



# Analisis Penyebab Cacat *Porosity* Pada Komponen Kampas Rem 20207-00SM Menggunakan Metode Seven Tools

Muhammad Firmansyah Anhar<sup>1</sup>, Vika Rizkia<sup>1\*</sup>, Bayun Matsaany<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

<sup>2</sup>Program Studi S1 Tr. Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

\*Corresponding author E-mail address: vika.rizkia@mesin.pnj.ac.id

## Abstrak

PT XYZ menghadapi persoalan cacat *porosity* pada komponen kampas rem 20207-00SM yang tercatat sebanyak 171 unit dari total 4.942.505 unit produksi selama Februari–Maret 2026, dengan tren kenaikan sebesar 85% antarbulan dan satu titik di luar batas kendali pada peta kendali p. Penelitian ini bertujuan menelusuri akar penyebab cacat tersebut menggunakan pendekatan Seven QC Tools. Pengolahan data check sheet, histogram, dan peta kendali menunjukkan bahwa proses secara umum berjalan stabil namun mengalami gangguan oleh sebab khusus pada hari-hari tertentu. Diagram Pareto mengerucutkan fokus perbaikan pada lima mesin hot press (nomor 23, 19, 27, 37, dan 20) yang bersama-sama menyumbang 75,0% dari keseluruhan cacat. Penelusuran lebih lanjut dengan Fishbone Diagram mengarah pada faktor Manusia dan Metode sebagai akar penyebab dominan, khususnya inkonsistensi volume penyemprotan cairan pembersih (protesin) akibat SOP yang tidak memuat parameter kuantitatif. Diagram Pencar (Scatter) mengonfirmasi tidak adanya korelasi yang kuat antara volume produksi harian dan jumlah cacat, sehingga memperkuat dugaan bahwa penyebab utama bersifat prosedural, bukan kapasitas mesin. Sebagai tindak lanjut, diusulkan rancangan sistem Poka-Yoke berbasis flow meter dengan interlock elektrikal yang mencegah mesin hot press dioperasikan sebelum volume semprotan protesin memenuhi standar minimum.

Kata-kata kunci: cacat *porosity*, kampas rem, seven QC tools, pengendalian kualitas, hot press

## Abstract

PT XYZ encountered a recurring *porosity* defect on its 20207-00SM brake pad component, with 171 defective units recorded out of 4.942.505 units produced between February and March 2026, an 85% month-on-month increase, and one out-of-control point on the p-chart. This study traces the root causes of the defect using the Seven QC Tools approach. Check sheet, histogram, and control chart analysis indicate that the process is generally stable but is disrupted by assignable causes on specific days. The Pareto diagram narrows the improvement focus to five hot press machines (numbers 23, 19, 27, 37, and 20), which jointly account for 75.0% of all defects. Further investigation using a Fishbone diagram points to Man and Method as the dominant root causes, particularly the inconsistent spray volume of cairan pembersih caused by an SOP lacking quantitative parameters. The scatter diagram confirms the absence of a strong correlation between daily production volume and defect count, reinforcing the conclusion that the dominant cause is procedural rather than capacity-related. As a corrective measure, a flow-meter-based Poka-Yoke system with an electrical interlock is proposed to prevent the hot press machine from operating until the sprayed release-agent volume meets the minimum standard.

Keywords: *porosity* defect, brake pad, seven QC tools, quality control, hot press

