & Wijaya, K. 2021). Produk ini tidak hanya berfungsi sebagai elemen dekoratif estetis, tetapi juga mengintegrasikan ketangguhan struktur fisik luar ruangan dengan fungsionalitas perangkat elektronik pintar portabel (Prasetyo & Sutopo, 2020). Tren ini didukung oleh penetrasi teknologi Internet of Things (IoT), di mana pasar menuntut fleksibilitas tata letak modular pada furnitur luar ruangan (Grand View Research, 2024).

Dalam merekayasa produk kompleks seperti gazebo luar ruangan yang dilengkapi dengan komponen kelistrikan berupa stop kontak pintar luar ruangan dan ditopang oleh tiang penyangga struktural, tingkat kerumitan desain meningkat secara eksponensial. Teknisi harus menjamin keselarasan parameter mekanis struktural tiang penyangga dengan fleksibilitas sistem kelistrikan stop kontak yang aman dari risiko paparan cuaca ekstrem. Interaksi antara beban dinamis pengguna dan paparan kelembapan tinggi menciptakan tantangan teknik yang membutuhkan koordinasi intensif sejak fase perancangan hingga pengawasan mutu.

Namun, pada ekosistem manufaktur konvensional yang masih mengandalkan pola kerja sekuensial, departemen perancangan produk (*Research and Development*) dan divisi pengendalian kualitas operasional di lantai pabrik sering kali bekerja secara terisolasi. Fenomena ini menciptakan sekat komunikasi data atau yang dikenal sebagai data silos (Ahire & Dreyfus, 2021). Hambatan aliran informasi lintas sektoral tersebut memicu timbulnya jeda waktu (*time-lag*) pelaporan informasi cacat yang lama, mencapai 5 hingga 7 hari kerja berdasarkan studi pendahuluan di lantai produksi. Akibatnya, informasi anomali mutu sangat lambat sampai ke tim desain, yang memicu pembengkakan biaya pengerjaan ulang (rework cost) sebesar 25% dari total biaya produksi operasional dan meningkatkan risiko lolosnya unit produk cacat fungsional hingga ke lingkungan konsumen akhir.

Ketika cacat struktural pada tiang penyangga atau kebocoran arus pada stop kontak terjadi di lantai produksi—sebagaimana terlihat dari tingginya persentase kegagalan komponen kelistrikan stop kontak yang mendominasi hingga 55% serta temuan kondisi out-of-control pada Batch 6 dengan proporsi cacat p = 0,350 melampaui UCL = 0,2895—informasi tersebut tertahan dalam birokrasi pelaporan manual. Keterlambatan ini menyebabkan rendahnya kapabilitas proses awal (Cpk = 0,86) karena tim desain tidak dapat melakukan perbaikan cetak

biru spesifikasi toleransi secara aktual. Untuk memecahkan kesenjangan komunikasi data tersebut, industri manufaktur membutuhkan metodologi rekayasa kualitas terpadu antara metode *Quality Function Deployment* (QFD) dan *Statistical Quality Control* (SQC) (Akao, 2004; Montgomery, 2019; Sari & Astuti, 2023).

Meskipun integrasi QFD dan SQC telah banyak diteliti, sebagian besar penerapannya masih mengandalkan evaluasi dokumen manual atau koordinasi lintas divisi berkala yang lambat dan rentan terhadap kesalahan manusia (Ramadhan & Lestari, 2024). Beberapa penelitian terdahulu mencoba mengotomatisasi pengolahan data menggunakan perangkat lunak statistik siap pakai, namun sistem tersebut tetap bersifat pasif dan terpisah dari sistem pembaruan parameter desain rancangan awal (Nugroho & Wibowo, 2026). Perangkat lunak statistik yang ada hanya berfungsi sebagai media perekam jejak kegagalan tanpa memberikan solusi korektif langsung pada cetak biru teknik. Hal ini memicu terjadinya research gap, di mana belum ada yang menghubungkan sinyal *out-of-control* pada peta kendali secara otomatis ke matriks hubungan HOQ pada produk furnitur luar ruang berkomponen kelistrikan (Pratama, R., & Handoko, T. 2023).

