

## Peningkatan Mutu Produk Cetakan Kue Melalui Integrasi Green Manufacturing dan Good Manufacturing Practice (GMP) Menggunakan Pendekatan KPI, FMEA, dan Fishbone Diagram

Lolyka Dewi Indrasari<sup>1</sup>, Johan Alfian Pradana<sup>2</sup>, Ana Komari<sup>3</sup>, Afiff Yudha Tripariyanto<sup>4</sup>, Venus Khatta S<sup>5</sup>

Email corresponding author: [lolyka@unik-kediri.ac.id](mailto:lolyka@unik-kediri.ac.id)

Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri, Kediri, Jawa Timur

Article history: Received: 17 Juni 2025 | Revised: 7 Februari 2026 | Accepted: 10 Februari 2026

**Abstract.** *PT. X activities have entered the mid-scale home industry of Cookie cutting production. Where industrial activities are an allocation of 8 hours of work per day. The dominant pollution that occurs is the remnants of slab iron that is perca. The utilization of iron slabs that have not been maximal will cause Environmental hazards. This danger occurs is wasted in the Environment. The purpose of the study is to determine the results of key performance indicators to provide improved good manufacturing with the integration of Fishbone diagrams reviewed from ISO 22000: 2009, ISO 14001:2015, and HACCP. The research stage is to assess aspects of waste, energy usage, and yieldss. Continued to review the proposed green manufacturing improvement using FMEA Integration Fishbone diagram. This research shows that aspects of green manufacturing have qualified ISO 22000:2009, ISO 14001:2015, and HACCP and proposed improvements that are expected to be motivated, intensive monitoring, and maintaining green manufacturing conditions to improve.*

**Keywords** - Cookie Cutting; Green Manufacturing; Waste; Yieldss

**Abstrak.** *Aktivitas PT. X telah memasuki industri rumahan skala menengah dalam produksi cookie cutting. Kegiatan industri dilakukan dengan alokasi waktu kerja selama 8 jam per hari. Pencemaran yang dominan terjadi adalah sisa pelat besi berupa perca. Pemanfaatan pelat besi yang belum optimal dapat menimbulkan bahaya lingkungan. Bahaya tersebut terjadi karena limbah yang terbuang ke lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil key performance indicators guna memberikan perbaikan good manufacturing dengan integrasi diagram Fishbone yang ditinjau berdasarkan ISO 22000:2009, ISO 14001:2015, dan HACCP. Tahapan penelitian meliputi penilaian aspek limbah, penggunaan energi, dan hasil produksi (yield). Selanjutnya dilakukan kajian usulan perbaikan green manufacturing menggunakan integrasi FMEA dan diagram Fishbone. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aspek green manufacturing telah memenuhi persyaratan ISO 22000:2009, ISO 14001:2015, dan HACCP, serta diusulkan perbaikan yang diharapkan dapat meningkatkan motivasi, pemantauan secara intensif, dan pemeliharaan kondisi green manufacturing agar terus mengalami peningkatan.*

**Kata Kunci** - Pemotongan Kue; Manufaktur Hijau; Limbah; Hasil Produksi

### PENDAHULUAN

Produk kue merupakan hasil produksi dari industri makanan. Industri makanan yang beragam jenis pasti memiliki berbagai jenis model cetakan (*mold*) untuk mencetak kue. Model cetakan kue tidak hanya di miliki oleh industri makanan skala besar. Melainkan industri kecil juga pasti memiliki jenis cetakan (*mold*). Salah satunya PT. X yang memproduksi model cetakan (*mold*) yang beraneka ragam untuk kue kering. Salah satu model yang akan di jadikan obyek penelitian adalah *Cookie cutting* abjad. *Cookie cutting* abjad memiliki bentuk abjad A sampai dengan Z. Permintaan produk *Cookie cutting* abjad dalam 6 bulan terakhir mencapai antara 4300 set sampai 4500 set setiap bulan. *Cookie cutting* abjad 1 set berisi 26 biji. Kegiatan produksi *Cookie cutting* set tergolong kategori menengah dengan karyawan sejumlah 45 orang. Mesin bubut *mold* sejumlah 6 unit, mesin las duduk sejumlah 10 unit dan mesin gulung sejumlah 2 unit.

Secara umum, kegiatan perusahaan alokasi 8 jam kerja per hari. Pencemaran yang dominan terjadi adalah sisa – sisa besi lempengan yang bersifat perca. Pemanfaatan besi lempengan perca yang belum maksimal akan menyebabkan bahaya lingkungan. Bahaya ini terjadi jika terbuang ke lingkungan. Pembuangan lempengan besi akan menyebabkan besi berkarat. Karat – karat inilah yang membuat lingkungan berbahaya, karena ada zat racun. Tetapi, tidak membuang ke lingkungan. Melainkan membawa ke pengepul untuk didaur ulang kembali. Aktivitas ini telah baik dilakukan, tetapi masih perlu pengkajian ulang mengenai aktivitas *green manufacturing* [1].

