

Pengendalian cacat tuang produk cor aluminium ADC 12 *gravity-die-casting*: Studi kasus di PT Sinar Mulia Teknalum

Noor Setyo, Nur Hayati

Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Jawa Tengah 56116
Email korespondensi: nurhayati@untidar.ac.id

Abstrak

Cacat tuang akan selalu muncul hampir pada setiap produk cor secara tidak terduga akibat Faktor X yang tidak terkendali. Ahli pengecoran hanya bisa meminimalisir munculnya cacat tuang tersebut dengan cara melakukan pengendalian mulai dari proses desain produk, desain proses, pola, cetakan, peleburan, dan penuangan untuk memperoleh produk cor yang bebas dari cacat tuang. Studi kasus ini bertujuan untuk mengetahui metode pengendalian kualitas yang dilakukan oleh industri pengecoran logam PT Sinar Mulia Teknalum dalam mengatasi cacat tuang terhadap produk cor paduan aluminium ADC 12 Gravity-Die-Casting yaitu adaptor, knob, break drum, dan cigarette rolling base yang memiliki cacat penyusutan, porositas, salah alir, keropos, dan jenis cacat lain. Pengendalian kualitas coran terhadap cacat tuang dilakukan dalam empat tahap secara berkesinambungan dengan menggunakan metode penyelesaian yang sekaligus pemecah masalah hingga pengendalian kualitas berupa Plan, Do, Check, dan Action (PDCA), serta pendukung Seven Tools sebagai alat pengendali kualitas. Proses pengamatan cacat tuang dilakukan secara visual (penglihatan). Berdasarkan data awal, sebelum pengendalian produk memiliki cacat tuang yakni penyusutan sebesar 51,16%, porositas sebesar 27,91%, salah alir sebesar 11,63%, keropos sebesar 6,98%, dan cacat lain kurang dari 2,33%. Cacat tuang terjadi akibat pengaruh faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan. Setelah rekomendasi dari tim pengendalian kualitas, langkah perbaikan dilakukan terhadap masing-masing penyebab cacat tuang. Cacat tuang secara keseluruhan mengalami penurunan yang saling keterkaitan, total sebanyak 29,07% yang meliputi penyusutan sebesar 9,30%, porositas sebesar 6,98%, salah alir sebesar 6,98%, keropos sebesar 4,65%, dan cacat lain sebesar 1,16%. Penurunan cacat tuang ini dapat digunakan sebagai pedoman atau acuan kerja siklus PDCA dalam mengatasi cacat tuang secara berkesinambungan selanjutnya.

Kata kunci: faktor x, cacat tuang, penyusutan, porositas.

Abstract

Casting defects in cast products will always appear due to the unexpected presence of the X Factor in every casting process. Casting experts can only minimize the appearance of casting defects by carrying out controls starting from the product design process, process design, pattern, mold, melting, and casting to obtain cast products that have quality standards that are free from casting defects. This case study aims to determine the quality control methods carried out by the metal casting industry PT Sinar Mulia Teknalum in overcoming casting defects in ADC 12 Gravity-Die-Casting aluminium alloy cast products, namely adapters, knobs, break drums, and cigarette rolling bases which have shrinkage defects, porosity, mis-run, porous and other types of defects. Quality control for casting defects is carried out in four stages continuously using a solution method that is also a problem solver to Plan, Do, Check, and Action (PDCA) quality control and supporting Seven Tools as a quality control tool. The process of observing casting defects is carried out visually (sight), based on initial data before control is carried out, the product has casting defects of 51.16% shrinkage, 27.91% porosity, 11.63% mis-run, 6.98% porousness, and other defects below 2.33%. Casting defects occur due to the influence of human factors, tools, materials, methods, and environment. After recommendations from the quality control team, corrective steps are taken for each cause of casting defects. Overall casting defects experienced a total interconnected decrease of 29.07%, which included 9.30% shrinkage, 6.98% porosity, 6.98% mis-run, 4.65% porousness, and other defects as much as 1.16%. This reduction in casting defects can be seen as a guide or reference for the work of the PDCA cycle in overcoming casting defects on an ongoing basis in the future.

Keywords: x factor, casting defects, shrinkage, porosity.

