



Penerapan Metode DMAIC untuk Mengurangi Scrap pada Proses Cutting Fabrikasi Tangki

Eli Ermawati*, Humiras Hardi Purba, Erry Rimawan

Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Jl. Meruya Selatan No.1, Jakarta 11650, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Artikel Masuk: 27 Januari 2024

Artikel direvisi: 17 Juni 2025

Artikel diterima: 29 Juni 2025

Kata kunci

DMAIC
DPMO
DOE
Six Sigma
Scrap

Keywords

DMAIC
DPMO
DOE
Six Sigma
Scrap

ABSTRAK

Pertumbuhan sektor liquid telah membuka peluang bisnis yang signifikan dalam industri manufaktur, khususnya pada fabrikasi tangki. Hal ini menyebabkan peningkatan permintaan terhadap material plat baja, yang pada gilirannya menimbulkan permasalahan peningkatan jumlah scrap yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya scrap dalam proses cutting dan mencari solusi untuk meminimalkan scrap tersebut dengan menerapkan metode Six Sigma DMAIC (Define, Measure, Analysis, Improvement, dan Control), yang mengarah pada pemilihan strategi perencanaan yang lebih optimal. Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan Six Sigma, dan Design of Experiments (DoE) menghasilkan scrap paling sedikit didapat dengan kombinasi tebal plat 4 mm dimensi 1460 mm, menghasilkan scrap sebanyak 7,890 Kg. Hasil perbaikan terhadap faktor penyebab scrap pada proses cutting, perusahaan dapat mengurangi kerugian sebesar Rp.337.794.647 selama 6 bulan atau Rp.56.299.107/bulan menjadi Rp.263.262.544 atau Rp.43.877.090/bulan. Perusahaan dapat menghemat Rp. 12.422.017/ bulan. Hasil menunjukkan bahwa tingkat cacat (DPMO) masih tinggi (568) dengan nilai sigma σ 5,75 di bawah target dunia 6σ (3,4 DPMO). Faktor utama penyebab terjadinya scrap adalah dengan adanya kesalahan dimensi dan pemilihan ketebalan plat pada saat proses cutting maka dengan mengimplementasi Six Sigma DMAIC dan DoE dapat secara signifikan mengurangi scrap dan meningkatkan efisiensi operasional dalam industri manufaktur.

ABSTRACT

The growth of the liquid sector has opened up significant business opportunities in the manufacturing industry, particularly in tank manufacturing. It has led to an increase in demand for steel plate materials, which has caused problems with the increase in the amount of scrap produced. This study aims to identify the causes of scrap in the cutting process and find solutions to minimize scrap by applying the Six Sigma DMAIC method (Define, Measure, Analyze, Improvement, and Control), leading to the selection of more optimal planning strategies. The study shows that the Six Sigma approach, combined with Design of Experiments (DoE), results in the least amount of scrap when using a 4 mm thick plate with dimensions of 1460 mm, producing 7,890 kg of scrap. By addressing the factors causing scrap in the cutting process, the company can reduce losses by IDR 337,794,647 over six months or IDR 56,299,107 per month, reducing losses to IDR 263,262,544 or IDR 43,877,090 per month. The company can save Rp. 12,422,017 per month. The results show that the defect rate (DPMO) remains high (568) with a sigma value of σ 5.75, below the global target of 6σ (3.4 DPMO). The primary cause of scrap is dimensional errors and improper selection of plate thickness during the cutting process. By implementing Six Sigma DMAIC and DoE, scrap can be significantly reduced, and operational efficiency in the manufacturing industry can be improved.

Translated with DeepL.com (free version).

* Penulis Korespondensi

Eli Ermawati

E-mail: elieliermawati@gmail.com

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



© 2023. Some rights reserved

1. PENDAHULUAN

Perusahaan industri manufaktur telah mengetahui tentang besi dan baja telah lama menjadi pengetahuan umum, sehingga tidak heran jika material ini banyak digunakan dalam konstruksi. Besi dan baja memiliki peranan penting dalam berbagai Pembangunan infrastruktur salah satunya di bidang fabrikasi tangki. Pertumbuhan sektor *liquid* membuka peluang bisnis pada industri manufaktur di bidang fabrikasi tangki.

Material dalam pembuatan tangki pada umumnya berbahan dasar baja (Alida & Anjastara, 2021). Menurut IISIA (2020) prakiraan konsumsi baja nasional untuk lima tahun ke depan (tahun 2020-2024), dapat mencapai 22 juta ton di tahun 2024. Hal ini menyebabkan meningkatnya permintaan material plat baja pada Industri manufaktur bidang fabrikasi tangki, maka menimbulkan permasalahan dengan semakin meningkat *scrap* yang dihasilkan.



Gambar 1. Konsumsi baja dan *scrap* industri fabrikasi tangki di Tangerang

Penggunaan baja dan *scrap* pada industri Fabrikasi tangki di Tangerang terus meningkat dari tahun 2020 hingga 2022 (**Gambar 1**). Hal ini menunjukkan bahwa industri fabrikasi tangki di Tangerang terus berkembang. Perkembangan ini menyebabkan adanya *scrap* yang dihasilkan pada industri manufaktur di bidang fabrikasi tangki di Indonesia (**Gambar 2**).



Gambar 2. *Scrap* fabrikasi tangki di Indonesia

Proses produksi dalam mencapai tingkat kualitas yang baik. Ini bisa dilihat dari adanya produk dengan spesifikasinya di luar standar mutu yang telah ditetapkan. Kategori produk cacat yaitu *scratch defect* (cacat akibat proses pengiriman), *cutting defect* dan menandai cacat (**Juniarti et al., 2020**). Permasalahan yang sering terjadi pada kegiatan proses produksi yaitu meliputi sisa bahan baku (*scrap material*), produk rusak (*spoiled goods*) dan masalah produk cacat (*defective goods*). Sisa bahan baku (*scrap material*) pada proses produksi yang paling banyak terjadi dan menjadi masalah dari ketiga permasalahan tersebut, yang tidak dapat dihindari oleh perusahaan. Bahan baku yang mengalami kerusakan di dalam proses produksi adalah *scrap material* (**Tebae et al., 2016**).

Proses pembuatan produk diawali dengan kedatangan bahan baku berupa pelat baja yang selanjutnya dipotong (*cutting*) sesuai dengan dimensi yang akan digunakan pada tahap pembentukan (*roll*). Pada tahap pemotongan ini, ditemukan banyak limbah (*scrap*) yang dihasilkan. Beberapa permasalahan yang muncul antara lain disebabkan oleh kesalahan manusia (*human error*), kualitas bahan baku, gangguan pada mesin, dan faktor lainnya. Selama proses pemotongan, terjadi kesalahan dalam penentuan dimensi tangki dan aksesori sejak awal, tidak adanya pencatatan sisa pelat oleh tim pemotongan, serta kesalahan dalam perhitungan dimensi pelat yang akan diproduksi.

Penelitian ini difokuskan pada pengambilan data di

departemen pemotongan (*cutting*) karena proses pemotongan menghasilkan limbah (*scrap*) paling banyak dibandingkan dengan departemen lainnya dalam industri manufaktur fabrikasi tangki. Kondisi ini menyebabkan banyaknya material pelat yang terbuang tanpa dimanfaatkan, sehingga diperlukan perhatian khusus untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan (**Tabel 1**).

Tabel 1. Hasil *scrap* proses *cutting*

Hasil Scrap	Fabrikasi (Kg)	Scrap %
Dimensi tangki tidak Akurat	962091	4,90
Data stok Plat tidak Sesuai	477955	6,95
Salah Perhitungan Kebutuhan Plat	343377	1,25

Limbah material dalam bentuk potongan (*scrap*) merupakan bentuk pemborosan yang signifikan, mengingat harga utama material mencapai Rp15.400,00 per kilogram, sedangkan nilai jual limbah hanya Rp8.000,00 per kilogram. Akibatnya, perusahaan mengalami kerugian sebesar Rp337.794.647,00 selama periode November 2022 hingga April 2023. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian limbah material guna mengurangi kerugian yang terjadi serta meningkatkan daya saing perusahaan.