Aktivitas *green manufacturing* mencakup kegiatan proses produksi [2]. Proses produksi yang dikaitkan adalah *Cookie cutting* abjad. *Green manufacturing* menilai nilai limbah yang terbuang ke lingkungan [3]. Aspek yang diukur adalah *Yields*, *Energy usage*, *waste* dan *Cycle time* [4], [5]. *Yields* berfungsi untuk mengukur prosentase produk yang diproduksi dengan *Material* yang digunakan. *Energy usage* adalah total energi listrik yang digunakan untuk kegiatan produksi. *Cycle time* adalah jumlah waktu total dari aktivitas produksi. Ketiga aspek ini jika tidak mencapai 30% tergolong belum mencapai *green manufacturing* [6]. Oleh sebab itu, capaian kendali dilakukan analisa sebab – akibat menggunakan *Fishbone diagram*. *Fishbone diagram* adalah menarik akar masalah dengan aspek 5M+ 1E. Aspek 5M+ 1E terdiri dari *Machine*, *Method*, *man*, *Material*, *Measurement* dan *Environment*. Aspek *green manufacturing* di integrasi dengan *Fishbone diagram* akan memberikan usulan perbaikan proses produksi yang lebih baik. Usulan yang diberikan ditinjau dari aspek mutu dan keamanan produk. Aspek mutu dan keamanan pangan dari *Cookie cutting* abjad mengacu ISO 22000: 2009, ISO 14001: 2015 dan HACCP. Konsep ISO 22000: 2009 yaitu hanya fokus pada monitoring keberlanjutan dan perbaikan proses. Konsep ISO 14001: 2015 mengacu pada pengendalian aktivitas produksi yang memiliki potensi negatif bagi lingkungan. Konsep HACCP hanya mengacu pada identifikasi penggunaan *Cookie cutting* abjad.

Kejadian secara eksisting adalah terkendalinya *key performance indicator*. *Key performance indicator* menggunakan efisiensi *Material* (*yieldss*), kebutuhan listrik (*energy usage*), daur ulang limbah (*re-cycle waste*). Efisiensi *Material* yang akan dicapai adalah meningkatkan output daripada input [7], [8]. Output yang dicapai adalah produk *Cookie cutting* abjad. Sedangkan input adalah *Material* yang berjenis seng aluminium. Nilai tersebut dominan tidak menunjukkan peningkatan performa *green manufacturing* [9], [10]. Kondisi eksisting harus segera di perbaiki guna mewujudkan *green manufacturing*. Visi yang dibangun adalah meningkatkan mutu dan keamanan produk *Cookie cutting* abjad.

Berdasarkan kasus yang sedang berjalan, mengacu dari berbagai pendahulu sebagai capaian penelitian. Menurut Pinandoyo [11], menyatakan bahwa masih ada risiko dalam mengendalikan dampak negatif pada produksi produk. Dampak negatif ini masih terbatas pada rekomendasi SOP dalam pengendalian dampak mengacu HACCP. Menurut Najah [12] menyatakan bahwa HACCP masih dalam tahap pengendalian rutin bulanan. Hal ini dikarenakan minimnya aktivitas monitoring selama proses produksi. Menurut Khan [13], menyatakan bahwa keberlanjutan manufaktur telah menerapkan ISO 14001: 2015. Menurut Paul [14], menyatakan bahwa *green manufacturing* yang dijelaskan bersifat kepentingan dalam pengaplikasian. *Green manufacturing* merupakan proses produksi yang menggunakan input dengan dampak lingkungan yang relatif rendah, dan menghasilkan sedikit bahkan tidak ada limbah atau polusi [15]. Sistem *green manufacturing* mengarahkan sistem manufaktur yang ramah lingkungan dengan cara mengubah pengelolaan bahan baku, penggunaan energi, proses produksi, dan mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh produsen diharapkan dapat di daur ulang agar dapat digunakan kembali sebagai bahan baku untuk memproduksi produk baru, tetapi tidak semua limbah dapat dimanfaatkan atau didaur ulang oleh produsen. Biaya daur ulang terlalu tinggi maka limbah tersebut akan dibuang, maka produsen diharuskan untuk melakukan strategi pengurangan limbahnya [13]. *Green manufacturing* belum tergolong implementasi dalam proses produksi yang kritis. Dari pendahulu inilah ditemukan celah untuk pengembangan riset *green manufacturing*. Sustainable assesment merupakan sebuah proses yang mengarah kepada suatu proses pengambilan keputusan menuju pembangunan berkelanjutan. Penilaian ini memberikan informasi yang diperlukan untuk mengambil keputusan dalam memantau kinerja keberlanjutan, meningkatkan komunikasi, dan mengidentifikasi masalah terkait keberlanjutan [16]. Tujuan sustainable assesment yaitu untuk memastikan suatu produk, proses, rencana dan aktivitas memberikan kontribusi optimal untuk pengembangan berkelanjutan [14].

Celah pembaruan yang akan dilaksanakan adalah integrasi ISO 22000: 2009, ISO 14001: 2015 dan HACCP kedalam *green manufacturing* dengan perspektif aspek *waste*, *energy usage*, *yieldss* untuk mencapai nilai FMEA dan *Fishbone diagram* [17], [18], [19], [20]. Integrasi ISO 22000:2009, ISO 14001:2015, dan HACCP ke dalam kerangka *green manufacturing* menjadi dasar dalam perumusan usulan perbaikan proses produksi di PT. X. Penelitian ini penting dilakukan karena penerapan *green manufacturing* pada industri manufaktur skala kecil dan menengah, khususnya industri rumahan, masih belum optimal dan belum terintegrasi secara sistematis dengan aspek mutu serta keamanan produk. Permasalahan utama yang dihadapi meliputi belum terkendalinya *key performance indicator* berupa efisiensi material (*yields*), konsumsi energi (*energy usage*), dan pengelolaan limbah (*re-cycle waste*) pada proses produksi *cookie cutting* abjad. Oleh karena itu, diperlukan analisis terstruktur untuk mengidentifikasi faktor penyebab permasalahan melalui pendekatan *Fishbone diagram*, serta evaluasi penerapan standar ISO 22000:2009, ISO 14001:2015, dan HACCP dalam mendukung peningkatan kinerja *green manufacturing*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja *key performance indicator* sebagai dasar perumusan usulan perbaikan proses produksi yang berorientasi pada peningkatan mutu dan keamanan produk *cookie cutting* abjad di PT. X, sehingga diharapkan dapat menjadi rujukan penerapan *green manufacturing* pada industri manufaktur skala kecil dan menengah dengan karakteristik proses produksi sejenis.

