

Metode *Product Flow Mapping Rules* untuk Pengontrolan Variabilitas Produk *Machining* pada Line Produksi Manufaktur

Yuliadi Erdani¹, Ivan Tovani²

^{1,2} Mechatronics Engineering Technology, Bandung Polytechnic of Manufacturing, Indonesia

e-mail: 223442906@mhs.polman-bandung.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini membahas metode mapping alur produksi produk untuk mengurangi tingkat variabilitas, memperkecil variasi yang muncul dari berbagai mesin produksi dalam menghasilkan ribuan produk, dan meningkatkan kualitas produk machining pada industri otomotif. Menggunakan teori probabilitas dan statistika untuk menghitung kemungkinan variasi yang muncul dari proses casting, machining, dan assembling, serta membuat aturan pengaliran produk berdasarkan cycle time, jig, dan pallet yang digunakan pada setiap mesin CNC.

Kata Kunci: *Mapping, Variabilitas, Kualitas, Machining, Probabilitas.*

Abstract

The aim of this research is to discuss product production flow mapping methods to reduce the level of variability, minimize variations that arise from various production machines in producing thousands of products, and improve the quality of machining products in the automotive industry. Using probability theory and statistics to calculate possible variations that arise from the casting, machining and assembling processes, as well as creating product flow rules based on cycle time, jigs and pallets used on each CNC machine.

Keywords : *Mapping, Variability, Quality, Machining, Probability.*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia yang semakin maju secara tidak langsung memacu para pemilik perusahaan untuk terus berkembang. Setiap perusahaan berusaha untuk memenuhi permintaan konsumen agar tidak kehilangan konsumen utama. Proses produksi yang efektif dan efisien adalah sesuatu yang ingin dicapai setiap perusahaan manufaktur saat ini [7]. Pada dunia industri dan manufaktur kualitas produk adalah hal yang sangat penting sebagai jaminan kepuasan pelanggan dalam menggunakan, atau mengkonsumsi produk yang konsumen beli, 1% NG (Not Good) atau cacat produk bisa mempengaruhi pemikiran konsumen bahwa 99% produk lainnya pun NG. Terutama pada area industri otomotif yang harus memperhatikan penjaminan kualitas produk, karena kualitas produk yang dibuat akan mempengaruhi tingkat kenyamanan, kepuasan, juga faktor keselamatan menjadi hal yang sangat penting dalam menjamin merk sebuah produk dapat eksis dalam jangka panjang. Tidak mudah menjaga kualitas produk yang memiliki tingkat kapasitas produksi sangat tinggi seperti perusahaan PMA otomotif-otomotif besar di Indonesia, yang bisa menghasilkan 1 unit kendaraan dalam hitungan menit. Pertumbuhan produktivitas dikaitkan dengan intensitas kemajuan teknis, dan itu tergantung pada tingkat penerapan pencapaian ilmiah dalam produksi [8].

Pengontrolan kualitas akan mudah jika variabilitas yang muncul sedikit, semakin banyak variabilitas semakin sulit pengontrolan dilakukan, dikarenakan kebutuhan item control yang banyak akan membutuhkan item penjaminan kualitas proses yang banyak juga. Masalah

ini akan mengakibatkan munculnya cost yang meningkatkan biaya produksi yang semakin tinggi, sehingga persaingan daya jual akan semakin berat jika harga produk yang dijual semakin tinggi. Maka dari itu sebuah perusahaan harus bisa menurunkan tingkat variabilitas tanpa mengeluarkan biaya yang besar, agar unit cost sebuah produk bisa rendah dan tidak muncul banyak kemungkinan part NG yang muncul. Dibutuhkan metode mapping dalam alur produksi produk untuk mengurangi tingkat variabilitas, memperkecil variasi yang muncul dari berbagai mesin produksi dalam menghasilkan ribuan produk. Variabilitas dapat dilihat dan di mapping menggunakan data-data yang di kumpulkan lalu dianalisa menggunakan ilmu statistika salah satunya mengenai probabilitas. Teori Peluang (probabilitas) merupakan cabang ilmu matematika yang banyak diterapkan dalam kehidupan sehari-hari (Darwanto & Dinata, 2021).