Metode Six Sigma merupakan suatu pendekatan yang sistematis dan efisien dalam upaya meningkatkan mutu serta efisiensi proses. Metode ini berperan dalam meminimalkan jumlah kecacatan secara keseluruhan dan mengidentifikasi faktor penyebab cacat yang paling dominan (**Saputro & Wahyuni, 2023**). Six Sigma merupakan metodologi yang terstruktur dan sistematis yang digunakan untuk meningkatkan mutu serta efisiensi suatu proses (**Amaningsi et al., 2018**) yang berfokus pada pengurangan variasi dalam proses serta penurunan tingkat kecacatan. Strategi bisnis melalui pendekatan Six Sigma bertujuan untuk menghilangkan akar penyebab kegagalan atau cacat dalam proses bisnis, dengan tetap berorientasi pada kepuasan dan kebutuhan pelanggan (**Sánchez-Rebull et al., 2020**). Six Sigma mengacu pada target kinerja operasional yang diukur secara statistik, yaitu hanya terdapat 3,4 cacat (*defect*) dalam setiap satu juta peluang atau aktivitas (**Pyzdek & Keller, 2014**). Penerapan metode Six Sigma dengan perencanaan yang optimal bertujuan untuk meningkatkan efisiensi waktu henti operasional (**Purba, 2016**).

Tahap *Improvement* merupakan salah satu dari lima tahap dalam metodologi DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improvement, Control*), memegang peranan kunci dalam proses perbaikan berkelanjutan dengan fokus pada peningkatan efisiensi, efektivitas, dan kualitas. ada tahap ini, seluruh data yang telah dikumpulkan pada tahap sebelumnya digabungkan untuk merumuskan solusi yang dapat diimplementasikan. Jika tahap *Define, Measure*, dan *Analyze* berfokus pada identifikasi serta analisis permasalahan, maka tahap *improvement* diarahkan pada penciptaan solusi yang efektif dan pelaksanaan perbaikan yang terukur. Tahap *improvement* mencakup pengujian hipotesis, perancangan serta penerapan rencana aksi, dan evaluasi hasil guna memastikan bahwa perubahan yang dilakukan memberikan manfaat sesuai harapan dan dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Produk cacat merupakan kerugian sekaligus masalah besar bagi perusahaan. Namun, produk cacat juga dapat dikelola dan dimanfaatkan secara optimal oleh perusahaan. Dengan menerapkan metode *Design of Experiments* (DoE), perusahaan dapat menambah nilai tambah serta mengidentifikasi faktor determinan dalam upaya pengurangan produk cacat secara optimal. Pengujian menggunakan DoE pada produk cacat memberikan nilai tambah dan memungkinkan pemanfaatan kembali produk tersebut (Supriyadi, 2023). Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya scrap dalam proses pemotongan serta merumuskan solusi guna meminimalkan scrap melalui penerapan metode Six Sigma DMAIC. Pendekatan ini diarahkan pada pemilihan strategi perencanaan yang lebih optimal. Peneliti berharap bahwa penerapan metode Six Sigma DMAIC dan DoE dapat secara signifikan mengurangi jumlah scrap dan meningkatkan efisiensi operasional di industri manufaktur, khususnya dalam bidang fabrikasi tangki.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Six Sigma dengan pendekatan *tools* DMAIC yang bertujuan untuk mengidentifikasi faktor utama penyebab scrap serta melakukan perbaikan untuk menguranginya. Analisis dilakukan berdasarkan data hasil fabrikasi, kejadian scrap, serta wawancara dan observasi selama penelitian. Metode ini diterapkan oleh perusahaan dalam upaya pengendalian mutu produk dengan menekan jumlah cacat (*defect*) seminimal mungkin. Six Sigma berfokus pada identifikasi cacat dan variasi dalam proses, dimulai dari penentuan unsur-unsur yang bersifat kritis terhadap kualitas (*critical to quality*), hingga perumusan usulan perbaikan terhadap cacat yang ditemukan (Erdil et al., 2018). DMAIC merupakan kerangka kerja yang terdiri atas lima tahap, yaitu Menentukan (*Define*), Mengukur (*Measure*), Menganalisis (*Analyze*), Meningkatkan (*Improvement*), dan Mengendalikan (*Control*), (Patyal et al., 2021). Penerapan DMAIC, sebagai salah satu metode peningkatan kualitas dalam pendekatan Six Sigma, dapat meningkatkan efektivitas serta memberikan respons yang tepat terhadap permasalahan yang timbul (Smętkowska & Mrugańska, 2018).

2.1. Define

Tahap *Define* merupakan tahap yang krusial dalam metode Six Sigma. Pada tahap ini dilakukan penentuan kelayakan proyek Six Sigma serta sejauh mana proyek tersebut dapat memberikan manfaat bagi organisasi atau perusahaan (Bahauddin & Arya, 2020). Tahap *define* bertujuan mengidentifikasi dan menetapkan pokok permasalahan, ruang lingkup proses, serta tujuan penelitian. Tahap ini mencakup identifikasi kebutuhan pelanggan guna mengetahui inti masalah yang akan diteliti, serta mendeskripsikan aktivitas yang berkaitan dengan proses dan inspeksi produk untuk menentukan *Critical to Quality* (CTQ) yang berfokus pada kepuasan pelanggan (Hartoyo et al., 2013).

2.2. Measure

Tahap *Measure* bertujuan untuk memahami kondisi proses saat ini, termasuk bagaimana proses

tersebut diukur serta menetapkan garis dasar kinerja. Tahap ini menjadi dasar dalam siklus peningkatan yang berorientasi pada data dan digunakan sebagai acuan untuk perbaikan berkelanjutan (Purba, 2016). Tahap *Measure* bertujuan untuk mengetahui kondisi aktual dari proses yang akan ditingkatkan kualitasnya, sehingga dapat diperoleh data awal sebagai dasar untuk melakukan analisis dan perbaikan secara terukur (Putri, 2022).

2.2.1. Gauge R&R

Perhitungan nilai *Sigma Performance* dilakukan dengan terlebih dahulu memastikan apakah sistem pengukuran yang digunakan telah memenuhi kriteria kelayakan, yaitu apakah sistem tersebut dapat diterima (*acceptable*) atau tidak dapat diterima (*unacceptable*). Validitas sistem pengukuran sangat penting agar data yang dihasilkan akurat dan dapat dijadikan dasar dalam proses analisis dan perbaikan.

$$\text{Gauge R\&R} = \left[\frac{\sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (IV)^2}}{USL - LSL} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Nilai varians dari hasil pengukuran yang dibagi dengan total varians keseluruhan, kemudian dikalikan dengan 100%, disebut sebagai persentase kontribusi variasi (*percentage contribution variation*). Nilai ini digunakan untuk menunjukkan seberapa besar kontribusi sistem pengukuran terhadap keseluruhan variasi dalam proses, yang menjadi indikator apakah sistem pengukuran tersebut layak digunakan.

2.2.2. Analysis Process Capability

Perhitungan dilakukan dengan membandingkan antara spesifikasi desain dan output produk dikenal sebagai kemampuan proses (*process capability*). Kemampuan proses merupakan serangkaian metode statistik yang dirancang untuk memperkirakan dan mengevaluasi sejauh mana proses manufaktur maupun jasa dapat memenuhi batas spesifikasi atau persyaratan tertentu. Untuk menggambarkan dan membandingkan kemampuan suatu proses terhadap batas spesifikasi, digunakan formula tertentu. Dua indeks yang paling umum dan sering digunakan dalam analisis ini adalah Cp dan Cpk, yang berfungsi sebagai indikator konsistensi dan ketepatan proses dalam menghasilkan produk sesuai spesifikasi.

$$Cp = \frac{\text{Spesifikasi Width}}{\text{Process Capability}} = \frac{\text{Upper Spec} - \text{Lower Spec}}{6\sigma} \quad (2)$$

$$Cpk = \frac{\text{Upper Spec} - \text{Average}}{6\sigma} \text{ atau } \frac{\text{Lower Spec} - \text{Average}}{6\sigma} \quad (3)$$

2.3. Analyze

Tujuan dari tahap *Analyze* adalah untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah melalui analisis data. Analisis ini dilakukan dengan memanfaatkan pendekatan statistik, termasuk pengujian statistik, untuk mengidentifikasi penyebab utama serta menemukan faktor-faktor potensial yang berperan sebagai faktor vital. Pengujian statistik digunakan untuk menentukan faktor potensial yang benar-benar menjadi faktor utama, dengan merujuk pada daftar variabel X yang merupakan akar dari permasalahan. Dalam hal ini, digunakan model $Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ dengan menerapkan alat bantu berupa protokol uji hipotesis (*hypothesis testing protocol*).