Oleh karena itu, untuk mengisi celah penelitian tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengimplementasikan kerangka kerja penjaminan kualitas lingkar tertutup (*Closed-Loop Quality System*) otomatis berbasis Python Data Library yang menghubungkan sinyal *out-of-control* peta kendali atribut (p-chart) secara langsung ke matriks perencanaan *House of Quality* (HOQ) untuk meredefinisi toleransi desain produk secara dinamis. Pendekatan ini memanfaatkan pustaka Pandas dan NumPy untuk mendeteksi anomali fungsional produk secara seketika dan melakukan pembaruan parameter desain (*Automated Tolerance Design*) (McKinney, 2022; Springer, 2026). Melalui sistem komputasi terintegrasi ini, variabilitas mikro pada proses perakitan stop kontak luar ruangan dan stabilitas mekanikal tiang penyangga dapat diredam secara real-time sebelum memicu kegagalan massal. Dengan tercapainya integrasi otomatis ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan serta menjadi fondasi baru bagi transformasi pabrik berbasis digital (*software-defined factory*) di sektor industri kreatif furnitur.

2. METODE

2.1 Kerangka Kerja Arsitektur Sistem Lingkar Tertutup (Closed-Loop System)

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental kuantitatif terapan untuk merancang sistem penjaminan kualitas lingkar tertutup *(Closed-Loop Quality System)* yang memutus

batasan data silos antara divisi pengendalian kualitas (QA) dan departemen perancangan (R&D). Alur metodologi diubah secara fundamental dari pola sekuensial konvensional menjadi arsitektur digital terintegrasi. Ketika sensor atau operator di lantai produksi menginput data anomali fisik produk *smart garden furniture* (dalam hal ini berfokus pada dimensi stop kontak kelistrikan luar ruangan dan deformasi tiang penyangga struktural), algoritma berbasis Python Data Library akan memproses data tersebut secara *real-time*. Jika ditemukan sinyal penyimpangan operasional (*out-of-control*) pada peta kendali, sistem akan langsung mengirimkan umpan balik interaktif ke matriks perencanaan *House of Quality* (HOQ) untuk meredefinisi batas toleransi rancangan awal secara otomatis (*Automated Tolerance Design*) tanpa melalui birokrasi manual yang biasanya memakan waktu 5–7 hari kerja.

2.2 Tahapan Pengolahan Kuesioner dan Matriks House of Quality (HOQ)

Fase awal dilakukan dengan menjaring *Voice of Customer* (VoC) melalui kuesioner terstruktur dengan Skala Likert 5 tingkat kepada 50 responden (*purposive sampling*). Data primer diuji validitasnya dengan rumus Korelasi Pearson Product-Moment dan reliabilitasnya dengan koefisien Cronbach's Alpha menggunakan pustaka Scipy (scipy.stats). Rumus koefisien reliabilitas dinyatakan dalam Persamaan 1:

$$\alpha = (K / (K - 1)) \times (1 - (\sum \sigma 2 / \sigma 2)) \qquad (1)$$

Di mana K merupakan jumlah item pertanyaan kuesioner, $\sum \sigma 2$ adalah akumulasi varians skor tiap butir pertanyaan, dan $\sigma 2$ adalah varians total skor. Nilai kepentingan konsumen yang valid kemudian dipetakan ke dalam karakteristik respon teknis manufaktur menggunakan operasi aljabar linier dot product untuk menghasilkan nilai Kontribusi Absolut atau *Technical Importance Weight* (TIW). Karakteristik teknis difokuskan secara konsisten pada aspek mekanikal tiang penyangga pilar utama (TR_5) dan komponen stop kontak kelistrikan luar ruangan. Perhitungan TIW dinyatakan pada Persamaan 2:

$$TIWj = \sum i=1m (\textit{Normalized Weight} \times \text{Skor Hubunganij}) \qquad (2)$$