Secara sadar maupun tidak sadar hampir seluruh sisi kehidupan manusia dipenuhi dengan teori peluang (Sirbiladze et al., 2022). Teori peluang berhubungan dengan ketidakpastian, sama halnya dengan hidup manusia yang selalu dipenuhi dengan ketidakpastian juga (Noeryanti, 2021; Rhomdani, 2022) [6]. Teori probabilitas dapat dikatakan merupakan salah satu ilmu untuk “mengukur” ketidakpastian hingga ke tingkat yang lebih manageable dan predictable. Teori probabilitas digunakan bukan hanya untuk hal-hal yang praktis, bahkan juga untuk hal-hal yang teoritis ketika model-model matematis tidak dapat lagi disusun secara komprehensif untuk memecahkan suatu masalah [1].

METODE

Berisi bagaimana data dikumpulkan, sumber data dan cara analisis data Metode penelitian diambil secara kualitatif, penelitian ini bersifat mendasar studi observasional, penelitian dilakukan secara langsung di lapangan, berdasarkan permasalahan yang muncul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Variabilitas

Dalam industri manufaktur, produktivitas merupakan faktor penting selain kualitas, efisiensi, dan keberlanjutan. Namun demikian, produktivitas tidak dapat ditingkatkan secara sembarangan karena getaran yang tidak diinginkan yang mungkin timbul selama proses pemotongan. Bentuk getaran yang paling kritis disebut chatter, yang dapat menyebabkan keausan pahat yang ekstensif, kualitas permukaan yang tidak dapat diterima, atau bahkan kemungkinan kerusakan pada komponen alat mesin. Selama enam dekade terakhir, sejumlah besar penelitian telah dilakukan untuk mempelajari chatter dan produktivitas, namun prediksi dan penghindaran getaran ini masih menjadi area penelitian yang masih terbuka. Oleh karena itu, merupakan tugas penting bagi para insinyur mesin untuk memprediksi perilaku dinamis dari proses pemesinan untuk mencapai pemindahan material yang tinggi sehingga meningkatkan laju produksi di bidang manufaktur sekaligus menghindari chatter [9].

Sehingga setiap proses manufaktur yang memiliki akan selalu memiliki variabilitas proses cenderung menghasilkan output yang bervariasi dari satu produk ke produk lainnya. Variabilitas ini dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk perbedaan dalam bahan baku, perbedaan kondisi operasional, atau faktor-faktor lain yang dapat memengaruhi hasil produksi. Dalam konteks pengujian, kesalahan pengukuran dapat didefinisikan sebagai variasi dalam skor yang dihasilkan dari faktor yang terkait dengan proses pengukuran yang tidak berhubungan dengan apa yang diukur [3]. Variabilitas dalam proses manufaktur dapat memiliki dampak negatif pada kualitas produk, efisiensi produksi, dan biaya. Tahapan produksi pada industri otomotif pada dasarnya memiliki 3 proses utama, dimulai proses casting, machining, hingga proses assembling, sebelum dikirim ke area dealer dan didistribusikan ke konsumen. Namun, secara umum, proses machining (pengukuran) cenderung memiliki variabilitas lebih banyak dibandingkan dengan proses casting (pengecoran) dan assembling (perakitan), dikarenakan tidak banyak varian prosesnya.

Proses machining CNC (Computer Numerical Control) adalah metode manufaktur yang menggunakan kontrol komputer untuk mengontrol pergerakan dan operasi mesin perkakas

secara otomatis. Dalam proses ini, program perintah numerik (G-code) digunakan untuk mengontrol gerakan dan tindakan mesin, seperti pemotongan, pembentukan, atau pembuatan suatu produk. Tentu saja, dalam proses pemesinan CNC, saat memotong atau membelah benda kerja, nilai produk atau benda kerja harus diperhatikan. Diantaranya dengan memperhatikan nilai kebersihan dan kekasaran permukaan benda kerja itu [10].