## METODE

### A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. X yang berlokasi di Desa Bibis Baye, Kediri. Pemilihan lokasi didasarkan pada karakteristik PT. X sebagai industri manufaktur skala kecil–menengah yang memproduksi berbagai jenis cetakan kue dan memiliki permasalahan terkait efisiensi material, konsumsi energi, serta pengelolaan limbah produksi.

### B. Desain Penelitian

Desain penelitian dengan model kuantitatif. Model kuantitatif menggunakan pendekatan *Green manufacturing*. *Green manufacturing* menggunakan metode *Key performance indicator*, FMEA dan *Fishbone diagram*.

Fungsi *key performance indicator* sebagai parameter mencangkup efisiensi *Material (yields)*, kebutuhan listrik (*energy usage*), daur ulang limbah (*re-cycle waste*) guna mencapai nilai *green manufacturing*. Nilai *green manufacturing* dari aspek tersebut akan di pertahankan dengan *Fishbone diagram*. *Fishbone diagram* bertujuan untuk mengetahui faktor – faktor yang dapat menurunkan nilai *green manufacturing*. *Fishbone diagram* menggunakan aspek *Machine, Method, Man, Material, Measurement*, dan *Environment*.

### C. Populasi dan Sampel

Populasi dari penelitian ini adalah produk cetakan kue yang beragam. Produk cetakan kue yang digunakan sebagai sampel penelitian adalah cetakan kue jenis Cookie cutter. Cookie cutter yang digunakan sampel dengan bentuk huruf abjad. Proses produksi Cookie cutter bentuk abjad akan di analisa dengan *green manufacturing* menggunakan *Key performance indicator* dan *Fishbone diagram*.

### D. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian guna mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian. Instrumen yang digunakan mencangkup sebagai berikut:

- Observasi yaitu kegiatan pengamatan langsung, meninjau dan mencatat segala sesuatu yang terkait dengan proses produksi dalam mencapai *green manufacturing*, khususnya *Cookie cutter* bentuk abjad [21].
- Wawancara yaitu kegiatan dengan agenda tanya jawab, antara pewawancara dengan pemilik CV dan pelanggan secara acak. Fungsi wawancara sebagai pengumpulan data dan pendukung data yang didapat pada observasi” [22].
- Studi Pustaka terkait studi pustaka bisa diperoleh melalui media internet dengan kata kunci terkait topik penelitian, kemudian dapat mengacu pada jurnal – jurnal penelitian yang memiliki reputasi, baik jurnal berbahasa Indonesia maupun berbahasa Inggris. Selain itu, juga bisa diperoleh data studi literatur melalui media buku secara fisik dan buku elektronik (*e-book*) terkait topik pada penelitian.

### E. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian sebagai alur tahapan penelitian. Alur tahapan penelitian yang dilakukan harus detail khususnya dalam keterkaitan metode yang digunakan untuk mencapai *green manufacturing*. Prosedur penelitian sebagai berikut:

- Key performance indicator

Aktivitas *key performance indicator* dengan aspek efisiensi *Material (yields)*, kebutuhan listrik (*energy usage*), daur ulang limbah (*re-cycle waste*) menggunakan persamaan rumus berikut:

$$Yield = \frac{Output}{Input} \times 100\% \quad E_{usage} = \frac{\sum_0^n Energy}{\sum_0^n Production} \times 100\%$$
$$Waste\ produced\ as\ \% \ of\ product\ produced = \frac{\sum_0^n waste}{\sum_0^n Product} \times 100\% \quad (1)$$

$$C_{time} = \sum_0^n Time\ activity$$

Kriteria penilaian *green manufacturing* dalam penelitian ini mengacu pada [6], [4], di mana proses produksi dinyatakan memenuhi prinsip *green manufacturing* apabila nilai efisiensi material dan pengelolaan limbah menunjukkan peningkatan signifikan serta konsumsi energi per unit produk berada pada tingkat efisien. Nilai KPI digunakan sebagai dasar evaluasi awal, bukan sebagai batas absolut tunggal, sehingga interpretasi dilakukan secara komparatif antara kondisi eksisting dan target perbaikan.

- FMEA

Penggunaan FMEA menggunakan kriteria *Risk Priority Number (RPN)*, dengan faktor *Severity (S)*, *Occurrence (O)* dan *Detection (D)* (Sutrisno & Lee, 2011). Persamaan rumus yang digunakan adalah (Braaksma, 2012):

$$RPN = S \times O \times D \quad (2)$$

Nilai RPN yang tinggi menunjukkan prioritas perbaikan yang lebih mendesak. Hasil FMEA digunakan sebagai masukan dalam analisis sebab-akibat pada tahap Fishbone diagram.

c. Fishbone diagram

Aktivitas untuk mengetahui sebab akibat nilai Key performance indicator yang belum optimal. Kegunaan dari Fishbone diagram untuk meningkatkan kualitas yang berkelanjutan dan keamanan produk. Tahapan dari Fishbone diagram sebagai berikut:

- Kesepakatan usulan perbaikan dengan acuan nilai key performance indicator menggunakan aspek Machine, Method, Man, Material, Measurement, dan Environment.
- Masing – masing aspek diuraikan agar diketahui faktor kasus secara detail.
- Buatlah rangkuman hasil Fishbone diagram dengan model tabel seperti table 1 berikut:

**Tabel 1.** Faktor Fishbone

| <b>6 M</b>         | <b>Kemungkinan penyebab masalah</b> | <b>Diskusi</b> | <b>Apakah ini menjadi akar masalah ?</b> |
|--------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------------|
| <i>Machine</i>     | <i>n</i>                            | jawaban        | Ya/ Tidak                                |
| <i>Method</i>      | <i>n</i>                            | jawaban        | Ya/ Tidak                                |
| <i>Material</i>    | <i>n</i>                            | jawaban        | Ya/ Tidak                                |
| <i>Man</i>         | <i>n</i>                            | jawaban        | Ya/ Tidak                                |
| <i>Measurement</i> | <i>n</i>                            | jawaban        | Ya/ Tidak                                |
| <i>Enviroment</i>  | <i>n</i>                            | jawaban        | Ya/ Tidak                                |

(Sumber : [23])

Hasil Fishbone diagram digunakan untuk merumuskan usulan perbaikan proses produksi yang terintegrasi dengan standar ISO 22000:2009, ISO 14001:2015, dan HACCP.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan rekapitulasi data yang telah diolah, didapatkan hasil penelitian dengan pembahasan sesuai dengan tujuan penelitian. Aspek *yields* sebagai efisiensi *Material* yang digunakan. Hasil cutting dibandingkan dengan hasil produk yang dipakai. Proses cutting tidak terpakai seluruhnya. Penyebabnya yaitu timbul dimensi cutting yang tidak dapat dilakukan untuk produksi. Oleh sebab itu berikut penilaian *yields* seperti disajikan pada table 2.

**Tabel 2.** Penilaian *Yields*

| <b>Bulan</b>      | <b>Hasil Cutting</b> | <b>Hasil Produk</b> | <b>Rasio</b> | <b>%</b> |
|-------------------|----------------------|---------------------|--------------|----------|
| January           | 4866                 | 4495                | 1,08         | 92,4%    |
| February          | 4956                 | 4370                | 1,13         | 88,2%    |
| Maret             | 4980                 | 4437                | 1,12         | 89,1%    |
| April             | 4913                 | 4460                | 1,10         | 90,8%    |
| Mei               | 4958                 | 4406                | 1,13         | 88,9%    |
| Juni              | 4911                 | 4345                | 1,13         | 88,5%    |
| Juli              | 4970                 | 4481                | 1,11         | 90,2%    |
| Agustus           | 4909                 | 4478                | 1,10         | 91,2%    |
| September         | 5000                 | 4489                | 1,11         | 89,8%    |
| Oktober           | 4996                 | 4316                | 1,16         | 86,4%    |
| November          | 4859                 | 4309                | 1,13         | 88,7%    |
| December          | 4959                 | 4368                | 1,14         | 88,1%    |
| Total             | 59277                | 52954               | 13,43584     | 1072%    |
| Rata - rata (set) |                      |                     |              | 89,3%    |

Berdasarkan tabel 2, menyatakan bahwa rata – rata efisiensi hasil cutting dengan hasil produk layak sebesar 89,3%. Nilai ini berarti tingkat efisiensi > 50% dinyatakan layak. Nilai rasio hasil cutting dengan hasil produk paling tinggi terdapat di bulan Oktober sebesar 1,16 dan paling rendah di bulan Januari sebesar 1,08. Nilai interval rasio maksimum

dengan minimum selisih 0,8. Rentang nilai selisih masih dalam tahap wajar. Sedangkan nilai prosentase efisiensi paling tinggi berada pada bulan Januari sebesar 92,4% dan paling rendah dibulan April sebesar 90,8%. Nilai rasio dengan prosentase adalah parameter utama. Berarti, jika nilai rasio mendekati dinyatakan terjadi nilai prosentase efisiensi tinggi.

**Tabel 3.** Penilaian *Energy usage*

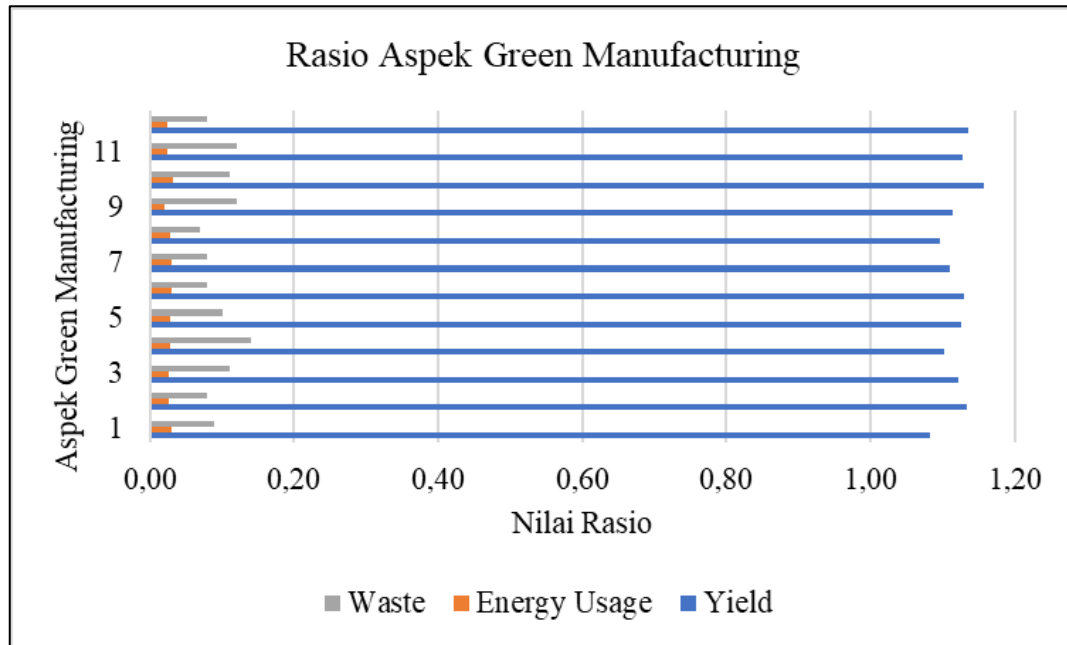
| Bulan             | Listrik/ bulan<br>(Kwh) | Hasil Produk | Rasio (Kwh/<br>produk) |
|-------------------|-------------------------|--------------|------------------------|
| January           | 135                     | 4495         | 0,030                  |
| February          | 110                     | 4370         | 0,025                  |
| Maret             | 112                     | 4437         | 0,025                  |
| April             | 125                     | 4460         | 0,028                  |
| Mei               | 120                     | 4406         | 0,027                  |
| Juni              | 131                     | 4345         | 0,030                  |
| Juli              | 139                     | 4481         | 0,031                  |
| Agustus           | 127                     | 4478         | 0,028                  |
| September         | 94                      | 4489         | 0,021                  |
| Oktober           | 141                     | 4316         | 0,033                  |
| November          | 105                     | 4309         | 0,024                  |
| December          | 109                     | 4368         | 0,025                  |
| Total             | 1448                    | 52954        | 0,328171               |
| Rata - rata (set) |                         |              | 0,027                  |