Pengujian hipotesis: ($H_0: -1 \leq -2$, $H_1: -1 > -2$)

2.4. Improvement

Tahap ini bertujuan untuk mengembangkan, memilih, dan menerapkan solusi terbaik melalui langkah-langkah konkret yang didasarkan pada hasil analisis sebelumnya. Salah satu alat yang digunakan dalam tahap ini adalah DoE, yaitu suatu pendekatan sistematis dalam melakukan percobaan untuk menentukan kondisi optimal dari suatu proses produksi, dengan tujuan meminimalkan tingkat cacat (*defect*) secara efektif. DoE adalah teknik yang sistematis dan dapat diikuti untuk mencari solusi pada masalah proses industri dengan objektivitas yang lebih besar dengan teknik eksperimental dan statistik (Budi et al., 2018). DoE merupakan suatu metode sistematis dalam merancang percobaan yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang relevan terkait permasalahan berdasarkan data penelitian. Dalam penelitian ini, percobaan dilakukan dengan menggunakan desain faktorial, khususnya 23 factorial design, dimana peneliti menguji tiga faktor untuk menyusun desain eksperimen yang berkaitan dengan *Wireless Power Transfer*. Beberapa variabel penting yang perlu diperhatikan dalam desain eksperimen ini meliputi perbandingan jumlah lilitan pada transmitter dan receiver, diameter kumparan (coil), serta jenis kumparan yang digunakan pada transmitter dan receiver (Winarso & Alfari, 2016).

2.5. Control

Control merupakan tahapan *Six Sigma* terakhir dalam perbaikan pengendalian kualitas. Tahap ini bertujuan untuk mengendalikan perbaikan-perbaikan yang telah dibuat pada tahap *Improvement*. Selain itu, mengontrolnya agar masalah yang sama tidak terulang kembali dengan menggunakan X-Bar.

$$\bar{x} = (\sum x_i) / n \quad (4)$$

dimana, \bar{x} : rata-rata sampel; x_i : semua nilai x ; n : jumlah item dalam sampel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemotongan menggunakan metode oxy-fuel welding memiliki kemiripan dengan proses pengelasan, karena keduanya melibatkan penggunaan panas tinggi dari pembakaran gas dalam pengerjaannya (Ramakrishna et al., 2018). Proses pemotongan pelat (*cutting plate*) merupakan teknik pemisahan logam yang menggunakan campuran gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) dan oksigen sebagai sumber panas. Umumnya, komposisi LPG yang digunakan terdiri dari 80% propana dan 20% isobutana.



Gambar 3. Alur proses *cutting*

Alur proses pemotongan (*cutting*) plat baja lembaran yang merupakan salah satu tahapan krusial dan paling sering dilakukan dalam proses fabrikasi

tangki (Gambar 3). Tahap pemotongan ini juga menjadi sumber utama terbentuknya material sisa atau scrap, sehingga diperlukan perencanaan pemotongan yang baik (*cutting plan*) untuk menghasilkan nesting atau pengelolaan scrap secara efisien, khususnya saat menangani material plat baja. Kualitas hasil pemotongan sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti kecepatan dan tekanan pemotongan, ketajaman hasil potongan, serta keterampilan operator dalam mengoperasikan alat pemotong.

Cutting sendiri dapat dilakukan dengan menggunakan gunting (*scissors*), mesin *cropping*, gergaji (*sawing*) atau menggunakan api (*flame cutting*). Seiring dengan perkembangan teknologi, pemotongan profil dapat dilakukan dengan mesin CNC yang merupakan mesin dengan program otomatis pembacaan NC Files yang merupakan *output* dari program pemodelan tiga dimensi atau BIM (*Building Information Modelling*).

Pemotongan secara manual memiliki sejumlah kelemahan, antara lain ketidakakuratan dalam menentukan dimensi, inkonsistensi hasil, kecepatan kerja yang lambat, kesulitan dalam memproses bentuk yang kompleks, serta potensi risiko terhadap keselamatan kerja. Untuk menghasilkan produk dengan dimensi yang presisi terhadap benda kerja, diperlukan metode yang lebih andal. Berdasarkan hasil rekapitulasi data scrap yang dihasilkan pada departemen pemotongan pelat, tercatat sebanyak 42.224,3309 kg selama periode November 2022 hingga April 2023. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan metode Six Sigma dengan pendekatan DMAIC, dan ditingkatkan melalui analisis DoE.

3.1. Define

Cutting plat manual mengandalkan tenaga manusia dan alat-alat tangan untuk memotong material, sedangkan *cutting* plat otomatis menggunakan mesin yang dikendalikan oleh komputer untuk melakukan pemotongan dengan presisi tinggi. Proses pemotongan plat baja menggunakan mesin dan pemotongan manual oleh operator memiliki perbedaan yang signifikan dalam beberapa aspek (Tabel 2).

Meskipun memiliki kekurangan dibandingkan dengan metode *cutting* plat otomatis, *cutting* plat manual memiliki beberapa keuntungan yang membuatnya dianggap sebagai upaya mengurangi scrap dalam situasi tertentu:

1. Fleksibilitas dalam menangani material: Untuk material yang tidak rata, berkarat, atau memiliki bentuk yang tidak standar, *cutting* plat manual seringkali lebih mudah dan efisien.
2. Minimnya limbah untuk potongan kecil: Untuk potongan kecil atau bentuk sederhana, *cutting* plat manual dapat meminimalkan jumlah material yang terbuang sebagai scrap dibandingkan dengan metode otomatis yang mungkin memiliki toleransi minimum tertentu.
3. Biaya operasional yang lebih rendah untuk volume produksi kecil: Untuk produksi dalam skala kecil, biaya investasi untuk mesin *cutting* otomatis mungkin tidak sebanding dengan keuntungan yang didapat.
4. Tidak memerlukan listrik: *Cutting* plat manual dapat dilakukan di lokasi yang tidak memiliki akses listrik.

(Ummah & Dahda, 2022)

Tabel 2. Perbandingan *cutting* plat (CNC) dengan *cutting* plat manual

Fitur	Cutting Plat (CNC)	Cutting Plat Manual
Presisi	Potongan lebih presisi, akurat, dan minim cacat.	Potongan kurang presisi, lebih rentan eror dan menghasilkan lebih banyak scrap.
Kecepatan	Sangat cepat, terutama untuk volume produksi besar	Lambat, memerlukan waktu yang lebih lama
Fleksibilitas	Fleksibel, dapat memotong berbagai bentuk kompleks	Kurang fleksibel, terbatas pada bentuk sederhana
Biaya	Investasi awal tinggi (mesin), biaya operasional lebih rendah.	Investasi awal rendah (alat manual), biaya operasional lebih Tinggi

Faktor yang menyebabkan scrap dalam proses *cutting* diantaranya :

1. Kesalahan pembentukan pola dimensi, yang disebabkan ketidakmampuan operator untuk membaca dan memahami gambar teknik dengan benar.
2. Kesalahan dalam handling plat selama proses pemotongan.
3. Ketelitian Operator dalam proses pemotongan yang tidak lurus atau memiliki bentuk yang tidak sesuai dengan yang diinginkan.
4. Torch yang rusak atau aus dapat menyebabkan kebocoran gas atau ketidakstabilan nyala api..
5. Kualitas permukaan plat yang buruk dapat menyebabkan ketidakakuratan dalam pengukuran dimensi.

Sebagian besar scrap masih memiliki nilai, terutama jika bisa didaur ulang atau didaur ulang kembali. Namun, proses penjualan atau pengolahan ulang dapat membutuhkan biaya tambahan, dan scrap mungkin tidak akan mendapatkan harga yang sama dengan plat baru. Oleh karena itu, mengurangi produksi scrap menjadi prioritas untuk meminimalkan kerugian. Menghitung kerugian bukan hanya dari berat scrap, tetapi juga dari biaya tambahan yang terkait dengan pengolahan atau pembuangan scrap dapat membantu meminimalkan kerugian secara keseluruhan bagi perusahaan.

Pengurangan scrap dalam proses pemotongan pelat secara manual dapat dilakukan secara bertahap dan berkesinambungan. Melalui penerapan metode yang tepat, upaya meminimalkan kesalahan dimensi memerlukan pendekatan yang terintegrasi, seperti peningkatan keterampilan operator, pemeliharaan kondisi mesin pemotong, pemilihan material pelat yang berkualitas, serta penciptaan lingkungan kerja yang mendukung. Dengan strategi tersebut, perusahaan dapat menurunkan jumlah scrap, meningkatkan mutu

produk, efisiensi proses produksi, serta mendorong peningkatan keuntungan perusahaan.