## 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri otomotif yang pesat menuntut setiap komponen kendaraan, terutama yang berkaitan langsung dengan keselamatan, diproduksi dengan standar kualitas yang konsisten [1]. Kampas rem merupakan salah satu komponen vital dalam sistem pengereman karena berfungsi mencengkeram piringan cakram untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan [2]. Sifat fisik dan mekanis material kampas rem, terutama densitas, kekerasan, dan porositas, sangat memengaruhi ketahanannya terhadap beban termal dan tegangan mekanis yang berulang selama siklus pengereman [3]. Cacat *porosity*, yaitu terbentuknya pori atau rongga udara di dalam struktur *friction compound* akibat proses *hot pressing* yang tidak sempurna, dapat menurunkan kinerja gesekan kampas rem sekaligus mempercepat kerusakan material, sehingga tidak dapat dipandang sebagai cacat kosmetik semata melainkan cacat fungsional yang berhubungan langsung dengan keselamatan pengguna kendaraan. Secara proses manufaktur, kampas rem komposit umumnya dibuat melalui tiga tahapan utama, yaitu pencampuran bahan (*mixing*), pembentukan awal (*pre-forming/cold press*), dan pencetakan panas (*hot pressing*). Porositas pada umumnya muncul akibat pelepasan gas (*outgassing*) yang terperangkap di dalam struktur material selama reaksi pengikatan resin (*curing*) berlangsung; apabila gas tersebut tidak dapat keluar secara sempurna melalui siklus *breathing* yang tepat pada tahap *hot press*, maka akan terbentuk rongga udara yang menjadi cikal bakal cacat *porosity* [4].

PT XYZ, sebagai produsen komponen braking system untuk kendaraan roda dua dan roda empat, mencatat 171 unit kampas rem 20207-00SM berstatus *Not Good* (NG) akibat *porosity* selama Februari–Maret 2026, meningkat 85% dari 60 unit pada Februari menjadi 111 unit pada Maret. Pemetaan menggunakan peta kendali p (p-chart) menunjukkan satu titik di luar batas kendali, yang mengindikasikan bahwa proses produksi belum sepenuhnya stabil secara statistik. Penelusuran lebih lanjut terhadap mesin *hot press* asal lot NG mengungkap bahwa cacat tersebut tersebar pada 12 mesin berbeda dengan kontribusi yang bervariasi, sehingga pihak *Quality* kesulitan menentukan prioritas perbaikan hanya berdasarkan pengamatan visual atau pendekatan coba-coba.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, dibutuhkan metode analisis kualitas yang mampu memetakan data cacat secara terstruktur, mengukur kestabilan proses, mengidentifikasi sumber dominan cacat, serta menelusuri akar penyebabnya dari berbagai aspek secara sistematis. *Seven QC Tools* dipilih karena ketujuh alat tersebut mampu menyelesaikan hingga 95% permasalahan kualitas yang umum dijumpai pada industri manufaktur [5], sehingga sesuai digunakan untuk mengurai persoalan cacat *porosity* yang bersifat multi-faktor dan tersebar pada banyak mesin. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi akar penyebab cacat *porosity* pada kampas rem 20207-00SM dan (2) mengetahui tren serta proporsi cacat tersebut menggunakan *check sheet* dan *control chart*, sebagai dasar perumusan usulan perbaikan yang dapat diterapkan pada lini produksi.

## 2. METODE PENELITIAN

### Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah komponen Kampas rem ber-part number 20207-00SM di PT XYZ pada periode Februari – Maret 2026. Komponen ini dipilih menjadi objek penelitian karena naiknya defect porositas yang terjadi di PT XYZ. Defect *porosity* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Cacat *Porosity* pada kampas



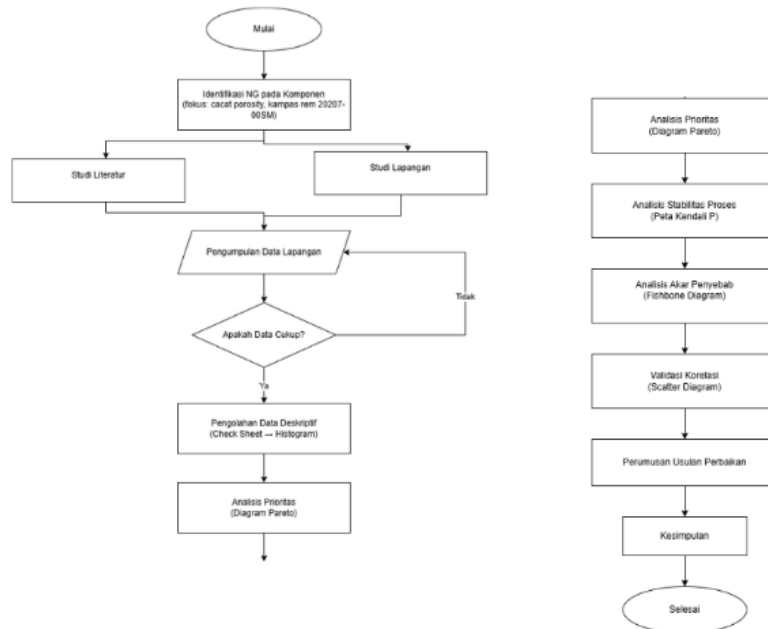
## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

## Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Seven QC Tools* untuk mengidentifikasi penyebab defect *Porosity*. Penelitian dimulai dengan identifikasi jenis NG yang difokuskan pada cacat *porosity* karena frekuensi kemunculannya yang tinggi; studi literatur melalui jurnal ilmiah nasional dan internasional terbitan 2020 ke atas; serta pengumpulan data selama tiga bulan yang meliputi data produksi harian, data NG harian, buku control lot, dan buku kontrol mesin. Data yang terkumpul kemudian diolah menggunakan ketujuh alat *Seven QC Tools* secara berurutan dan saling melengkapi. diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2. Diagram alir

## Check Sheet → Histogram

Data cacat harian yang telah terkumpul dicatat secara sistematis menggunakan check sheet, lalu divisualisasikan dalam histogram untuk melihat pola distribusi cacat *porosity* — apakah tersebar merata atau terkonsentrasi pada periode tertentu.

## Diagram Pareto

Data cacat dikelompokkan berdasarkan mesin hot press asal, kemudian diurutkan dari kontribusi tertinggi ke terendah menggunakan prinsip 80/20. Tahap ini menentukan mesin mana yang menjadi prioritas utama untuk ditelusuri lebih lanjut.

## Control Chart P

Proporsi cacat harian dipetakan terhadap batas kendali atas dan bawah (UCL/LCL) untuk menguji apakah proses produksi berjalan stabil secara statistik. Titik yang berada di luar batas kendali (*out of control*) mengindikasikan adanya penyebab khusus yang perlu diselidiki, bukan sekadar variasi acak proses.

## Fishbone Diagram

Temuan dari tahap sebelumnya (mesin prioritas & titik OOC) ditelusuri lebih dalam menggunakan diagram sebab-akibat, dengan mengelompokkan potensi penyebab ke dalam kategori Man, Machine, Method, Material, Measurement, dan Environment.

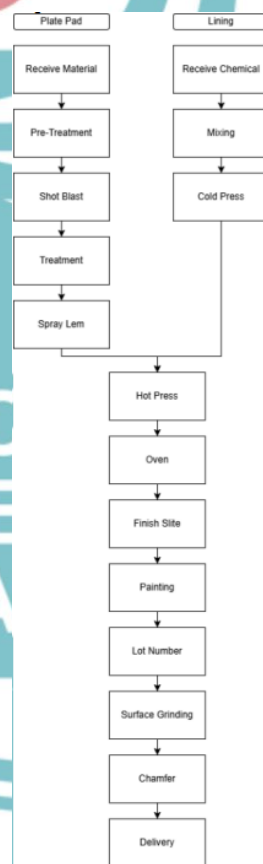
### Scatter Diagram

Akar penyebab yang teridentifikasi divalidasi secara kuantitatif dengan menguji hubungan antar variabel — misalnya volume produksi terhadap jumlah NG — untuk memastikan bahwa faktor yang dianggap dominan benar-benar berkorelasi dengan munculnya cacat, bukan sekadar asumsi kualitatif..

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Flow Proses dan Check Sheet

Proses produksi kampas rem 20207-00SM terdiri dari dua alur yang terintegrasi pada tahap hot press: alur backing plate (penerimaan material, pre-treatment, shot blast, treatment, dan spray lem) dan alur lining (penerimaan bahan kimia, mixing, dan cold press). Pada tahap hot press, yang melibatkan kombinasi panas 150–180°C dan tekanan 20–50 MPa, struktur final kampas rem terbentuk, dan kualitas hasilnya sangat dipengaruhi oleh kebersihan mold serta kondisi lapisan cairan pembersih (protesin) yang disemprotkan ke cavity mold sebelum proses berlangsung [6].