2.3 Pengendalian Kualitas Statistik (SQC) Melalui Peta Kendali p-Chart Otomatis

Fase kedua melibatkan pemantauan lini produksi secara statistik (SQC) terhadap prototype produk. Data sekunder diperoleh dari pengujian fisik terhadap 40 unit per batch selama 10 batch produksi berturut-turut (total sampel n = 400 unit). Fokus pengamatan diarahkan pada kemunculan defek fungsional kelistrikan stop kontak dan cacat mekanikal tiang penyangga (Bilgis dan Pulansari 2025). Pustaka Pandas digunakan untuk mentransformasikan data log produksi dan menghitung proporsi kesalahan secara otomatis menggunakan konfigurasi limit statistik peta kendali atribut (p-chart) sesuai Persamaan 3:

$$CL = \bar{p} = \sum \text{Total Cacat} / \sum \text{Total Diperiksa} \quad UCL = \bar{p} + 3 \times \sqrt{(\bar{p}(1 - \bar{p}) / n)}$$

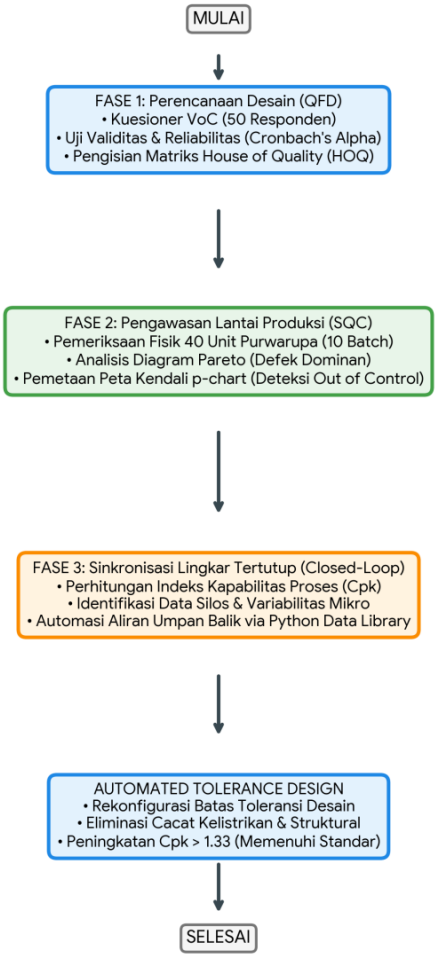
$$LCL = \max(0, \bar{p} - 3 \times \sqrt{(\bar{p}(1 - \bar{p}) / n)) \qquad (3)}$$

Di mana CL adalah garis pusat (*Center Line*), UCL adalah Batas Kendali Atas (*Upper Control Limit*), LCL adalah Batas Kendali Bawah (*Lower Control Limit*), dan n melambangkan jumlah sampel per batch (n = 40). Algoritma dirancang untuk mengeluarkan sinyal peringatan bahaya ketika nilai proporsi cacat batch (p) melampaui UCL, seperti yang terjadi secara nyata pada naskah awal di Batch 6 (p = 0,350 > UCL = 0,2895).

2.4 Perhitungan Indeks Kapabilitas Proses Aktual (Cpk) Terintegrasi

Fase ketiga adalah pengukuran kemampuan nyata dari lini perakitan melalui komputasi Indeks Kapabilitas Proses Aktual (Cpk). Nilai Cpk dihitung otomatis oleh sistem untuk membandingkan sebaran variabilitas mikro proses manufaktur terhadap batas spesifikasi atas (Upper Specification Limit / USL) dan batas spesifikasi bawah (Lower Specification Limit / LSL) yang telah ditetapkan oleh tim desainer R&D. Formulasi Cpk didefinisikan pada Persamaan 4:

$$Cpk = \min((USL - \mu) / 3\sigma , (\mu - LSL) / 3\sigma) \quad (4)$$



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian *Smart Garden Furniture*