3.2. Measure

Pemahaman yang baik tentang dimensi yang benar serta penentuan ketebalan plat sangat penting dalam proses pemotongan manual. Salah pengukuran atau ketidakcocokan antara dimensi yang diinginkan dan dimensi yang dipotong dapat menyebabkan peningkatan jumlah scrap. Oleh karena itu, diperlukan pengukuran berdasarkan parameter-parameter dalam proses pemotongan pelat secara manual untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya scrap, seperti penyimpangan bentuk, kesalahan dalam menentukan ukuran dimensi, ketidaktepatan dalam memilih ketebalan pelat, kualitas permukaan yang buruk, atau kerusakan material. Jika scrap terjadi akibat kesalahan dimensi atau penentuan ketebalan pelat, maka dapat ditelusuri penyebab utamanya, termasuk kemungkinan perlunya peningkatan kemampuan operator dalam membaca dan memahami gambar teknik secara tepat, misalnya melalui pelatihan dan program pengembangan lainnya. Berdasarkan data pada tabel, terlihat bahwa seluruh operator menghasilkan scrap dengan rata-rata yang serupa dan konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa variasi hasil pemotongan antaroperator relatif kecil, yang mengindikasikan bahwa pelatihan serta pemahaman terhadap proses pemotongan telah diterapkan secara merata dan efektif kepada seluruh operator.

Meskipun hasil rata-rata scrap mungkin sama, masih mungkin ada variasi dalam jumlah scrap yang dihasilkan oleh setiap operator dari waktu ke waktu. Hasil pengambilan data menunjukkan tingkat *scrap* yang dihasilkan masih tinggi (*Gambar 4* dan *Tabel 3*).

**Gambar 4.** Scrap sisa *cutting* plat

Penelitian mengambil data 2 kali sehari yaitu pada saat proses *cutting* lembaran baja yang sudah dibuatkan dimensinya oleh *team drafter*. Dikarenakan beberapa faktor diantaranya :

1. Ketidakmampuan operator: Jika operator tidak terlatih dengan baik atau tidak memahami dengan baik proses pemotongan, mereka mungkin membuat kesalahan yang menyebabkan lebih banyak scrap. Ini bisa termasuk kesalahan dalam pengukuran, penanganan plat, atau teknik pemotongan yang tidak tepat.
2. Kondisi Peralatan: Peralatan yang tua, tumpul, atau tidak terawat dengan baik dapat menghasilkan potongan yang tidak tepat atau cacat, meningkatkan jumlah scrap.
3. Ketidaksesuaian Dimensi: Jika dimensi plat baja tidak sesuai dengan yang diinginkan atau terjadi variasi dalam ketebalan plat, ini dapat menyebabkan kesulitan dalam pemotongan yang akurat dan meningkatkan jumlah scrap.
4. Kualitas Gambar Teknik: Jika gambar teknik yang diberikan tidak jelas atau tidak akurat, operator

mungkin kesulitan untuk memahami spesifikasi pemotongan yang diinginkan, yang dapat menghasilkan lebih banyak scrap

Tabel 3. Tingkat scrap

Part No.	Operator 1		Operator 2		Operator 3	
	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
1	8,22	8,33	8,32	8,32	8,32	8,31
2	8,34	8,35	8,34	8,37	8,38	8,34
3	8,42	8,42	8,42	8,42	8,42	8,42
4	8,43	8,41	8,42	8,41	8,41	8,41
5	8,53	8,54	8,54	8,55	8,54	8,55
6	8,41	8,42	8,43	8,42	8,42	8,41
7	8,52	8,52	8,51	8,51	8,52	8,51
8	8,55	8,54	8,55	8,55	8,54	8,54
9	8,54	8,53	8,54	8,54	8,55	8,54
10	8,45	8,44	8,45	8,44	8,45	8,43
11	8,43	8,41	8,42	8,41	8,41	8,41
12	8,53	8,54	8,54	8,55	8,54	8,55
13	8,52	8,52	8,51	8,51	8,52	8,51
14	8,55	8,54	8,55	8,55	8,54	8,54
15	8,32	8,33	8,32	8,32	8,32	8,31
16	8,34	8,35	8,34	8,37	8,38	8,34
17	8,54	8,53	8,54	8,54	8,55	8,54
18	8,45	8,44	8,45	8,44	8,45	8,43
19	8,42	8,42	8,42	8,42	8,42	8,42
20	8,43	8,41	8,42	8,41	8,41	8,41

Tahap Measure dilakukan dengan mengklarifikasi nilai dasar Y (*baseline*) melalui pengukuran proses saat ini (*Current Process Capability*). Dalam tahap ini, diperlukan validasi untuk memastikan kejelasan sistem pengukuran, sehingga arah dan sasaran perbaikan (*Improvement*) dapat ditetapkan secara tepat. Validasi tersebut dilakukan menggunakan metode *Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R)*.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rata-rata scrap yang dihasilkan oleh operator selama proses pemotongan pelat berdasarkan data pengukuran langsung di lapangan (*Gambar 5*). Nilai kontribusi total *Gage R&R* pada kolom study variation tercatat sebesar 10,63%, dengan study variation tolerance sebesar 16,86%, serta nilai *Number of Distinct Categories (NDC)* sebesar 13. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pengukuran yang digunakan berada dalam kategori dapat diterima, sehingga proses analisis dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0084324	0,050594	10,63	16,86
Repeatability	0,0084324	0,050594	10,63	16,86
Reproducibility	0,0000000	0,0000000	0,00	0,00
Operator	0,0000000	0,0000000	0,00	0,00
Part-To-Part	0,0789123	0,473474	99,43	157,82
Total Variation	0,0793616	0,476169	100,00	158,72

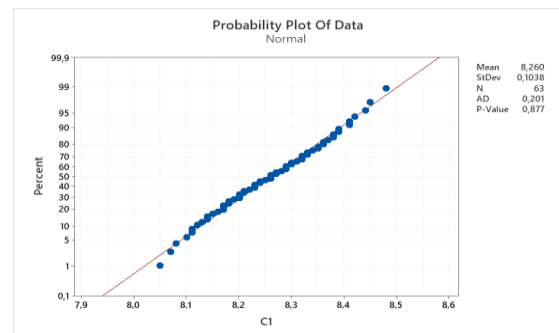
Number of Distinct Categories = 13

Gambar 5. Gauge R&R

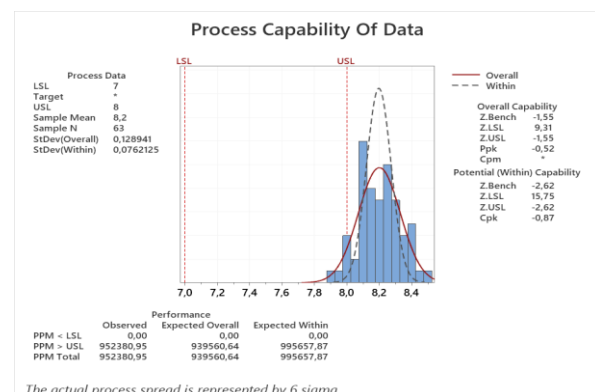
Untuk menentukan arah perbaikan (*Improvement*) diperlukan pengambilan data saat ini (*Tabel 4*) pada block diagram untuk menghitung Z_{-LT} , Z_{-ST} , dan Z_{-Shift} pada proses control vs technical control. *Probability plot* dari data yang menunjukkan nilai P-Value sebesar 0,877 (*Gambar 6*). Nilai ini dinyatakan dapat diterima karena memenuhi kriteria $P > 0,05$. Data tersebut diperoleh dari 63 sampel scrap yang dihasilkan oleh masing-masing operator selama proses pemotongan pelat saat ini (*current process*), dengan nilai rata-rata (*mean*) sebesar 8,260 dan standar deviasi (*standard deviation*) sebesar 0,1038.

Tabel 4. Pengambilan data scrap (*current*)

Part No.	Operator 1		Operator 2		Operator 3	
	1 st	2 nd	1 st	2 nd	1 st	2 nd
1	8,11	8,12	8,05	8,07	8,17	8,18
2	8,14	8,15	8,08	8,1	8,2	8,21
3	8,17	8,18	8,11	8,13	8,23	8,24
4	8,2	8,21	8,14	8,16	8,26	8,27
5	8,23	8,24	8,17	8,19	8,29	8,3
6	8,26	8,27	8,2	8,22	8,32	8,33
7	8,29	8,3	8,23	8,25	8,35	8,36
8	8,32	8,33	8,26	8,28	8,38	8,39
9	8,35	8,36	8,29	8,31	8,41	8,42
10	8,38	8,39	8,32	8,34	8,44	8,45
11	8,41			8,37		8,48



Gambar 6. Probability plot of data



Gambar 7. Process capability before improvement (*Z.Bench Lt*)

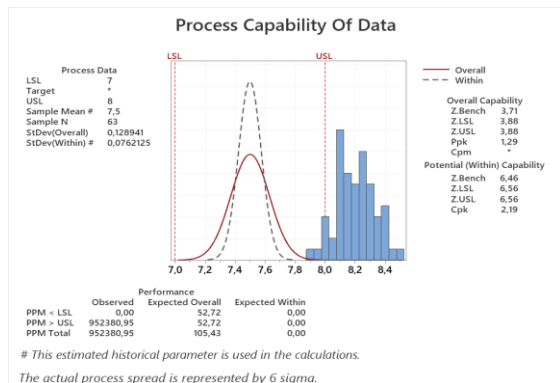
Hasil analisis juga menunjukkan bahwa nilai Z_{-ST} dan Z_{-Shift} masing-masing adalah 2,32 dan 8,221.