No	Mfg	Tools	Process	Line	Jig	Pallet
1	Casting	Machine	1	X	X	X
2	Machining	Machine	>1	>1	>1	>1
3	Assembling	Man	>1	1	1	X

Gambar (1) Tabel Variasi Proses

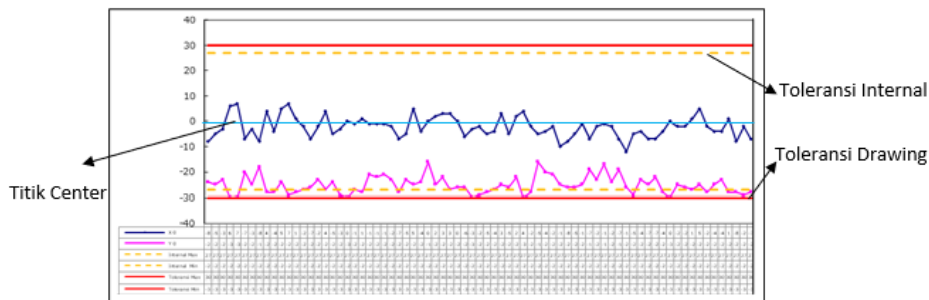
1. Proses casting adalah metode manufaktur untuk membuat produk dengan menuangkan material cair ke dalam cetakan yang memiliki bentuk yang diinginkan.
 - a. Proses pencetakan hanya dilakukan dalam 1 mesin.
 - b. Proses utama hanya dilakukan 1 kali sampai menjadi sebuah produk.
 - c. Tidak memiliki line karena proses hanya 1 mesin.
 - d. Pada mesin umumnya hanya mencetak 1 produk.
 - e. Pada cetakan / jig umumnya hanya memiliki 1 cetakan produk
2. Proses machining melibatkan pengikisan material dari benda kerja untuk membentuk bentuk atau dimensi tertentu, dapat dilakukan dengan menggunakan mesin perkakas seperti mesin bubut, bor, milling, atau penggilingan.
 - a. Proses machining dilakukan dalam proses mesin yang banyak untuk menjadi sebuah produk machining.
 - b. Proses machining pada umumnya membentuk lebih dari 1 line produksi dengan jumlah mesin yang banyak, memproses beberapa bagian pada produk.
 - c. Setiap mesin memiliki beberapa jig untuk meningkatkan kapasitas produksi.
 - d. Dalam setiap jig memiliki beberapa bagian sub yang disebut pallet.
3. Proses assembling melibatkan penyatuan komponen atau bagian-bagian yang berbeda untuk membentuk produk akhir, bisa melibatkan perakitan manual oleh pekerja atau menggunakan otomatisasi seperti robot.
 - a. Proses assembling dilakukan dalam proses perakitan atau mesin yang banyak untuk menjadi sebuah unit produk.
 - b. Proses assembling pada umumnya membentuk 1 line produksi dengan jumlah man power atau mesin yang banyak, merakit beberapa bagian pada produk.
 - c. Setiap mesin hanya memiliki 1 jig dalam satu flow process.
 - d. Tidak ada sub jig dalam proses assembling.

Konsep Product Flow Mapping Rules

Variabilitas pada dimensi pada proses machining muncul dikarenakan proses tersebut dilakukan dalam berbagai jenis dan model mesin CNC, menyebabkan pengontrolan kualitas produk pada hasil ukuran dari manual handling manpower sampai 3D CMM (Coordinat Measuring Machine) memiliki banyak variasi hasil ukur, masalah yang sering terjadi berkaitan dengan ketidaksesuaian dengan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Adanya variasi yang muncul dalam proses produksi bisa di wajarkan, akan tetapi untuk mempermudah pengontrolan kita memerlukan penyederhanaan variasi, agar tidak banyak pengontrolan data kualitas yang banyak, variabilitas dapat dikendalikan dengan baik melalui penerapan praktik manufaktur yang baik dan sistem kontrol kualitas yang efektif dalam setiap proses. Metode pengontrolan data kualitas produk biasa dibuat menggunakan grafik dengan batasan