1. Pendahuluan

Persaingan global pada industri pengecoran logam aluminium yang dewasa ini semakin kompetitif, pelaku usaha pengecoran dituntut menerapkan strategi bersaing yang relevan agar produk cor yang dihasilkan selalu eksis, memiliki kualitas tinggi, dan

mampu bersaing di pasaran dengan produk sejenis. Industri pengecoran selalu berusaha menghasilkan produk cor yang berkualitas tinggi dengan sekecil mungkin kegagalan produk akibat cacat tuang. Salah satu cara yang banyak dilakukan industri pengecoran, diantaranya dengan melakukan pengendalian dan

pencegahan pada masing-masing tahapan proses mulai dari bagian desain produk, desain proses, pencetakan, peleburan, dan penuangan.

PT Sinar Mulia Teknialum yang bergerak di bidang pengecoran logam aluminium, memproduksi berbagai macam jenis produk cor ADC 12 sesuai permintaan konsumen (*job order*). Berdasarkan hasil observasi langsung terhadap produk cor yang dihasilkan, hasil produk telah memiliki kualitas cukup baik dan telah memenuhi standar QQC, baik sifat mekanik maupun fisiknya yang ditetapkan standar industri, walaupun secara kuantitas produk masih terdapat beberapa produk di bawah standar akibat muncul cacat tuang, diantaranya penyusutan, perubahan dimensi, salah alir, porositas, dan penurunan sifat mekanik, sehingga menyebabkan produk ditolak atau gagal [1]. PT Sinar Mulia Teknialum melakukan pengawasan proses produksi dengan menggunakan pendekatan *Plan, Do, Check, dan Action* (PDCA) dengan alat bantu *Seven Tools* untuk mengolah data, mengamati dan melihat faktor penyebab kecacatan produk, membenahi kemampuan pengelolaan kualitas dan hasil cacat dengan langkah-langkah yang terstruktur dan terukur, di tiap tahapan bagian desain produk, cetakan, peleburan, dan penuangan [2].

Persentase terbesar cacat tuang muncul di awal proses pada saat dilakukan pengisian cairan logam ke dalam rongga cetakan melalui sistem saluran tuang *gating system* (mangkok tuang, saluran turun, pengalir, dan saluran masuk) [3]. Banyaknya hambatan dan gangguan aliran logam cair menuju rongga cetak, kompleksitas geometri benda cor (bentuk dan dimensi) yang tidak sama, menyebabkan logam cair mengalami turbulensi yang menjadikan penyebab muncul cacat tuang seperti keropos susutan dalam, dan retakan di samping itu akibat laju pembekuan yang terlalu cepat dan tidak seragam.

Cacat tuang *shrinkage* (penyusutan) muncul dimungkinkan akibat adanya kesalahan desain produk, pola, cetakan, dan perencanaan serta penempatan sistem saluran masuk (*in gate*), dan saluran penambah (*riser*). Cacat penyusutan dalam produk cor muncul akibat kurangnya *feeding* logam cair atau akibat *riser* tidak berfungsi saat logam mengalami solidifikasi *contraction* [4]. *Shrinkage* biasanya ditandai dengan munculnya cekungan pada permukaan coran dan/atau perubahan dimensi geometri coran akibat tekanan udara luar yang jauh lebih besar dari tekanan di dalam rongga penyusutan. Hal tersebut akan menyebabkan saat logam cair mengalami pembekuan coran, tidak mendapat pasokan logam cair dari penambah [5]. Selain itu, cacat *shrinkage* (penyusutan) juga sering muncul pada daerah coran yang mendapat beban panas berlebihan akibat kurang baiknya dalam perancangan penempatan saluran masuk dalam cetakan. Dampak beban panas yang berlebih menjadikan daerah tersebut mengalami tarikan oleh logam yang sudah membeku terlebih dahulu, sehingga akan

menyebabkan permukaan coran membentuk rongga-rongga kasar baik tunggal besar maupun rongga kecil yang berkoloni pada lokasi.