Angka-angka ini mengindikasikan adanya keterbatasan dalam pengetahuan dan pelatihan operator, khususnya dalam kemampuan membaca dan memahami gambar teknik secara tepat, yang berdampak pada terjadinya penyimpangan ukuran selama proses pemotongan. Tahapan perbaikan proses (**Gambar 7**) yang menampilkan Batas toleransi terkait hasil *scrap* yang dihasilkan oleh operator dilihat dari nilai *Process Capability* nilai *Z.Bench Lt* = -2,62, data diambil dari 63 sampel memiliki *Lower Specification Limit (LSL)* 7 dan *Upper Specification Limit (USL)* 8.

Bukti bahwa banyaknya *scrap* yang dihasilkan disebabkan oleh kesalahan operator adalah kurangnya pengetahuan dan pelatihan operator dalam membaca dan memahami gambar dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Contoh kesalahan cutting tidak sesuai dimensi



Gambar 9. *Process capability before improvement*

Gambar 9 menunjukkan dasar perhitungan yang menghasilkan nilai sigma sebesar 6,46, yang dijadikan sebagai standar untuk mengurangi jumlah *scrap*. Nilai *Process Capability* atau *Z.Bench St* tercatat sebesar 6,46, berdasarkan data dari 63 sampel dengan batas spesifikasi bawah (*Lower Specification Limit/LSL*) sebesar 7 dan batas spesifikasi atas (*Upper Specification Limit/USL*) sebesar 8. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *Z-ST* adalah 6,46, dan nilai *Z-Shift* dihitung dari 6,46 dikurangi -2,62, sehingga diperoleh *Z-Shift* sebesar 9,08. Nilai ini mengindikasikan masih terdapat kekurangan dalam pengendalian proses serta kurangnya pemahaman teknis operator dalam membaca dan menafsirkan gambar teknik dengan tepat.

3.3. Analyze

Setelah diidentifikasi penyebab utama terjadinya

scrap material yang perlu diprioritaskan untuk diselesaikan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis lebih lanjut. Perlu dicatat bahwa keterampilan operator merupakan salah satu faktor potensial yang berpengaruh signifikan. Selain itu, ketebalan pelat juga berdampak terhadap peningkatan jumlah *scrap*, bahkan saat proses pemotongan dilakukan menggunakan sistem otomatis seperti CNC.

Langkah-langkah dalam menemukan solusi atas permasalahan ini dilakukan dengan mengidentifikasi faktor-faktor *F(X)* yang mempengaruhi output (*Y*), diantaranya keterampilan operator, ketebalan pelat, dimensi tangki, serta cara penanganan pelat sebelum dipotong. Untuk menentukan faktor potensial yang benar-benar berperan sebagai faktor utama, dilakukan pengujian statistik guna membedakan antara faktor potensial dan faktor yang benar-benar vital (**Tabel 5**). *X1* : Tebal Plat Vs *Skill Operator*.

Tabel 5. Hasil pengukuran *tebal plat vs skill operator*

Operator	Scrap	Ketebalan Plat	
		4	6
Op 1_1	Kg	8,24	8,39
Op 1_2	Kg	8,21	8,36
Op 2_1	Kg	8,24	8,33
Op 2_2	Kg	8,18	8,33
Op 3_1	Kg	8,24	8,3
Op 3_2	Kg	8,15	8,3

Ketebalan plat memang menjadi salah satu faktor signifikan yang dapat meningkatkan jumlah *scrap*, bahkan dalam proses pemotongan otomatis seperti CNC. Variasi ketebalan plat dapat menyebabkan kesulitan dalam mengatur parameter pemotongan yang optimal, sehingga berpotensi menghasilkan potongan yang tidak sesuai spesifikasi. sangat sulit untuk mengatakan bahwa ada faktor yang benar-benar "tidak mempengaruhi" *scrap* dalam proses pemotongan manual maupun otomatis.

Hipotesis:

Ho : Tebal Plat tidak mempengaruhi *Skill Operator*

H1 : Tebal Plat mempengaruhi *Skill Operator*.

Nilai *T-Value* -8,50 dan nilai *P-Value* 0,000 dimana nilai *P-Value* <0.05 "Ho Ditolak" dengan derajat kepercayaan 95% maka ketebalan plat menjadi vital factor *scrap* yang dihasilkan (**Gambar 10**).

Method

μ_1 : population mean of 4

μ_2 : population mean of 6

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
4	6	8,1700	0,0490	0,020
6	6	8,3717	0,0313	0,013

Estimation for Difference

95% CI for Difference	
Difference	-0,2017 (-0,2564; -0,1470)

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$
T-Value	-8,50
DF	8
P-Value	0,000

Gambar 10. Pengaruh tebal plat terhadap skill operator

Peningkatan *scrap* linier seiring dengan penam-

bahan ketebalan plat adalah fenomena yang sering ditemui dalam proses pemotongan, terutama pada pemotongan manual. Fenomena ini cukup kompleks dan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Seperti skill operator dalam pengaturan parameter pemotongan seperti tekanan gas dan pemilihan nozzle (Tabel 6).

X2 : Dimensi Vs Skill Operator.

Tabel 6. Hasil pengukuran dimensi plat 1450 mm dan 1460 mm dan skill operator

Operator	Scrap	Dimensi Plat	
		1450	1460
Op 1_1	Kg	8,21	8,34
Op 1_2	Kg	8,19	8,37
Op 2_1	Kg	8,25	8,4
Op 2_2	Kg	8,25	8,43
Op 3_1	Kg	8,28	8,31
Op 3_2	Kg	8,31	8,4

Hipotesis:

Ho : Dimensi plat tidak mempengaruhi Skill Operator

H1 : Dimensi plat mempengaruhi Skill Operator.

Method

μ_1 : population mean of 1450

μ_2 : population mean of 1460

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1450	6	8,2483	0,0440	0,018
1460	6	8,3750	0,0442	0,018

Estimation for Difference

95% CI for Difference	
Difference	-0,1267 (-0,1842; -0,0691)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
-4,98	9	0,001

Gambar 11. Pengaruh dimensi plat terhadap skill operator

Nilai T-Value sebesar -4,98 dan P-Value sebesar 0,001 (Gambar 11). Karena P-Value < 0,05, maka hipotesis nol (H_0) ditolak dengan tingkat kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa, selain ketebalan pelat, dimensi juga terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan jumlah scrap yang dihasilkan dalam proses pemotongan.

Dimensi plat, selain ketebalan, juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan scrap dalam proses pemotongan manual. Semakin besar dimensi plat, semakin tinggi potensi terjadinya scrap. Seperti kesulitan dalam handling, variasi suhu dan pengaturan torch (Tabel 7).

X3 : Jenis Mesin Cutting Vs Skill Operator.

Mesin pemotong yang digunakan adalah merek Morris. Proses pemotongan pelat logam dilakukan dengan metode yang memanfaatkan campuran antara gas LPG (Liquefied Petroleum Gas) dan oksigen. Komposisi LPG yang umum digunakan terdiri dari 80% propana dan 20% isobutana. Jenis mesin cutting, seperti plasma cutting, laser cutting, atau waterjet cutting, tidak secara langsung mempengaruhi scrap. Setiap jenis mesin memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri, pemilihan mesin yang tepat

tergantung pada jenis material, ketebalan material, dan presisi yang dibutuhkan. memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing dalam menghasilkan potongan yang akurat dan mengurangi scrap. Selain itu, kondisi pemotongannya, seperti kecepatan pemotongan, tekanan, atau jenis alat potong yang digunakan, juga dapat memengaruhi jumlah dan jenis scrap yang dihasilkan.

Hipotesis:

Ho : Jenis Mesin Cutting tidak mempengaruhi Skill

Operator

H1 : Jenis Mesin Cutting mempengaruhi Skill Operator.