Gambar 3. Flow Proses Produksi Kampas Rem 20207-00SM

Hasil rekapitulasi check sheet menunjukkan total produksi sebesar 4.942.505 unit selama 44 hari produksi aktif pada Februari–Maret 2026, dengan total NG porosity sebanyak 171 unit (rata-rata proporsi 0,00346%). Jumlah NG meningkat dari 60 unit pada Februari menjadi 111 unit pada Maret, atau naik 85%.

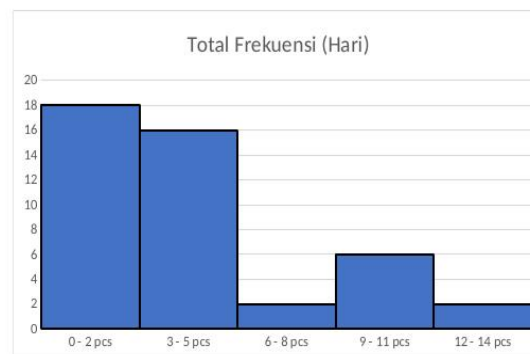
Tabel 1. Rekapitulasi NG Porosity per Minggu

| Bulan | Minggu | Total Produksi | Total NG | % NG |
|-------|--------|----------------|----------|------|
|-------|--------|----------------|----------|------|

|          |    |           |     |         |
|----------|----|-----------|-----|---------|
| Februari | W1 | 543165    | 15  | 0,00276 |
|          | W2 | 506491    | 6   | 0,00118 |
|          | W3 | 491322    | 14  | 0,00285 |
|          | W4 | 374668    | 25  | 0,00667 |
| Maret    | W1 | 1.003.525 | 29  | 0,00289 |
|          | W2 | 918205    | 37  | 0,00403 |
|          | W3 | 0         | 0   |         |
|          | W4 | 1105129   | 45  | 0,00407 |
| Total    |    | 4942505   | 171 | 0,00346 |

### Histogram Distribusi NG Harian

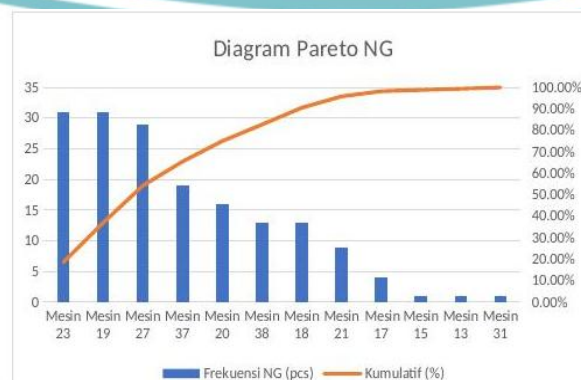
Distribusi frekuensi NG harian tidak membentuk kurva normal, melainkan miring ke kanan (positively skewed), dengan modus pada interval 0–2 unit per hari yang terjadi pada 18 dari 44 hari produksi aktif. Kondisi ini menunjukkan bahwa secara *baseline* proses berjalan stabil dengan tingkat cacat minimal. Namun demikian, terdapat 8 hari dengan lonjakan NG hingga 9–14 unit per hari, dan 7 dari 8 kejadian tersebut terjadi pada bulan Maret, mengindikasikan adanya sebab khusus (assignable cause) yang berulang pada periode tersebut.



Gambar 4. Histogram Distribusi Frekuensi NG Porosity Harian

### Diagram Pareto

Dari 168 unit NG yang berhasil ditelusuri asal mesinnya melalui dekode nomor lot, Mesin 23 dan Mesin 19 masing-masing menyumbang 31 unit NG (18,5%). Apabila ditambahkan dengan Mesin 27, 37, dan 20, lima mesin tersebut secara kumulatif bertanggung jawab atas 75,0% dari total cacat, sehingga upaya perbaikan dapat difokuskan pada kelima mesin tersebut sesuai prinsip 80/20