Berdasarkan tabel 3, penilaian energy usage, konsumsi listrik setiap bulan paling tinggi dibulan Oktober sebesar 141 Kwh dengan hasil produk sejumlah 4316 set. Sedangkan konsumsi listrik paling rendah dibulan November sebesar 105 Kwh dengan hasil produk 4309 set. Rasio penggunaan energi listrik terhadap produk Cookie cutting dengan nilai rata – rata sebesar 0,027. Nilai 0,027 dinyatakan layak karena  $< 1$  dan mendekati nilai 0.

**Tabel 4.** Penilaian *Waste*

| Bulan            | Limbah   | Hasil Produk | Rasio |
|------------------|----------|--------------|-------|
| January          | 80,91    | 899          | 0,090 |
| February         | 69,92    | 874          | 0,080 |
| Maret            | 97,614   | 887,4        | 0,110 |
| April            | 124,88   | 892          | 0,140 |
| Mei              | 88,12    | 881,2        | 0,100 |
| Juni             | 69,52    | 869          | 0,080 |
| Juli             | 71,696   | 896,2        | 0,080 |
| Agustus          | 62,692   | 895,6        | 0,070 |
| September        | 107,736  | 897,8        | 0,120 |
| Oktober          | 94,952   | 863,2        | 0,110 |
| November         | 103,416  | 861,8        | 0,120 |
| December         | 69,888   | 873,6        | 0,080 |
| Total            | 1041,344 | 10590,8      | 1,18  |
| Rata - rata (kg) |          |              | 0,098 |

Berdasarkan tabel 4, nilai waste dalam produksi Cookie cutting dengan rata – rata rasio < 1 kg yaitu 0,098 kg. Berarti, rata – rata setiap bulannya tidak mencapai jumlah limbah > 1 kg. Nilai perubahan dari satuan set ke satuan kg, menggunakan parameter tiap set. Bahwa dinyatakan dalam observasi, setiap 1 set memiliki berat 200 gram (0,2 kg). Berarti nilai bulan Januari 899 berasal dari tabel (3) yaitu bulan Januari pada 4495 dikali dengan 0,2 kg.



**Gambar 1.** Rasio Aspek *Green manufacturing*

Gambar 1 menunjukkan bahwa rasio aspek green manufacturing telah sesuai dengan acuan ISO 22000: 2009, ISO 14001: 2015 dan HACCP. Tetapi, kondisi yang terjadi belum dapat dinyatakan dimasa depan. Oleh sebab itu, penilaian ini dapat dipertahankan oleh oleh PT. X. Aspek waste dominan bernilai < 1, aspek energy usage dominan < 1 dan efisiensi dominan > 1. Aspek green manufacturing baik dari waste, energy usage dan efisiensi perlu dipertahankan. Hal ini mengingat, bahwa jika penilaian telah baik dominan akan terjadi penurunan kinerja. Hal ini dapat terjadi karena aktivitas pekerja yang belum memiliki budaya untuk meningkatkan kinerja dalam mencapai green manufacturing yang optimal.

**Tabel 5.** Waktu Aktual Produksi

| No              | Aktivitas                  | Waktu Aktual (jam) |
|-----------------|----------------------------|--------------------|
| 1               | Gelar <i>Material</i>      | 0,5                |
| 2               | Pengukuran <i>Material</i> | 0,5                |
| 3               | Cutting <i>Material</i>    | 2                  |
| 4               | Pengelasan                 | 1                  |
| 5               | Cek mutu                   | 0,5                |
| 6               | Packing                    | 3                  |
| Total (jam)     |                            | 7,5                |
| Rata-rata (jam) |                            | 1,25               |

Berdasarkan tabel 5, menyatakan bahwa aktivitas pekerjaan dalam produksi Cookie cutting total jam kerja < 8 jam, yaitu sebesar 7,5 jam kerja tanpa istirahat. Jika merujuk pada aturan 8 jam kerja, berarti aktivitas istirahat dengan durasi 30 menit atau 0,5 jam. Rata – rata jam kerja per aktivitas adalah 1,25 jam. Aktivitas jam kerja ini mungkin perlu dikurangi, mengingat durasi istirahat perlu ditambah. Penilaian aspek green manufacturing dilanjutkan dalam model root cause analysis seperti pada tabel 6 berikut.