Tabel 7. Hasil pengukuran jenis mesin cutting plasma dengan skill operator

Mesin Cutting	Scrap	Jenis Mesin Cutting	
		A	B
MC_1	Kg	8	7,9
MC_2	Kg	8	7,7
MC_3	Kg	7,9	7,65
MC_4	Kg	7,95	8,25
MC_5	Kg	7,85	8,2
MC_6	Kg	7,8	8,15

Jenis mesin cutting yang digunakan adalah plasma cutting. Dimana kelemahan Plasma cutting cenderung memiliki toleransi yang lebih rendah terhadap ketebalan material dibandingkan dengan laser cutting. Ini bisa menjadi masalah jika perusahaan membutuhkan pemotongan yang sangat tepat untuk material dengan ketebalan yang sangat tipis, kualitas tepi potongan mungkin memiliki burrs atau dross, terutama pada material yang lebih tebal. Ini memerlukan langkah tambahan seperti finishing atau grinding untuk menghasilkan tepi yang halus.

Method

μ_1 : population mean of A

μ_2 : population mean of B

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
A	6	7,9167	0,0816	0,033
B	6	7,975	0,262	0,11

Estimation for Difference

95% CI for Difference	
Difference	-0,058 (-0,347; 0,230)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
-0,52	5	0,625

Gambar 12. Jenis mesin cutting tidak mempengaruhi skill operator

Hasil perhitungan menunjukkan nilai T-Value sebesar -0,52 dan P-Value sebesar 0,625 (Gambar 12). Karena P-Value > 0,05, maka hipotesis nol (H_0) diterima dengan tingkat kepercayaan 95%. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis mesin pemotong bukan merupakan vital factor yang mempengaruhi jumlah scrap yang

dihasilkan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jenis mesin cutting tidak secara langsung menjadi penyebab utama terbentuknya scrap. Untuk mengurangi jumlah scrap, diperlukan penerapan teknik pemotongan yang tepat serta keterampilan operator yang terlatih

3.4. Improvement

Setelah akar penyebab dari terjadinya scrap material diidentifikasi, langkah berikutnya adalah merumuskan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Perbaikan dilakukan dengan metode DoE guna meminimalkan jumlah scrap. Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, diketahui bahwa faktor-faktor utama yang berpengaruh (vital factors) adalah ketebalan pelat dan dimensi pelat.

Pada tahap *Improvement* dilakukan pengoptimalan terhadap faktor-faktor tersebut dengan menggunakan pendekatan DoE. Tujuannya adalah untuk menemukan kombinasi terbaik antara ketebalan pelat dan kecepatan pemotongan yang paling berpengaruh terhadap peningkatan scrap. Proses ini dilakukan dengan menganalisis data sebagai berikut:

1. Melakukan eksperimen dengan tebal plat 4 dan 6 dengan dimensi 1450 mm dan 1460 mm dengan beberapa kali percobaan.
2. Menentukan pengaruh *individual* dan interaksi antara faktor terhadap *scrap*.
3. Membangun model statistik untuk memprediksi hasil *scrap*.
4. Menemukan kombinasi tebal plat dan dimensi tangki yang menghasilkan *scrap* paling sedikit.

Faktor ketebalan plat dan dimensi merupakan penyebab yang signifikan dari produksi *scrap* dalam proses pemotongan. Ketebalan plat memengaruhi pemotongan karena mempengaruhi kekuatan material dan berat pemotongan. Dimensi yang tidak tepat atau variasi dalam dimensi plat juga dapat menyebabkan kesulitan dalam pemotongan yang akurat.

Ketebalan plat yang tidak konsisten atau tidak sesuai dengan yang diinginkan dapat menghasilkan pemotongan yang tidak tepat atau gagal, yang berpotensi meningkatkan jumlah scrap yang dihasilkan. Variasi dalam dimensi plat, seperti panjang, lebar, dan ketebalan, juga dapat menyebabkan potongan yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Adapun *variabel Independent* (faktor) :

X1 : Tebal Plat (4 dan 6 mm)

X2 : Dimensi Tangki (1450 dan 1460)

Tabel 8. Design of experiment (DoE)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Tebal Plat	Dimensi Tangki	Hasil Scrap
1	1	1	1	4	1450	8,12
2	2	1	1	6	1450	11,13
3	3	1	1	4	1460	7,85
4	4	1	1	6	1460	10,14
5	5	1	1	4	1450	8,18
6	6	1	1	6	1450	11,08
7	7	1	1	4	1460	7,93
8	8	1	1	6	1460	10,16

Hasil DoE (Tabel 8) merupakan hasil dari 30 kali

percobaan yang dilakukan secara berulang. Hasil analisis (Gambar 13), di mana terlihat bahwa nilai *p-value* < 5% untuk efek utama (*main effect*) dan interaksi dua arah (*2-way interactions*). Hal ini menunjukkan bahwa baik secara individu maupun dalam interaksinya, ketebalan pelat dan kecepatan pemotongan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap terbentuknya scrap atau limbah material. Dukungan tambahan terlihat dari nilai *Adjusted R-Square* (*R-Sq adj*) yang melebihi 65%, yang mengindikasikan tingkat kecocokan model yang baik. Ketebalan pelat dan dimensi tangki diketahui menyumbang kontribusi sebesar 99,92% terhadap jumlah scrap yang dihasilkan.

Faktor tebal plat dan dimensi merupakan variabel yang sering kali sudah ditentukan oleh desain produk dan tidak dapat diubah secara sembarangan. Oleh karena itu, mengoptimalkan parameter proses seperti kecepatan potong, kedalaman feed, dan parameter lainnya menjadi sangat penting untuk meminimalkan scrap dan meningkatkan efisiensi produksi.

Factorial Regression: Hasil Scrap versus Tebal Plat; Dimensi Tangki

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		9,3238	0,0142	656,73	0,000	
Tebal Plat	2,6075	1,3038	0,0142	91,83	0,000	1,00
Dimensi Tangki	-0,6075	-0,3037	0,0142	-21,39	0,000	1,00
Tebal Plat*Dimensi Tangki	-0,3475	-0,1738	0,0142	-12,24	0,000	1,00

Model Summary

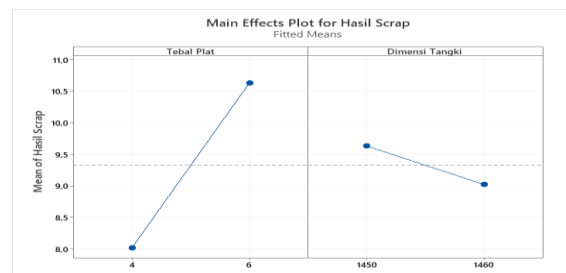
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0401559	99,96%	99,92%	99,82%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	14,5777	4,8592	3013,49	0,000
Linear	2	14,3362	7,1681	4445,34	0,000
Tebal Plat	1	13,5981	13,5981	8432,94	0,000
Dimensi Tangki	1	0,7381	0,7381	457,74	0,000
2-Way Interactions	1	0,2415	0,2415	149,78	0,000
Tebal Plat*Dimensi Tangki	1	0,2415	0,2415	149,78	0,000
Error	4	0,0065	0,0016		
Total	7	14,5842			

Gambar 13. Hasil DoE tebal plat dan dimensi tangki

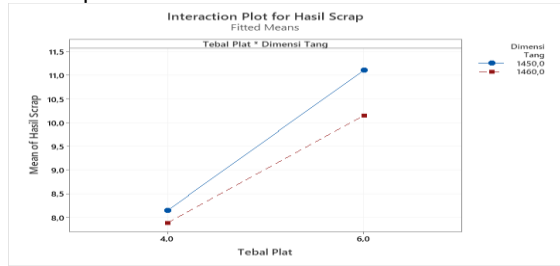
Berdasarkan Gambar 13, terlihat bahwa nilai *p-value* < 5% untuk efek utama (*main effect*) dan interaksi dua arah (*2-way interactions*), yang menunjukkan bahwa baik secara individu maupun dalam interaksi, ketebalan pelat dan kecepatan pemotongan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah scrap atau limbah material. Hal ini juga diperkuat oleh nilai *Adjusted R-Square* (*R-Sq adj*) yang melebihi 65%, serta kontribusi ketebalan pelat dan dimensi tangki yang mencapai 99,92% terhadap total scrap yang dihasilkan.



Gambar 14. Main effect plot for scrap

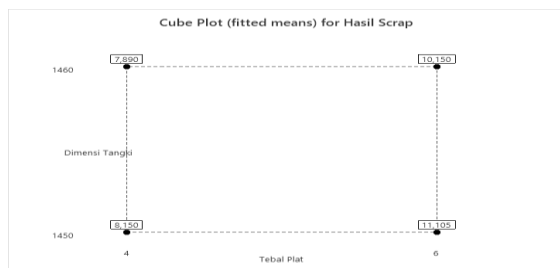
Hasil *Main Effect Plot for Scrap* (Gambar 14), di mana hasil scrap terlihat muncul pada penggunaan

pelat dengan ketebalan 4 mm dan 6 mm, serta pada dimensi pelat sebesar 1450 mm dan 1460 mm.