standarisasi yang telah ditetapkan dengan frekuensi check yang berbeda-beda dan dilakukan pengumpulan data awal saat event new model sebelum part diproduksi massal, untuk mengetahui variasi mutu yang sering muncul pada proses produksi sebuah permesinan, mengidentifikasi faktor-faktor apa saja yang menyebabkan variasi, mengetahui cara pemecahan masalah variasi mutu pada produksi machining dan mengetahui perubahan nilai kapabilitas atau kemampuan proses setelah dilakukan perbaikan terhadap produk machining.

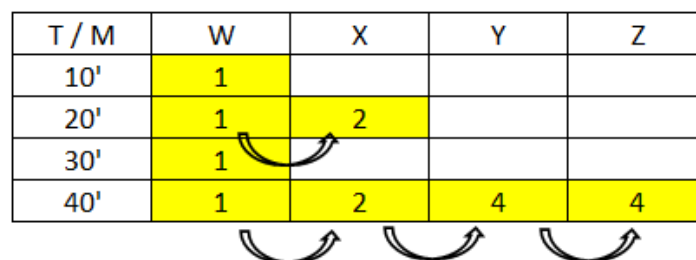
Quality Control terhadap produk akan mudah termonitoring secara daily jika ditampilkan dalam sebuah grafik, yang memunculkan standar-standar yang telah di tetapkan perusahaan. Peningkatan jaminan kualitas dilakukan dilakukan oleh departemen terkait dengan melakukan standarisasi internal, agar saat variasi muncul dan mengarah keluar standar dapat dilakukan penyettingan pada mesin produksi, sehingga dapat menjaga produk tersebut tidak outspec dan menjadi barang NG.



Gambar (2) Grafik Control Ketinggian Produk

Saat hasil pengukuran produk menyentuh toleransi internal, proses mesin dilakukan penyettingan agar hasil ukur kembali mendekati titik center untuk kualitas yang lebih baik, dan menjaga terjadinya hasil ukur produk menyentuh toleransi drawing dan menjadi produk NG. Item pengontrolan ini menjadi sangat penting pada produksi masal, dikarenakan pada umumnya semua pengukuran produk hanya dilakukan sampling 1x/day sehingga, saat hasil pengukuran NG, traceability dilakukan memungkinkan menemukan suspect lot yang muncul akan banyak dengan estimasi sejumlah 1 hari produksi.

Pengontrolan ini tidak mudah karena membutuhkan mesin atau tools untuk mengukur dan manpower yang melakukan pengolahan data, semakin banyak variasi yang diukur, semakin banyak juga cost yang timbul untuk proses pengukuran dalam 1line produksi. Sehingga metode mapping diperlukan untuk menekan variasi yang muncul dalam sebuah line produksi, penentuan mapping dilakukan sebelum produksi massal berlangsung, system mapping ini pun dapat menekan variasi pada system traceability. Hampir semua mesin produksi CNC machining memiliki lebih dari 1 jig, dan dalam setiap jig bisa memiliki palet (sub-jig) 2-4 bahkan lebih untuk meningkatkan kapasitas produksi, jika tidak dilakukan mapping flow process produksi akan banyak kemungkinan-kemungkinan variasi yang muncul dan memperbesar peluang cost jaminan kualitas yang tinggi atau menyebabkan produk NG muncul dalam jumlah yang banyak.



Gambar (3) Mapping Flow Pengaliran Produk

- 1 Mesin W memiliki 2 jig A & B.
- 2 Mesin X memiliki 2 Jig A & B.
- 2 Mesin Y memiliki 4 Jig (2 jig dengan 2 sub palet).
- 2 Mesin Z memiliki 4 Jig (2 jig dengan 2 sub palet).