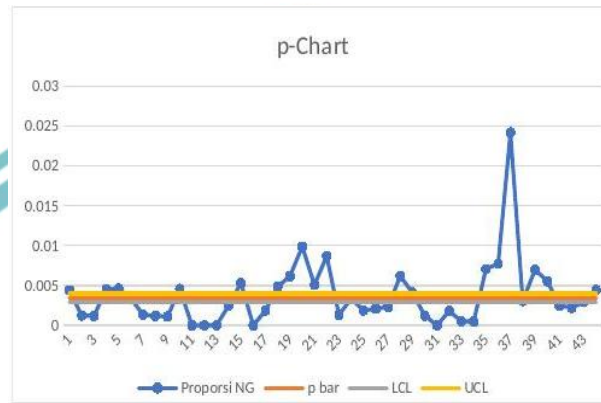


Gambar 5. Diagram Pareto NG Porosity Berdasarkan Nomor Mesin Hot Press



### Control Chart (p-Chart)

Pergerakan UCL pada peta kendali berfluktuasi mengikuti ukuran sampel produksi harian. Sebagian besar titik proporsi cacat berada di dalam rentang LCL–UCL, yang menunjukkan variasi proses didominasi penyebab acak. Akan tetapi, ditemukan satu titik di luar kendali pada 13 Maret 2026, di mana proporsi cacat melonjak hingga 0,0242, jauh melampaui UCL pada hari tersebut. Anomali ini terjadi bersamaan dengan penurunan volume produksi yang drastis (37.128 unit), sehingga mengindikasikan adanya gangguan proses non-rutin yang perlu ditelusuri lebih lanjut [7].



Gambar 6. Peta Kendali p (p-Chart) Periode Februari–Maret 2026

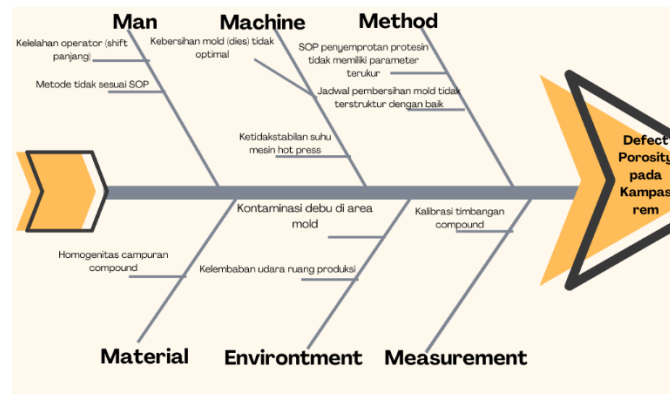
### Fishbone Diagram

Analisis 5M1E menunjukkan bahwa faktor Manusia dan Metode merupakan kontributor paling dominan terhadap cacat porositi. Observasi lapangan mengungkap bahwa hampir seluruh operator tidak melaksanakan penyemprotan cairan protesin sesuai SOP: jarak nozzle bervariasi antara 5–20 cm, durasi penyemprotan 1–3 detik, dan pola gerakan nozzle berbeda-beda antaroperator. Ketiadaan alat ukur yang memberikan umpan balik volume semprot membuat operator hanya mengandalkan perkiraan visual yang tidak konsisten, terutama pada shift malam ketika tingkat kewaspadaan menurun akibat kelelahan kerja.

Secara ilmiah, pembentukan cacat porositi sangat erat kaitannya dengan dinamika pelepasan gas (di dalam cetakan selama proses *hot pressing*). Pada tahap pencetakan panas, material kampas rem komposit yang menggunakan matriks resin fenolik (*phenolic resin*) akan mengalami reaksi pengikatan silang yang secara alami menghasilkan uap. Oleh karena itu, siklus operasi mesin *hot press* selalu membutuhkan interval pelepasan tekanan sesaat secara berkala untuk mengevakuasi gas-gas tersebut dari dalam *mold* [8], [9].

Ketika cairan *release agent* disemprotkan dengan volume yang berlebihan atau tidak konsisten, penumpukan cairan tersebut akan langsung terekspos pada suhu *hot press* yang ekstrem (150–180°C) dan mengalami volatilisasi (penguapan drastis) secara seketika. Penguapan ekstra ini menciptakan lonjakan volume gas yang sangat besar di dalam *cavity mold*. Karena interval waktu pelepasan gas pada mesin *hot press* hanya disetel untuk mengakomodasi gas dari reaksi resin [9], uap dari cairan protesin yang berlebih tersebut gagal dievakuasi seluruhnya [8]. Terlebih lagi, cetakan berada di bawah tekanan kompresi penempaan yang sangat tinggi, berkisar antara 20–50 MPa. Akibatnya, uap tersebut terperangkap dan terkurung di dalam matriks paduan material kampas rem yang sedang mengeras. Gas yang terjebak ini akan mendesak struktur internal material komposit, dan pada akhirnya meninggalkan rongga-rongga udara permanen yang terdeteksi sebagai cacat *porosity*.