**Tabel 6.** Kajian Masalah *Green manufacturing*

| Permasalahan                                                                   | Indikator<br><i>Green Logistic</i> | Fungsi                                       | Function<br>Failure                   | Failure Mode                                                                  | Cause                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Green manufacturing</i> berbasis ISO 22000: 2009, ISO 14001: 2015 dan HACCP | ISO 22000: 2009                    | Kepercayaan produk dalam alat pangan         | Pengecekan perlu dengan periode waktu | Minimasi limbah akan membuat ramah lingkungan                                 | Monitoring kegiatan setiap aktivitas dan mempertahankan aspek <i>green manufacturing</i> |
|                                                                                |                                    | Jaminan keamanan alat pangan                 |                                       | ISO 22000: 2009 during dipahami                                               |                                                                                          |
|                                                                                | ISO 14001: 2015                    | Kegiatan produksi yang ramah lingkungan      | Kurang efektif terkendala lingkungan  | Emisi yang membahayakan lingkungan berusaha di minimasi                       |                                                                                          |
|                                                                                |                                    | Komitmen strategi <i>green manufacturing</i> | Penerapan belum maksimal              | Minimnya pemahaman ISO 14000                                                  |                                                                                          |
|                                                                                | HACCP                              | Monitoring keamanan aspek produksi           | Pengecekan perlu dengan periode waktu | Peningkatan motivasi dan pemahaman untuk tetap bertahan dalam nilai yang baik |                                                                                          |
|                                                                                |                                    | Tindakan korektif dalam produksi             |                                       |                                                                               |                                                                                          |

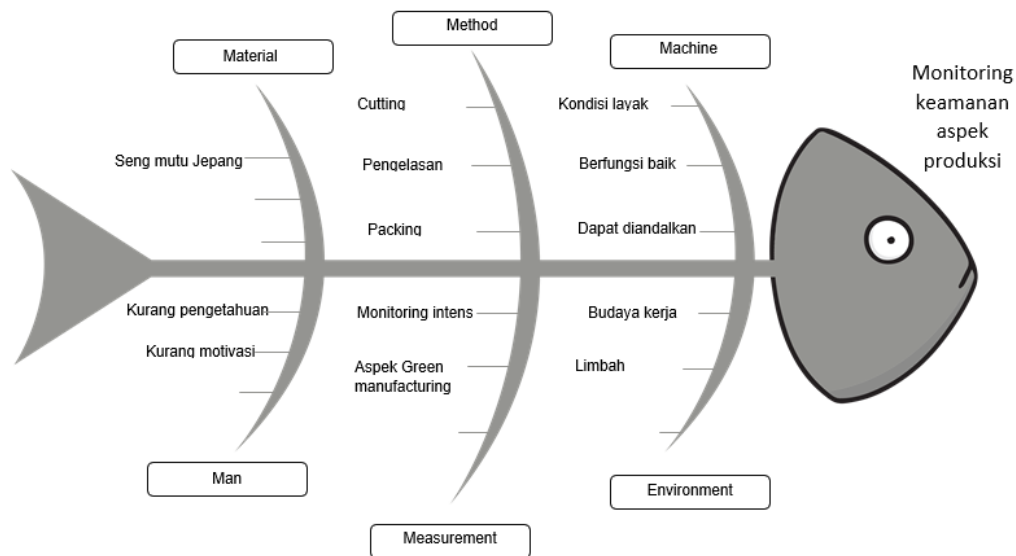
Berdasarkan tabel 6, dampak (cause) yang timbul adalah pentingnya monitoring kegiatan setiap aktivitas dan mempertahankan aspek green manufacturing. Setiap indikator yang digunakan memiliki fungsi tersendiri dan memiliki kegagalan fungsi mulai dari monitoring internal, terkendala lingkungan dan belum optimalnya implementasi secara penuh. Meskipun capaian aspek green manufacturing telah baik tetap perlu ditingkatkan.

**Tabel 7.** Ranking Masalah

| Indikator<br><i>Green Logistic</i> | Fungsi                                       | Function<br>Failure                   | Failure<br>Effect                                       | Severity | Occurrence | Detection | RPN | Rank |
|------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------|------------|-----------|-----|------|
| ISO 22000: 2009                    | Kepercayaan produk dalam alat pangan         | Pengecekan perlu dengan periode waktu | Minimasi limbah akan membuat ramah lingkungan           | 4        | 3          | 6         | 72  | 5    |
|                                    | Jaminan keamanan alat pangan                 | Pengecekan perlu dengan periode waktu | ISO 22000: 2009 belum dipahami                          | 4        | 5          | 4         | 80  | 3    |
| ISO 14001: 2015                    | Kegiatan produksi yang ramah lingkungan      | Kurang efektif terkendala lingkungan  | Emisi yang membahayakan lingkungan berusaha di minimasi | 4        | 3          | 5         | 60  | 6    |
|                                    | Komitmen strategi <i>green manufacturing</i> | Penerapan belum maksimal              | Minimnya pemahaman ISO 14000                            | 5        | 3          | 5         | 75  | 4    |

|       |                                    |                                       |                                                                               |   |   |   |     |   |
|-------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|-----|---|
| HACCP | Monitoring keamanan aspek produksi | Pengecekan perlu dengan periode waktu | Peningkatan motivasi dan pemahaman untuk tetap bertahan dalam nilai yang baik | 5 | 5 | 7 | 175 | 1 |
|       | Tindakan korektif dalam produksi   | Pengecekan perlu dengan periode waktu | Peningkatan motivasi dan pemahaman untuk tetap bertahan dalam nilai yang baik | 4 | 5 | 7 | 140 | 2 |

Berdasarkan tabel 7, perankingan masalah yang utama adalah Monitoring keamanan aspek produksi dengan nilai RPN 175. Penilaian selanjutnya akan dilanjutkan dengan meninjau menggunakan Fishbone diagram untuk menemukan akar masalah. Penilaian akar masalah hanya RPN 175, karena dianggap paling kritis. Pemodelan Fishbone diagram menggunakan Machine, Method, Material, man, Measurement dan Environment.