The diagram illustrates a Value Stream Map (VSM) for a two-line production system. It shows the flow of materials and information between various machines and jigs.

Line 1 (Top):

- Machine W (CT 20')** produces **JIG A** and **JIG B**.
- Machine X1 (CT 40')** receives **JIG A** and **JIG B** and produces **JIG A** and **JIG B**.
- Machine Y1 (CT 80')** receives **JIG A** and **JIG B** and produces **JIG A** and **JIG B**.
- Machine Z1 (CT 80')** receives **JIG A** and **JIG B** and produces **JIG A** and **JIG B**.

Line 2 (Bottom):

- Machine X2 (CT 40')** produces **JIG A** and **JIG B**.
- Machine Y2 (CT 80')** receives **JIG A** and **JIG B** and produces **JIG A** and **JIG B**.
- Machine Z2 (CT 80')** receives **JIG A** and **JIG B** and produces **JIG A** and **JIG B**.

Final Steps:

- Washing (CT 10')**
- Leak Test (CT 10')**
- Visual Check (CT 10')**

Variant:

1. WA → X1A → Y1AA → Z1AA
2. WA → X1A → Y1AB → Z1AB
3. WA → X1B → Y1BA → Z1BA
4. WA → X1B → Y1BB → Z1BB
5. WB → X2A → Y2AA → Z2AA
6. WB → X2A → Y2AB → Z2AB
7. WB → X2B → Y2BA → Z2BA
8. WB → X2B → Y2BB → Z2BB

Kontrol Lot:

- WAAA
- WAAB
- WABA
- WABB
- WBAA
- WBAB
- WBBA
- WBBS

TOTAL:

- LINE #1 = 4 Product
- LINE #2 = 4 Product
- Variant = 8 Product

Product Flow Mapping Rules

- Pada area produksi tersebut, raw material diproses pertama kali pada mesin W bisa diproses pada jig A atau B.
- Hasil proses mesin W jig A (WA) hanya bisa mengalir pada proses line #1, dan hasil proses mesin W jig B (WB) hanya mengalir pada proses line #2.
- Produk hasil proses mesin WA hanya bisa di proses pada mesin X1 jig A (X1A) atau X1 jig B (X1B), hasil proses mesin WB hanya bisa di proses pada mesin X2 jig A (X2A) atau X2 jig B (X2B).
- Produk hasil proses WAX1A hanya bisa di proses pada mesin Y1 jig AA atau AB (Y1AA / Y1AB), hasil proses WAX1B hanya bisa di proses pada mesin Y1 jig BA atau BB (Y1BA / Y1BB), sedangkan hasil proses WAX2A hanya bisa di proses pada mesin Y2 jig AA atau AB, hasil proses WAX2B hanya bisa di proses pada mesin Y2 jig BA atau BB (Y2AA / Y1BB).



Traceability adalah konsep luas yang mengacu pada praktik mengidentifikasi suatu objek atau item pekerjaan dan mengakses salah satu atau semua informasi tentangnya, di mana saja dalam siklus hidupnya. Ini kira-kira dicapai dengan memberikan label atau tanda