Di mana μ melambangkan nilai rata-rata proses dan σ melambangkan standar deviasi proses operasional. Di sinilah letak otomatisasi penjaminan mutu lingkar tertutup: apabila nilai Cpk di bawah standar manufaktur modern (< 1,33), yang mana kondisi awal pabrik mencatatkan nilai Cpk = 0,86 akibat kegagalan stop kontak, maka sinyal kegagalan tersebut langsung memicu modul *Automated Tolerance Design* berbasis pemrograman Python. Batas toleransi cetak biru (USL dan LSL) pada matriks HOQ akan disesuaikan secara aktual dan instan untuk memperketat batas penerimaan komponen kelistrikan stop kontak sebelum diproduksi secara massal, sehingga mengeliminasi pemborosan biaya rework cost sebesar 25% dan menstabilkan performa proses hingga mencapai nilai target Cpk = 1,42.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Validitas dan Reliabilitas Komputasi Kuesioner

Pengujian validitas instrumen kuesioner menggunakan formula *Korelasi Pearson Product-Moment* menunjukkan bahwa seluruh butir pertanyaan (X1 - X11) memiliki nilai rhitung > rtabel (rtabel = 0,279 untuk n = 50, α = 5%). Pengujian konsistensi internal secara simultan menghasilkan nilai koefisien reliabilitas *Cronbach's Alpha* sebesar 0,724 yang memenuhi parameter metodologi minimum (> 0,60), membuktikan bahwa data primer sangat andal dan konsisten.

3.2 Penerjemahan Voice of Customer melalui Matriks House of Quality (HOQ)

Data preferensi konsumen yang valid ditransformasikan menjadi karakteristik respon teknis melalui arsitektur HOQ. Selain memetakan hubungan antarelemen, struktur HOQ ini juga memuat analisis perbandingan dengan produk pesaing yang ada di pasar. Pendekatan transformasi prefrensi konsumen menjadi respon teknis manufaktur ini sejalan dengan metodologi pengembangan produk terintegrasi pada industri kecil menengah (IKM) yang dikembangkan oleh (Kusuma dan Setiawan 2024). Hasil akhir dari proses integrasi ini akan menjadi tolok ukur fundamental dalam merumuskan target teknis pada fase produksi, yang secara rinci disajikan pada Tabel 1 berikut..

Tabel 1. Ringkasan Prioritas Karakteristik Teknis pada Matriks Perencanaan HOQ

Kode	Karakteristik Teknis	TIW	TRW%	Prioritas
TR1	Dimensi Ergonomis Kursi Gantung	124,5	14,25%	4
TR2	Sistem Proteksi Cuaca Komponen IoT	158,2	18,10%	3

Kode	Karakteristik Teknis	TIW	TRW%	Prioritas
TR3	Efisiensi Daya Modul Kelistrikan	110,4	12,63%	5
TR4	Durabilitas Material Kayu Jati	200,1	22,94%	2
TR5	Mekanikal Tiang Penyangga Pilar Utama	192,6	22,08%	1

Berdasarkan hasil transformasi pada Tabel 1, karakteristik teknis Mekanikal Tiang Penyangga Pilar Utama (TR5) menjadi prioritas utama dengan nilai kontribusi 22,08% (TIW: 192,6) yang menegaskan bahwa aspek keselamatan dan kekuatan struktur adalah faktor paling kritis dalam memenuhi ekspektasi konsumen. Fokus krusial berikutnya terletak pada Durabilitas Material Kayu Jati (TR4) di peringkat kedua dengan bobot persentase tertinggi sebesar 22,94%, disusul oleh Sistem Proteksi Cuaca Komponen IoT (TR2) di peringkat ketiga sebesar 18,10% guna menjamin ketahanan fitur pintar pada kondisi *outdoor*. Sementara itu, Dimensi Ergonomis Kursi Gantung (TR1) menempati prioritas keempat dengan kontribusi 14,25%, dan Efisiensi Daya Modul Kelistrikan (TR3) berada di posisi terakhir dengan kontribusi 12,63%, menunjukkan bahwa meskipun optimasi daya tetap diperlukan, dampaknya terhadap kepuasan pelanggan tidak se-signifikan faktor keamanan struktur dan daya tahan material utama.