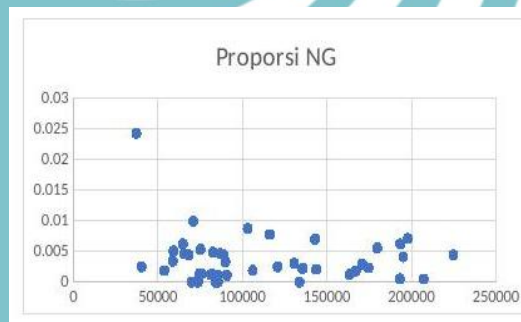
Pada faktor Metode, ditemukan bahwa SOP penyemprotan protesin hanya memuat instruksi deskriptif tanpa parameter kuantitatif yang dapat diverifikasi, seperti volume minimum, durasi, atau jarak nozzle yang terukur. Faktor Mesin turut berkontribusi melalui fluktuasi suhu *hot press* sebesar  $\pm 5$ – $15^\circ\text{C}$  dari setpoint pada mesin berusia lebih dari lima tahun serta kebersihan *mold* yang tidak konsisten, sebagaimana terkonfirmasi pada kondisi Mesin 23 dan 19 yang memiliki riwayat pembersihan tidak teratur. Faktor Material, Environment, dan Measurement turut teridentifikasi namun dengan tingkat dampak yang lebih rendah dibandingkan Manusia dan Metode.



Gambar 7. Fishbone Diagram Penyebab Cacat Porosity (Kerangka 5M1E)

### Scatter Diagram

Scatter diagram antara volume produksi harian dan proporsi cacat menunjukkan sebaran titik yang acak dan mendatar tanpa pola tren linier yang jelas, sehingga tidak ditemukan korelasi yang signifikan antara keduanya [5]. Temuan ini turut memvalidasi anomali pada control chart, yaitu titik 13 Maret yang justru terjadi pada volume produksi rendah (sekitar 37.000 unit) namun proporsi cacatnya tinggi, mengindikasikan bahwa cacat porositi lebih dipengaruhi oleh kedisiplinan metode kerja daripada beban kapasitas produksi.



Gambar 8. Scatter Diagram Volume Produksi vs Proporsi NG Porosity

### Usulan Perbaikan: Sistem Poka-Yoke dan Interlock Penyemprotan Protesin

Berdasarkan sintesis ketujuh alat Seven QC Tools, akar penyebab dominan cacat porositi bermuara pada inkonsistensi volume penyemprotan cairan pembersih yang tidak dapat dikontrol secara efektif hanya melalui inspeksi visual atau himbauan kepatuhan SOP. Mengingat keterbatasan pengawasan manual yang berkelanjutan pada operasi produksi 24 jam, diperlukan solusi teknis preventif yang mengikat pada sistem kerja, sejalan dengan prinsip bahwa integrasi poka-yoke ke dalam aktivitas persiapan mesin penting untuk meminimalkan risiko kesalahan pada tahap awal proses[10].

Sistem yang diusulkan terdiri dari dua subsistem terintegrasi. Subsistem pertama adalah pengukur volume semprot berbasis flow meter inline yang dipasang pada jalur cairan protesin untuk memberikan umpan balik volume secara real-time. Subsistem kedua adalah interlock elektrik berbasis PLC yang membandingkan sinyal flow meter dengan setpoint volume minimum dan mengendalikan sirkuit tombol START mesin hot press. Sistem bersifat fail-safe: selama volume semprot belum memenuhi standar minimum, relay interlock mengunci sirkuit START pada posisi terbuka sehingga mesin tidak dapat dioperasikan.