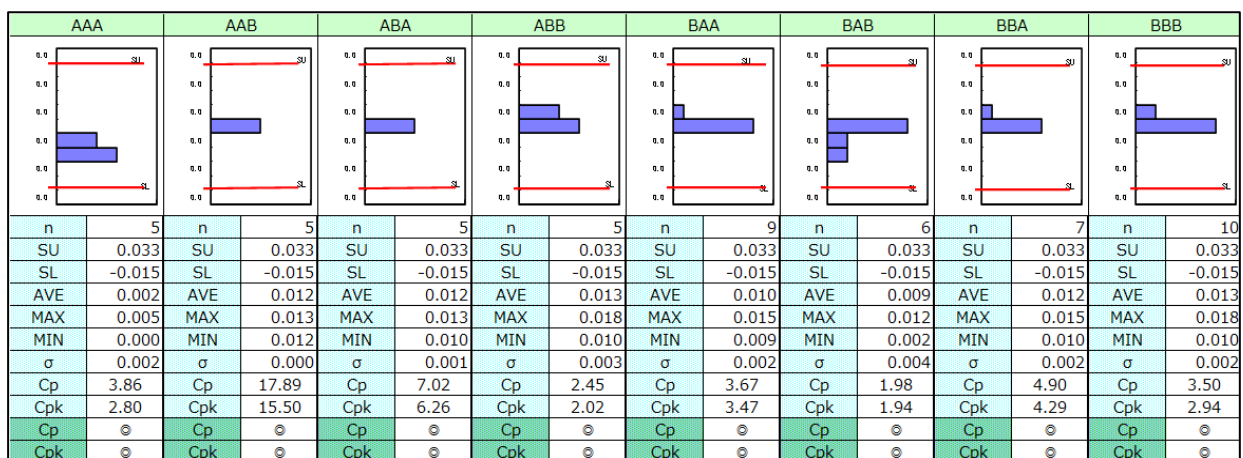
yang dapat diidentifikasi secara unik pada suatu objek [2]. Hasil mapping tersebut didapat 8 varian product atau bisa diterapkan sebagai 8 identitas pada control lot number untuk proses control traceability dengan data sebagai berikut:

Process Line #1 terdapat 4 varian atau identitas

- WA□X1A□Y1AA□Z1AA =WAX1AY1AAZ1AA disederhanakan AAA.
- WA□X1A□Y1AB□Z1AB =WAX1AY1ABZ1AB disederhanakan AAB.
- WA□X1B□Y1BA□Z1BA =WAX1BY1BAZ1BA disederhanakan ABA
- WA□X1B□Y1BB□Z1BB =WAX1BY1BBZ1BB disederhanakan ABB

Process Line #2 terdapat 4 varian atau identitas

- WB□X2A□Y2AA□Z2AA =WBX2AY2AAZ2AA disederhanakan BAA.
- WB□X2A□Y2AB□Z2AB =WBX2AY2ABZ2AB disederhanakan BAB.
- WB□X2B□Y2BA□Z2BA =WBX2BY2BAZ2BA disederhanakan BBA.
- WB□X2B□Y2BB□Z2BB =WBX2BY2BBZ2BB disederhanakan BBB



Gambar (6) Bar Graph Kualitas 8 Produk

Akan terlihat perbedaan kesetabilan tiap produk, karena setiap mesin CNC memiliki tingkat kesetabilan yang berbeda-beda, banyak faktor yang mempengaruhi seperti, kondisi tools, oli mesin, coolant, sparepart, dan proses maintenance mesin yang berlangsung pun akan mempengaruhi kualitas sebuah proses machining.

Probabilitas & Statistika

Teori probabilitas merupakan teori yang digunakan untuk memodelkan ketidakpastian [5]. Proses produksi pada gambar (3) akan sangat sulit dilakukan pengontrolan jika tidak menggunakan system mapping flow produksi, tidak adanya aturan pengaliran produk akan membuat banyak kemungkinan variabilitas yang terjadi, sehingga proses pengontrolan dimensipun tidak bisa dilakukan dengan baik, karena tidak adanya sebuah flow produksi. Variabilitas ukuran akan muncul dengan berbagai jenis dan mengakibatkan system traceability pun akan menimbulkan masalah, karena semua produk bisa di proses di mesin mana saja, baik secara line #1 dan line #2 ataupun secara jig A dan B, bahkan dapat menyilang secara palet AA, AB, BA, dan BB jika dihitung secara perhitungan probabilitas pada ilmu statistika, maka variabilitas yang muncul sebagai berikut:

$$P(A) = \frac{n(A)}{n(S)}$$

- Jika aturan hanya mengatur proses tanpa disilang antara line #1 dan line #2 dengan jumlah permesinan 6 jenis sehingga 2^6 .

$P(A)=1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/64$ sehingga terdapat 64 kemungkinan.