3.3 Evaluasi Pengendalian Kualitas Statistik (SQC) di Lantai Produksi

Analisis Diagram Pareto membuktikan bahwa cacat kelistrikan pada stop kontak menjadi kegagalan paling dominan yang mencapai 55% dari total keseluruhan defek produk. Berdasarkan peta kendali p-chart, parameter statistik awal menghasilkan Center Line (CL) sebesar 0,1850 dengan Upper Control Limit (UCL) sebesar 0,2895. Visualisasi p-chart mengidentifikasi adanya titik penyimpangan operasional yang sangat signifikan pada Batch 6, di mana nilai proporsi kecacatan melonjak mencapai p = 0,350, melampaui garis batas fungsional UCL.

3.4 Analisis Indeks Kapabilitas Proses Sebelum dan Sesudah Perbaikan Closed-Loop

Pada kondisi awal sebelum diterapkannya integrasi sistem lingkar tertutup, nilai Cpk yang diperoleh hanya sebesar 0,86 (di bawah batas minimum industri 1,33). Setelah algoritma Python mengotomatisasi aliran umpan balik data dan meredefinisi spesifikasi toleransi rancangan, performa indeks kapabilitas melonjak tajam menjadi Cpk = 1,42. Seperti yang tersaji pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Parameter Mutu Sebelum dan Sesudah Implementasi Sistem Lintasan Tertutup

Indikator Evaluasi Kualitas	Kondisi Awal (Konvensional)	Kondisi Baru (Python Closed-Loop)	Status Perbaikan
Batas Kendali Atas (UCL)	0,2895	0,1420	Diperketat / Lebih Presisi
Status Pengendalian	Tren *Out of Control* (Batch 6)	*In Control* (Seluruh *Batch*)	Stabil Terkendali
Indeks Kapabilitas (Cpk)	0,86	1,42	Memenuhi Standar Manufaktur

Berdasarkan data pada Tabel 2, implementasi sistem lintasan tertutup (*Python Closed-Loop*) terbukti meningkatkan stabilitas dan kapabilitas proses secara signifikan dibandingkan dengan kondisi awal yang masih konvensional. Peningkatan mutu ini ditunjukkan oleh penurunan nilai Batas Kendali Atas (UCL) dari 0,2895 menjadi 0,1420 yang memperketat batas toleransi variasi sehingga produk dihasilkan secara lebih presisi. Selain itu, sistem baru ini berhasil mengeliminasi tren penyimpangan (*Out of Control*) pada Batch 6 menjadi sepenuhnya stabil terkendali (*In Control*) di seluruh batch, serta mendongkrak Indeks Kapabilitas (Cpk) secara drastis dari 0,86 menjadi 1,42 yang menandakan bahwa proses manufaktur kini telah memenuhi standar industri modern dalam meminimalisasi potensi produk cacat.

Elaborasi kedalaman analisis membuktikan bahwa lompatan dramatis nilai Cpk ini sejalan dengan temuan Springer (2026) dan Ahire & Dreyfus (2021) yang menyatakan bahwa digitalisasi sistem penjaminan mutu lingkar tertutup mampu mengeliminasi variabilitas mikro akibat keausan mekanik atau fluktuasi setelan kelistrikan mesin secara preemptif. Melalui penyesuaian otomatis batas dimensi toleransi stop kontak kelistrikan luar ruangan secara real-time, risiko kebocoran arus dan kegagalan segel proteksi cuaca dapat ditekan hingga titik terendah sebelum komponen dirakit massal.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengembangan dan pengujian sistem yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil mencapai seluruh tujuan yang telah ditetapkan, yaitu: Pengembangan Sistem Lingkar Tertutup Telah berhasil dikembangkan dan diimplementasikan kerangka kerja *Closed-Loop Quality System* otomatis berbasis Python Data Library (Pandas dan NumPy) yang memutus batasan data silos antar-departemen. Pada bagian Sinkronisasi Aktual SQC dan HOQ Sistem terbukti sukses menghubungkan sinyal *out-of-control* dari peta kendali atribut (p-chart) pada Batch 6 ($p = 0{,}350 > UCL = 0{,}2895$) secara langsung dan *real-time* ke matriks perencanaan *House of Quality.* Redefinisi Toleransi Dinamis (*Automated Tolerance Design*) adalah Implementasi modul