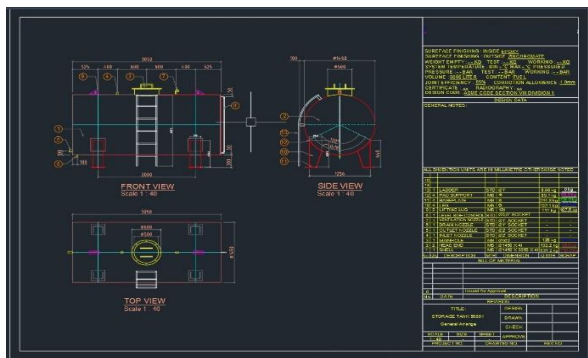
Gambar 15. Interaction plot for Y

Gambar 15 menampilkan Interaction Plot for Scrap, yang menunjukkan bahwa hasil scrap terjadi pada kombinasi ketebalan pelat 4 mm dan 6 mm dengan dimensi 1450 mm dan 1460 mm. Grafik ini menggambarkan adanya interaksi antara ketebalan dan dimensi pelat yang memengaruhi jumlah scrap yang dihasilkan.



Gambar 16. Cube plot (data means) for scrap

Gambar 16 menunjukkan hasil yang diperoleh dari penggabungan kombinasi antara ketebalan pelat dan dimensi tangki. Kombinasi optimal yang menghasilkan jumlah scrap paling sedikit adalah ketebalan plat 4 mm dengan dimensi 1460 mm, yang menghasilkan scrap sebesar 7,890 kg. Berdasarkan kombinasi tersebut, diharapkan hasil eksperimen ini dapat memberikan data yang valid dan menjadi acuan dalam upaya peningkatan pengelolaan limbah material pelat. Rekomendasi pendekatan alternatif dalam menentukan dimensi dan ketebalan pelat, yakni dengan melakukan benchmarking serta memanfaatkan teknologi CAD (Gambar 17).



Gambar 17. CAD

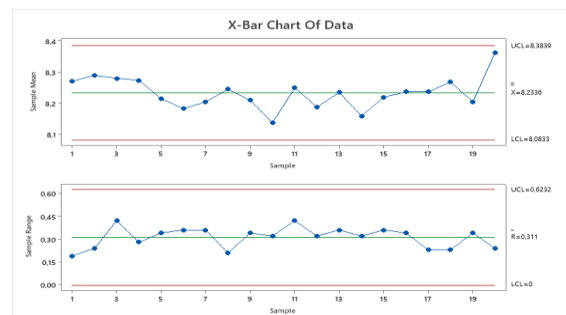
Pemanfaatan scrap dapat dilakukan dengan mendaur ulang menjadi produk baru. Melalui

pemanfaatan ulang ini, jumlah limbah material dapat diminimalkan. Selain itu, peningkatan kesadaran pekerja terhadap pentingnya pengurangan scrap juga perlu dilakukan. Dengan tingkat kesadaran yang tinggi, pekerja akan lebih cermat dan teliti dalam menggunakan material, sehingga pemborosan dapat diminimalkan.

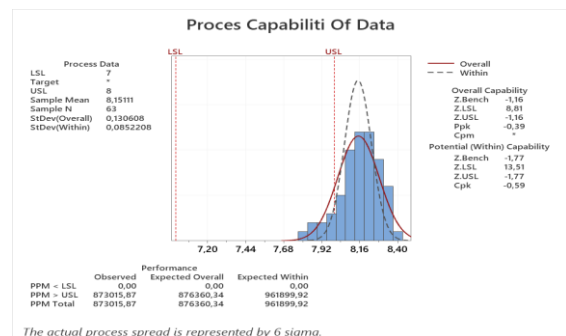
3.5. Control

Tahap *Control* bertujuan menetapkan standar dalam penentuan ketebalan pelat dan dimensi tangki dengan mempertimbangkan berbagai aspek, seperti standar dan spesifikasi teknis, perhitungan mekanis, serta faktor-faktor praktis lainnya. Dalam proses produksi tangki solar berkapasitas 5.000 liter, diperlukan diameter antara 1450 hingga 1460 mm dan panjang 3050 mm. Tangki ini dirancang untuk menampung solar sesuai dengan standar industri yang menetapkan \bar{x} (rata-rata) minimum ketebalan pelat sebesar 3 mm. Berdasarkan hasil perhitungan mekanis, ketebalan plat 4 mm dengan dimensi 1460 x 3050 mm sudah memadai untuk menjamin ketahanan struktur tangki serta efektif dalam mengurangi jumlah scrap yang dihasilkan.

Hasil perhitungan mekanis menunjukkan bahwa nilai rata-rata minimum (\bar{x} minimum) yang diperlukan untuk menjamin ketahanan struktural tangki solar dapat dicapai dengan menggunakan pelat berketebalan 4 mm dan dimensi 1460 x 3050 mm. Kombinasi ini dinilai memadai untuk mengurangi jumlah scrap yang dihasilkan. Berdasarkan analisis kontrol, diperoleh batas kendali atas (UCL) sebesar 8,3839 dan batas kendali bawah (LCL) sebesar 8,0833 (Gambar 18).



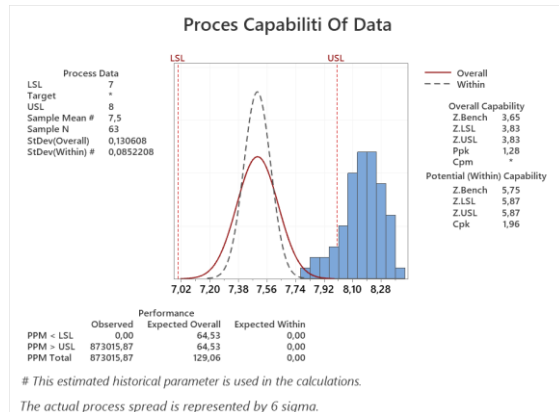
Gambar 18. Process capability control diagram



Gambar 19. Process capability before improvement

Gambar 19 menampilkan nilai Process Capability dengan Z.Bench Lt sebesar -1,77. Data ini diperoleh

dari 63 sampel dengan batas spesifikasi bawah (*Lower Specification Limit/LSL*) sebesar 7 dan batas spesifikasi atas (*Upper Specification Limit/USL*) sebesar 8.



Gambar 20. Process capability before improvement

Gambar 20 menunjukkan dasar perhitungan dengan nilai sigma sebesar 5,75 yang digunakan sebagai standar untuk mengurangi jumlah scrap. Nilai *Process Capability Z.Bench St* tercatat sebesar 5,75, berdasarkan data dari 63 sampel dengan batas spesifikasi bawah (LSL) sebesar 7 dan batas spesifikasi atas (USL) sebesar 8.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai Z-ST adalah 5,75, sedangkan nilai Z-Shift dihitung dari selisih antara Z-ST dan Z.Bench Lt ($5,75 - (-1,77)$) sehingga diperoleh Z-Shift sebesar 7,52. Nilai ini mengindikasikan adanya kekurangan dalam ingin-dalian proses serta keterbatasan pengetahuan teknis operator dalam membaca dan memahami gambar teknik dengan tepat. Oleh karena itu, proses pemotongan (cutting) perlu dilakukan perbaikan berkelanjutan melalui penerapan pendekatan Lean Six Sigma.

Untuk menerapkan DMAIC pada proses cutting ketebalan plat 4mm dimensi 1460 x 3050. Dengan dimensi standar yang telah ditetapkan maka scrap mengalami penurunan dari 962.091 kg menjadi 745.893 kg dengan kata lain perusahaan dapat mengurangi kerugian sebesar Rp.13.845.391,-. Dengan menetapkan ketebalan plat dan dimensi perusahaan memiliki standarisasi yang baku dalam proses pembuatan tangki berkualitas, dalam hal tersebut plat dianggap scrap apabila memiliki nilai toleransi diatas 0,5 Kg. Dengan menerapkan DMAIC Memungkinkan dilakukannya tahap perbaikan berkelanjutan dengan metode lain Seperti *Lean Six Sigma* dan lainnya.