- b. Jika aturan mengatur proses boleh disilang line tapi tidak dengan mesin, maka akan muncul jumlah permesinan 7 jenis sehingga 2^7 .
 $P(A)=1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/128$ sehingga terdapat 128 kemungkinan
- c. Jika aturan mengatur proses boleh disilang line dan mesin tapi tidak dengan menyilang jig, maka akan muncul jumlah permesinan 9 jenis sehingga 2^9
 $P(A)=1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/512$ sehingga terdapat 512 kemungkinan

Sifat material dan parameter proses menentukan dimensi pada setiap tahap secara langsung, dan variasinya menyebabkan variasi dimensi pada masing-masing tahap. Variasi parameter menghasilkan variasi dimensi, yang ditransfer ke tahap berikutnya. Jadi variasi parameter pada tahap ini dan akumulasi variasi yang ditransmisikan dari tahap sebelumnya berkontribusi pada variasi dimensi pada tahap saat ini [4].

Total variabilitas mencapai 512 akan menyulitkan dalam pengontrolan kualitas produk dan saat melakukan traceability jika terjadi claim produk dari konsumen, pembuatan mapping flow process produk sangat penting untuk menjamin kelangsungan produksi massal, akan tetapi mapping ini tetap memiliki kekurangan, jika terjadi trouble pada salah satu mesin / jig, semua mesin dalam line produksi tersebut akan stop, karena aturan melarang proses menyilang, baik secara line, mesin, jig ataupun pallet.

SIMPULAN

Metode product flow mapping rules dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah variabilitas produk machining pada line produksi manufaktur, khususnya pada industri otomotif yang memiliki kapasitas produksi yang tinggi dan membutuhkan standar kualitas yang ketat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Manufaktur Negeri Bandung yang telah memberikan dukungan penelitian. Dukungan ini sangat berarti bagi peneliti dalam melaksanakan penelitian ini. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing peneliti, yaitu DR.Ing. Yuliadi Erdani, MSc., yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian ini berlangsung. Selain itu, peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Peneliti menyadari bahwa artikel ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, peneliti mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang budiman. Semoga artikel ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Lian G. Ota. (2016). PROBABILITAS BERSYARAT, INDEPENDENSI DAN TEOREMA BAYES DALAM MENENTUKAN PELUANG TERJADINYA SUATU PERISTIWA.
- Reuben Schuitemaker, Xun Xu-. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review.
- Muhammad Amirrudin, Khoirunnisa Nasution, Supahar. (2021). Effect of Variability on Cronbach Alpha Reliability in Research Practice.
- Changhui Liu, Sun Jin, Xinmin Lai and Yulian Wang. (2014). Dimensional variation stream modeling of investment casting process based on state space method.
- Dra. Farida Agustini Widjajati, MS, Sunarsini, S.Si, M.Si, ASLIKHATUL BAROROH. (2016). KAJIAN PROBABILITAS BERNILAI HIMPUNAN DAN HUBUNGANNYA DENGAN UKURAN BERNILAI HIMPUNAN.
- Rektor Sianturi. (2023). Penggunaan Teorema Binomial dalam Menentukan Peluang Suatu Kejadian.
- Rini Anggraini, Bagas Atma, Popy Yuliarty. (2019). PENGENDALIAN KUALITAS STATISTIK TOTAL SUSPENDED SOLID PADA STOCK PREPARATION 1 DI PT X (INDUSTRI KERTAS).
- M. Kotus, E. Jankajová, M. Petrík. (2015). Quality control of aluminium melt in production process.

- Adam K. Kiss, David Hajdu, Daniel Bachrathy, Gabor Stepan, Zoltan Dombovari. (2022). In-process impulse response of milling to identify stability properties by signal processing.
- Muhammad Andhika, Iskandar Ismail, Almadora Anwar, Dodi Tafrant. (2023). PENGARUH VARIASI MATERIAL MATA PAHAT ENDMILL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN RESIN PADA CNC ROUTER 3018.