**Gambar 2.** Diagram Fishbone

**Tabel 8.** Pembuktian Akar Masalah Utama

| 6 M             | Kemungkinan penyebab masalah                                                                                        | Diskusi                                                                                    | Apakah ini menjadi akar masalah ? |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Machine</i>  | Kondisi yang layak, berfungsi dengan baik dan dapat diandalkan                                                      | Belum terjadi kondisi delay selama produksi                                                | Tidak                             |
| <i>Method</i>   | Aktivitas cutting, pengelasan dan packing belum pernah terjadi kondisi bahaya dari aspek <i>green manufacturing</i> | Belum pernah ada kecelakaan kerja                                                          | Tidak                             |
| <i>Material</i> | <i>Material</i> seng mutu standar jepang                                                                            | Tidak pernah terjadi masalah lingkungan dan <i>Material</i> ini sangat sulit berkarat      | Today                             |
| <i>Man</i>      | Pengetahuan dan motivasi yang perlu didukung                                                                        | Perlu dilakukan motivasi kerja untuk pelaksaaan <i>green manufacturing</i> yang lebih baik | Ya                                |



|                    |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                             |       |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>Measurement</i> | Kendala pada monitoring yang belum intensif dan keharusan dalam mempertahankan nilai <i>waste</i> , <i>usage energy</i> dan <i>yields</i> agar lebih baik | Pentingnya monitoring intens dan mempertahankan aspek <i>green manufacturing</i>                                                                            | Ya    |
| <i>Environment</i> | Budaya kerja perlu meningkat dan kondisi limbah masih kategori aman                                                                                       | Meningkatkan budaya kerja didahului dengan monitoring intens dan mempertahankan aspek <i>green manufacturing</i> serta monitoring kadar limbah dilingkungan | Tidak |

**Tabel 9.** Usulan Perbaikan *Green manufacturing*

| Akar Masalah <i>Green manufacturing</i>                                                     | Usulan Perbaikan <i>Green manufacturing</i>                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Perlu dilakukan motivasi kerja untuk pelaksanaan <i>green manufacturing</i> yang lebih baik | Motivasi sangat penting dalam kelangsungan budaya kerja. Motivasi perlu ditingkatkan, mengingat nilai <i>waste</i> , <i>usage energy</i> dan <i>yieldss</i> telah tercapai dengan baik. Motivasi dapat dilakukan dengan aktivitas sarasehan setiap akhir bulan.                 |
| Pentingnya monitoring intens dan mempertahankan aspek <i>green manufacturing</i>            | Kondisi <i>green manufacturing</i> dari aspek <i>waste</i> , <i>usage energy</i> dan <i>yieldss</i> perlu ditingkatkan dengan acuan mempertahankan dahulu. Monitoring intens dapat dilakukan oleh pemilik PT. X maupun pekerja yang paham mengenai <i>green manufacturing</i> . |

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran key performance indicator (KPI), kinerja green manufacturing pada proses produksi cookie cutting abjad di PT. X secara umum telah memenuhi kriteria keberlanjutan proses. Nilai rasio limbah (*waste*) yang dominan < 1 dengan rata-rata sebesar 0,098 kg per bulan menunjukkan bahwa jumlah limbah yang dihasilkan relatif kecil dan terkendali, sejalan dengan prinsip ISO 14001:2015 terkait pengurangan dampak lingkungan. Pada aspek konsumsi energi (*energy usage*), nilai rasio rata-rata sebesar 0,027 yang mendekati nol mengindikasikan tingkat efisiensi energi yang tinggi, di mana semakin kecil rasio konsumsi energi per unit produk semakin rendah pula dampak lingkungan yang ditimbulkan (Yoon et al., 2014). Sementara itu, efisiensi material (*yields*) menunjukkan nilai rasio dominan > 1 dengan rata-rata efisiensi hasil cutting sebesar 89,3%, yang menandakan bahwa sebagian besar material input berhasil dikonversi menjadi produk layak jual. Capaian ini sejalan dengan prinsip lean dan green manufacturing yang menekankan minimisasi pemborosan material, serta berada di atas ambang efisiensi yang dilaporkan dalam penelitian terdahulu pada industri manufaktur skala kecil (Sulistiyowati et al., 2019; Wen Chiet et al., 2019).

Meskipun capaian indikator kuantitatif green manufacturing menunjukkan kinerja yang baik, hasil analisis FMEA mengungkapkan bahwa faktor non-teknis masih menjadi risiko utama yang berpotensi menurunkan keberlanjutan kinerja proses. Nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi sebesar 175 terdapat pada aspek monitoring dan motivasi kerja, yang menunjukkan bahwa kelemahan dalam pengawasan proses dan rendahnya kesadaran pekerja dapat berdampak signifikan terhadap stabilitas pencapaian KPI. Temuan ini diperkuat oleh hasil Fishbone diagram yang mengidentifikasi aspek Man dan Measurement sebagai akar permasalahan utama, khususnya terkait konsistensi monitoring dan sistem evaluasi kinerja yang belum optimal. Secara teoritis, hasil ini mendukung konsep socio-technical system dalam green manufacturing, sedangkan secara praktis menegaskan pentingnya penerapan sistem monitoring terstruktur, peningkatan motivasi kerja, serta integrasi ISO 22000:2009, ISO 14001:2015, dan HACCP secara konsisten untuk menjaga keberlanjutan green manufacturing pada industri manufaktur skala kecil dan menengah.