Hasil ini menunjukkan bahwa pengujian DOE berpengaruh terhadap *strength colour* produk reguler (base produk). Penerapan metode DoE terbukti efektif dalam mengurangi produk *defect* dan meningkatkan nilai tambah (Supriyadi, 2023). Pendekatan Six Sigma, khususnya melalui penerapan Design of Experiments (DoE), mampu memberikan peningkatan nilai perbaikan yang lebih signifikan. Penelitian ini memiliki kesamaan dengan studi sebelumnya, terutama dalam hal permasalahan scrap material dan efektivitas metode Six Sigma dalam meningkatkan nilai sigma untuk mengatasi permasalahan tersebut. Meskipun demikian, terdapat perbedaan mencolok, seperti jenis

material yang digunakan, periode pengambilan data, serta fokus penelitian. Namun secara umum, kesamaan tujuan tetap terlihat, yaitu meningkatkan efektivitas perbaikan, mengurangi scrap material, dan meningkatkan nilai sigma proses.

Penerapan metode DMAIC mampu menurunkan jumlah scrap yang terjadi dalam proses pemotongan (cutting). Dengan pendekatan tersebut, permasalahan dapat diidentifikasi, faktor penyebab dapat dianalisis, serta tindakan perbaikan dapat dilakukan secara tepat terhadap faktor penyebab tersebut. Hasilnya, metode DMAIC terbukti efektif dalam mengurangi scrap pada proses cutting yang diteliti.

Agar jumlah scrap tidak kembali ke kondisi awal, diperlukan proses monitoring dan pengendalian yang konsisten terhadap hasil kerja operator. Hal ini meliputi pemeriksaan berkala, pengawasan ketat, serta penerapan prosedur kerja yang baik dan benar. Strategi yang perlu diterapkan untuk menjamin kelancaran proses fabrikasi antara lain adalah ketelitian dan pengalaman operator dalam proses cutting, pengawasan yang berkelanjutan terhadap kinerja mereka, serta dukungan manajemen dalam bentuk pelatihan terkait teknik pemotongan, pemilihan material, dan penentuan dimensi plat yang sesuai. Upaya ini diharapkan dapat menekan jumlah scrap dan meningkatkan kompetensi teknis operator dalam proses pemotongan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penyebab utama tingginya tingkat scrap dalam proses cutting adalah keterbatasan keterampilan serta inkonsistensi operator dalam menentukan ketebalan plat, ditambah dengan belum adanya standar dimensi yang digunakan secara baku. Hal ini terbukti dari hasil eksperimen yang menunjukkan bahwa kombinasi ketebalan plat 4 mm dan dimensi tangki 1460 mm menghasilkan jumlah scrap paling rendah, yaitu sebesar 7,890 kg.

Tindakan perbaikan terhadap faktor penyebab scrap dapat menekan kerugian dari sebelumnya Rp. 337.794.647 menjadi Rp. 263.262.544 dalam enam bulan atau setara dengan Rp. 43.877.090 per bulan. Tingkat cacat masih tergolong tinggi, dengan nilai sigma sebesar 5,75 yang masih berada di bawah standar internasional Six Sigma, yakni 6 σ (3,4 DPMO).

Mengingat adanya keterbatasan dalam penelitian ini, disarankan agar studi lanjutan untuk mengevaluasi efektivitas dari perbaikan yang telah diterapkan secara lebih mendalam. Evaluasi ini dapat dilakukan melalui pemantauan dan pengukuran scrap secara berkala untuk memastikan keberlanjutan penurunan scrap. Selain itu, penggunaan perangkat lunak CAD untuk penentuan dimensi, serta pemanfaatan teknologi terkini dalam bidang fabrikasi tangki, juga sangat dianjurkan. Penelitian selanjutnya dapat mengadopsi pendekatan Lean Six Sigma atau metode lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Alida, R., & Anjastara, A. P. (2021). P Penentuan Waktu Pemakaian Storage Tank Melalui Analisa Data Hasil Pengukuran Ultrasonic Thickness Pada Tangki Tep-028 Di Stasiun Pengumpul

- Jemenang Pt Pertamina Ep Asset 2 Field Limau. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 11(02), 26–32. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v11i02.111>
- Amaningsi, A., Riska, N., & Handini, M. C. (2018). Penerapan Metode Servqual Dan Six Sigma Dalam Peningkatan Kualitas Pelayanan Pendidikan. 1, 1–65. <https://www.researchgate.net/publication/352358342>
- Bahauddin, A., & Arya, V. (2020). Pengendalian Kualitas Produk Tepung Kemasan 20 Kg Menggunakan Metode Six Sigma (Studi Kasus pada PT. XYZ). *Journal Industrial Serviss*, 6(1), 66. <https://doi.org/10.36055/jiss.v6i1.9480>
- Budi, T. S., Supriyadi, E., & Zulziar, M. (2018). Analisis Konfigurasi Proses Produksi Cokelat Stick Coverture Menggunakan Metode Design Of Experiments (Doe) Di Pt. Gandum Mas Kencana. *Jitmi*, 1(1), 87–96. <https://openjournal.unpam.ac.id/index.php/JITM/article/view/1408>
- Erdil, N. O., Aktas, C. B., & Arani, O. M. (2018). Embedding sustainability in lean six sigma efforts. *Journal of Cleaner Production*, 198, 520–529. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.048>
- Hartoyo, F., Yudhistira, Y., Chandra, A., & Chie, H. H. (2013). Acceptance Rate Untuk Ukuran Panjang Produk Bushing. *ComTech*, 4(1), 983–995. <https://journal.binus.ac.id/index.php/comtech/article/view/2761>
- Juniarti, A. D., Wirawati, S. M., & Gandhi, H. K. (2020). Analysis of Quality Control of Steel Plate Products with Six Sigma Method at PT. Krakatau Posco. 410(Imcete 2019), 135–140. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200303.033>
- Patyal, V. S., Modgil, S., & Koilakuntla, M. (2021). Application of Six Sigma methodology in an Indian chemical company. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(2), 350–375. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2019-0128>
- Purba, H. H. (2016). Reducing The Operational Stop Time of Hauller Komatsu Hd465-7 by Using the Six Sigma's Approach in PT X. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 7(2), 91–103. <https://doi.org/10.21512/comtech.v7i2.2245>
- Putri NT. (2022). *Manajemen Kualitas Terpadu (Konsep, Alat dan Teknik, Aplikasi)*. Indomedia Pustaka. <https://books.google.co.id/books?id=J4I0EAAAQBAJ&>
- Pyzdek & Keller. (2014). *The six sigma handbook* (Vol.4). McGraw-Hill Education. <https://books.google.co.id/books?id=K7oBngEACAAJ&>
- Ramakrishna, C. S., Raghuram, K. S., & Ben, B. A. (2018). Process Modelling and Simulation Analysis of CNC Oxy-Fuel Cutting Process on SA516 Grade 70 Carbon Steel. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 7818–7827. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.461>
- Sánchez-Rebull, M. V., Ferrer-Rullan, R., Hernández-Lara, A. B., & Niñerola, A. (2020). Six Sigma for improving cash flow deficit: a case study in the food can manufacturing industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(6), 1119–1140. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2018-0137>
- Sandi, S., Ulfah, M., & Ferdinand, P. F. (2017). Spiral Menggunakan Metode Six Sigma Berdasarkan Design of Experiment (DoE). *Jurnal Teknik Industri*, 5(1), 66–79. <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jti/article/view/1810>
- Saputro, Y., & Wahyuni, H. C. (2023). Analisis Pengendalian Kualitas Trafo Menggunakan Metode Six Sigma Dan Metode Fault Tree Analysis (FTA). 1–10. <https://doi.org/10.21070/ups.2866>
- Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to Improvement the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 238(April 2018), 590–596. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039>
- Supriyadi, E. (2023). Pemanfaatan Produk Defect Tinta Cetak dengan Menggunakan Metode Design of Experiment (DOE) di PT XYZ. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 8(1), 180. <https://doi.org/10.28926/briliant.v8i1.1086>
- Tebae, I. A., Karamoy, H., & Runtu, T. (2016). Perlakuan Akuntansi Terhadap Sisa Bahan Pada PT. Multi Nabati Sulawesi. *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, 4(1). <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/emba/article/view/12363>
- Ummah, N. H., & Dahda, S. S. (2022). Analisis Efektifitas Kinerja Mesin Cutting Manual Dan Otomatis Menggunakan Metode OEE (Overall Equipment Effectiveness) Di PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, 8(2), 345. <https://doi.org/10.24014/jti.v8i2.19765>
- Winarso, K., & Alfari, S. (2016). Efek Diameter Coil, Perbandingan Jumlah Lilitan, Jenis Coil, Pada Transmitter Receiver Terhadap Efisiensi Energi Transfer Wireless Transfer Electricity Dengan Metode Desain of Experiment (Doe). *Media Statistika*, 9(1), 31–40. <https://doi.org/10.14710/medstat.9.1.31-40>