Sebagai pelengkap, sistem dilengkapi indikator visual berupa lampu pilot tiga warna (merah, kuning, hijau) dan buzzer akustik untuk memberikan umpan balik status penyemprotan kepada operator secara langsung, sehingga potensi kelulusan produk akibat kelalaian pengaturan awal dapat ditekan dari sumbernya [12].





#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Politeknik Negeri Jakarta

## 4. KESIMPULAN

Total cacat porosity pada kampas rem 20207-00SM selama Februari–Maret 2026 tercatat 171 unit dari 4.942.505 unit produksi (0,00346%). Meskipun secara persentase kecil, pemetaan menggunakan p-chart dan histogram menunjukkan adanya ketidakstabilan proses akibat lonjakan cacat pada hari-hari tertentu yang mengindikasikan keberadaan sebab khusus. Diagram Pareto mengonfirmasi bahwa lima mesin hot press (23, 19, 27, 37, dan 20) menyumbang 75,0% dari total cacat, sementara Fishbone Diagram dan Scatter Diagram secara konsisten mengarah pada faktor Manusia dan Metode—khususnya inkonsistensi volume penyemprotan cairan pembersih akibat SOP tanpa parameter kuantitatif—sebagai akar penyebab dominan, bukan beban kapasitas produksi. Usulan perbaikan berupa sistem Poka-Yoke berbasis flow meter dengan interlock elektrik diharapkan dapat menghilangkan variabilitas akibat faktor manusia pada tahap persiapan hot press secara langsung dari sumbernya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta serta pihak PT XYZ atas izin dan dukungan data yang diberikan selama penelitian ini berlangsung.

## REFERENSI

- [1] S. B. Maharani and R. P. Sari, "Penerapan statistical quality control seven tools pada cacat evaporator AC non-inverter di PT XYZ Application of statistical quality control seven tools on non-inverter AC evaporator defects at PT XYZ," vol. 7, pp. 476–489, Apr. 2026, doi: 10.37373/jenius.v7i2.2288.
- [2] M. Ünalı and A. Uyaroglu, "A Systematic Review of Brake Pad," *International Journal of Automotive Science and Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 404–418, 2024, doi: 10.30939/ijastech..1528450.
- [3] P. Nawangsari, D. Masnur, H. Herisiswanto, and I. J. Noturas, "Optimasi Parameter Pembuatan Sampel Kampas Rem Non-asbestos Organic (NAO) terhadap Kekerasan dan Porositas Menggunakan Metode Taguchi," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 18, no. 2, p. 183, 2023, doi: 10.32497/jrm.v18i2.4112.
- [4] F. Yusubov, "Optimum design of brake friction composites," Aug. 2021.
- [5] V. M. Magar and V. B. Shinde, "Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes," *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 2, no. 4, Jul. 2014, [Online]. Available: [www.ijergs.org](http://www.ijergs.org)
- [6] Marno, Simon P, and Wulandari, "Pembuatan Dan Pengujian Papan Partikel Komposit Berbahan Baku Sekam Padi Dengan Menggunakan Proses Hot Press," *Sigmat – Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. XX, no. X, pp. 10–11, 2021, [Online]. Available: [journal.unsika.ac.id/index.php/sigmat%0A](http://journal.unsika.ac.id/index.php/sigmat%0A)
- [7] D. C. Montgomery and J. Wiley, "Sixth Edition Introduction to Statistical Quality Control," Jun. 1985.
- [8] P. Nawangsari, Jamasri, and H. S. B. Rochardjo, "Effect of Phenolic Resin on Density, Porosity, Hardness, Thermal Stability, and Friction Performance as A Binder in Non-Asbestos Organic Brake Pad," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Sep. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/547/1/012012.
- [9] A. P. Irawan *et al.*, "Overview of the Important Factors Influencing the Performance of Eco-Friendly Brake Pads," Mar. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/polym14061180.
- [10] Y. U. Kasanah and P. P. Suryadhini, "Implementasi Sistem Single Minutes Exchange of Dies untuk Perbaikan Setup Time pada Perusahaan Otomotif," *Factory Jurnal Industri, Manajemen dan Rekayasa Sistem Industri*, vol. 4, no. 3, pp. 337–349, Feb. 2026, doi: 10.56211/factory.v4i3.1407.