## REFERENSI

- [1] S. Han et al., "Emission characteristic and environmental impact of process-based VOCs from prebaked anode manufacturing industry in Zhengzhou, China," *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 11, no. 1, pp. 67–77, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.09.016>.
- [2] I. Alvarez-Meaza, E. Zarrabeitia-Bilbao, R. M. Rio-Belver, and G. Garechana-Anacabe, "Green scheduling to achieve green manufacturing: Pursuing a research agenda by mapping science," *Technol. Soc.*, vol. 67, no. June, p. 101758, 2021, doi: 10.1016/j.techsoc.2021.101758.

- [3] A. B. R. Indah, A. Nurwahidah, S. Mangnggenre, N. Ikasari, and M. T. Afifudin, "A Review of the Combination of Lean and Green in manufacturing for Sustainable Development," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 575, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/575/1/012066.
- [4] A. Singh, D. Philip, and J. Ramkumar, "Green Index Quantification of a Unit Manufacturing Process through Simulation Experiments," *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 1131–1136, 2016, doi: 10.1016/j.procir.2016.05.073.
- [5] K. K. Wehnert, D. Ochs, J. Schmitt, J. Hartmann, and A. Schiffler, "Reducing Lifecycle Costs due to Profile Scanning of the Powder Bed in Metal Printing," *Procedia CIRP*, vol. 98, no. March, pp. 684–689, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.01.175.
- [6] H. S. Yoon, J. Y. Lee, M. S. Kim, E. S. Kim, and S. H. Ahn, "Empirical study of the power efficiency of various machining processes," *Procedia CIRP*, vol. 14, pp. 558–563, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.03.043.
- [7] S. Liang, "Development and Application of Green Manufacturing," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 631, no. 3, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/631/3/032010.
- [8] R. Septifani, R. Astuti, and Y. Kusumastuti, "Green productivity analysis of raw rubber production," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 924, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/924/1/012052.
- [9] W. Sulistiyowati, M. R. Adamy, and R. B. Jakaria, "Product quality control based on lean manufacturing and root cause analysis methods," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1402, no. 2, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1402/2/022038.
- [10] C. Wen Chiet, N. Tan Ching, S. Lip Huat, M. Fathi, and T. Jaw Tzuu, "The Integration of Lean and Green Manufacturing for Malaysian Manufacturers: A Literature Review to Explore the Synergies between Lean and Green Model," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 268, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/268/1/012066.
- [11] D. B. Pinandoyo and A. Masnar, "Analisis HACCP Pada UKM Minuman Siap Saji Aloe Vera (ALOJA) Sebagai Sarana Memenuhi Standar Produksi Pangan Yang Baik," *Amerta Nutr.*, vol. 4, no. 3, p. 205, 2020, doi: 10.20473/amnt.v4i3.2020.205-212.
- [12] Z. Najah and N. A. Putri, "a Review of Hazard Analysis and Critical Control Points Implementation in Amplang Processing," *Food Sci. J.*, vol. 1, no. 1, p. 54, 2019, doi: 10.33512/fsj.v1i1.6187.
- [13] N. U. Khan, H. Wei, G. Yue, N. Nazir, and N. R. Zainol, "Exploring themes of sustainable practices in manufacturing industry: Using thematic networks approach," *Sustain.*, vol. 13, no. 18, 2021, doi: 10.3390/su131810288.
- [14] I. D. Paul, G. P. Bhole, and J. R. Chaudhari, "A Review on Green Manufacturing: It's Important, Methodology and its Application," *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmpe, pp. 1644–1649, 2014, doi: 10.1016/j.mspro.2014.07.149.
- [15] B. Bisoyi, D. Das, S. S. Pasumarti, and B. Das, "An Evaluation on Green Manufacturing: It's Technique, Significance and Rationality," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 653, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/653/1/012032.
- [16] M. B. Dow and H. B. Dexter, "Development of Stitched, Braided and Woven Composite Structures in the ACT Program and at Langley Research Center," *Langley Res. Cent.*, no. November, pp. 1–73, 1997, [Online]. Available: <http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19980000063>
- [17] L. D. Indrasari, A. Komari, and S. Luthfianto, "Usulan Kinerja Green Logistic dengan Pendekatan Root Cause Analysis guna Meningkatkan Re- Order Point yang Efektif," *Pros. Semin. Nas. Tek. Ind.*, vol. 1, pp. 44–58, 2021, doi: 10.33479/snti.v1i.138.
- [18] C. F. Liew, J. Prakash, S. Kamaruddin, and K. S. Ong, "Deployment of an FMEA-Integrated Framework to Improve Operational Performance in Semiconductor Manufacturing: A Case Study," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 530, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/530/1/012040.
- [19] K. Siregar, F. Ariani, R. M. Sari, I. Rizkya, and L. S. Simanjuntak, "Analysis of Production Obstacles in Assembling G Line Process Using FMEA Method (Failure Mode and Effect Analysis)," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 851, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/851/1/012007.
- [20] A. Bakhtiar, I. W. Nurwidanto, S. Hartini, and P. A. Wicaksono, "Process improvement design at PT URW using failure mode and effect analysis," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 896, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/896/1/012077.
- [21] H. Hasanah, "Teknik-teknik observasi (sebuah alternatif metode pengumpulan data kualitatif ilmu-ilmu sosial)," *At-taqaddum*, pp. 21–46, 2017.
- [22] M. Ali, "Data, Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian," *J. Cakrawala Kependidikan*, vol. 107, no. agustus, 2012.
- [23] E. Kusnadi, "Fishbone Diagram dan Langkah-langkah pembuatannya," *Diakses dari https://eriskusnadi.com/2011/12/24/fishbone-diagram-dan-langkah-langkah-pembuatannya*, 2019.