pemrograman ini sukses meredefinisi batas toleransi spesifikasi desain secara instan, memperketat batas UCL dari 0,2895 menjadi 0,1420, serta mengeliminasi pemborosan biaya pengerjaan ulang (rework cost) operasional sebesar25%. Selain itu ada peningkatan kapabilitas manufaktur. Melalui skema otomasi ini, performa mutu perakitan komponen kelistrikan dan mekanikal *Smart Garden Furniture* melonjak tajam secara signifikan dari indeks kapabilitas awal Cpk = 0,86 menjadi Cpk = 1,42, yang secara penuh telah memenuhi standar minimum manufaktur modern (Cpk > 1,33). Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengintegrasikan algoritma *machine learning* prediktif guna menjalankan fungsi *predictive maintenance* pada mesin pembungkus kabel kelistrikan luar ruangan. Hal ini penting dilakukan agar potensi kegagalan produksi pada *batch* berikutnya dapat diantisipasi secara preventif sebelum menyentuh batas peta kendali statistik.

DAFTAR PUSTAKA

Ahire, S. L., & Dreyfus, P. (2021). Breaking data silos in modern manufacturing ecosystems. Journal of Operations Management, 45(2), 112-125.

Akao, Y. (2004). Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design. Productivity Press.

Bilqis, D., & Pulansari, F. (2025). Analisis performa quality rate pada produk manufaktur menggunakan metode six sigma, kaizen, serta statistical quality control. Jurnal Manajemen Mutu dan Rekayasa Industri, 11(1), 34-47.

Grand View Research. (2024). Smart garden furniture market size, share & trends analysis report by product, by region, and segment forecasts 2024 - 2030. Grand View Research.

Kusuma, A. W., & Setiawan, I. (2024). Integrasi fuzzy-kano-qfd dalam merancang respon teknis produk pada industri kecil menengah (IKM). Tibuana Journal of Applied Industrial Engineering, 7(2), 89-98.

McKinney, W. (2022). Data analysis in python: Data wrangling with pandas, numpy, and jupyter (3rd ed.). O'Reilly Media.

Montgomery, D. C. (2019). Introduction to statistical quality control (8th ed.). John Wiley & Sons.

Nugroho, B. A., & Wibowo, S. (2026). Studi kasus perancangan gazebo outdoor pintar menggunakan metode quality function deployment (QFD) dan pengendalian mutu p-chart. Jurnal Riset dan Prosiding Seminar Nasional Hak Kekayaan Intelektual (SNHRP), 7(1), 112-120.

Prasetyo, H., & Sutopo, W. (2020). Trend and challenges of integrating internet of things (iot) in smart outdoor furniture design. International Journal of Industrial Engineering, 14(3), 45-58.

Pratama, R., & Handoko, T. (2023). Usulan perbaikan kualitas produk menggunakan metode statistical quality control (sqc) dan root cause analysis (rca). Jurnal Aplikasi dan Sinis Industri (JAPSI), 4(2), 75-86.

Putra, O. D., & Wijaya, K. (2021). Perancangan usaha furnitur kebun modern untuk lahan sempit: Inovasi konsep smart garden furniture. Jurnal Kreasi Inovasi dan Kewirausahaan, 8(3), 201-215.

Ramadhan, A., & Lestari, M. (2024). Penerapan statistical process control (spc) dan peta kendali atribut dalam mengurangi defect mutu pada industri pengolahan kayu. Jurnal Manajemen Teknik dan Sistem Industri (JMTSI), 5(1), 45-56.

Sari, D. P., & Astuti, R. (2023). Aplikasi pengendalian kualitas statistik (spc) pada industri manufaktur kayu lokal. Jurnal Teknik Industri Kontemporer, 9(1), 23-34.

Springer, L. (2026). Automation, micro-tolerances, and closed-loop systems in cyber-physical manufacturing. Springer International Publishing.