Porositas dikenal sebagai cacat coran yang disebabkan akibat gas terlarut dalam logam cair dan terjebak pada saat cairan mengalami proses solidifikasi. Menurut bentuknya, porositas gas berbentuk bulat dengan permukaan halus, sedang porositas penyusutan memiliki bentuk tidak beraturan dan bersudut, membuat jejaring dan memiliki permukaan kasar [6,7]. Dalam pengecoran aluminium, terdapat dua jenis porositas yang diakibatkan gas *hydrogen*, yaitu porositas *interdendritic* yang terjadi akibat kandungan gas *hydrogen* cukup tinggi dalam cairan, dan porositas yang kedua jika kelarutan gas *hydrogen* rendah membentuk kekosongan (*void*) yang terkarakterisasi sebagai *subcritical*. Porositas terdapat dalam bahan padat, tidak akan mampu menerima beban eksternal secara terus menerus dan menyebabkan tegangan terpusat, sehingga akan memicu terjadinya retak mikro yang selanjutnya akan menjadi patah [8].

Terbentuknya porositas akan sangat dipengaruhi kompleksitas proses solidifikasi, dan unsur paduan [9]. Akan tetapi, kenaikan unsur paduan dimungkinkan akan menambah jumlah porositas yang terbentuk, karena fraksi luas daerah eutektik di mana porositas terbentuk meningkat. Cacat porositas gas pada paduan aluminium adalah merupakan fungsi dari paduan itu sendiri dan parameter proses, sebab suhu *melting* dan *pouring* yang tinggi selama proses peleburan berlangsung, akan menyebabkan kelarutan *hydrogen* dalam cairan tinggi yang cukup tinggi, sehingga berpotensi menyebabkan porositas [10].

Porositas akibat adanya gas *hydrogen* yang terjebak di dalam cairan logam memiliki ciri berbentuk bulat, berding halus, tersebar di seluruh permukaan produk cor dan berbentuk bulat (*spherical*) dalam dinding halus. Akan tetapi, jika memiliki dinding kasar dan bersudut berasal dari penyusutan [11]. Di dalam logam cor, baik porositas terbuka (*surface*), maupun porositas tertutup (*subsurface*) yang muncul akibat gas *hydrogen* (H_2) yang terjebak atau terperangkap di dalam cairan selama proses peleburan akan berimplikasi menurunkan kualitas coran seperti sifat mekanik, kimia, fisik dll. Oleh sebab itu, perlu dihindari terjadinya kontaminasi antara cairan aluminium dengan gas *hydrogen* dari H_2O selama proses peleburan berlangsung, sebab akibat adanya reaksi antara aluminium dengan H_2O akan menyisakan H_2 , sedang pengaruh oksigen (O_2) di dalam cairan tidak akan berdampak terhadap hasil cor, sebab oksigen akan bereaksi dengan aluminium membentuk Al_2O_3 [12].

Tingkat reaksi yang kuat antara H_2 dengan Al dan/atau ketersediaan *hydrogen* (H_2) yang banyak dalam cairan selama peleburan akan dipengaruhi oleh:

- 1) suhu tuang yang terlalu tinggi, karena hal ini akan

menjadikan afinitas aluminium terhadap oksigen yang terdapat dalam kelembaban udara menjadi sangat tinggi; 2) ketersediaan *hydrogen* (H_2) cukup besar dikarenakan kelembaban udara bahan baku dan peralatan lebur terlalu tinggi; dan 3) tidak adanya perlindungan terhadap cairan aluminium di dalam dapur selama mencair, sehingga akan merusak lapisan aluminium oksida Al_2O_3 di permukaan, sehingga kontaminasi kelembaban udara selalu terjadi setiap saat.

Berdasarkan pendalaman literatur dan hasil studi kasus, proses pengecoran ADC 12 di PT Sinar Mulia Teknalum, terlihat adanya korelasi antara desain produk, *gating system*, *coating* dengan gas *hydrogen* yang terlarut, suhu cairan pada saat terjadinya solidifikasi dengan cacat tuang *shrinkage*, porositas gas dan salah alir (*mis-run*) yang muncul pada hasil cor. Kesalahan desain sistem saluran tuang dan *riser*, serta *coating* cetakan yang kurang tepat dan tingginya suhu peleburan, menjadikan penyebab kenaikan tekanan sekeliling dapur dan suhu cetakan, sehingga hal ini akan menjadikan penumpukan panas pada cetakan, serta kenaikan gas *hydrogen* dan oksigen dalam cairan, semua itu akan menyebabkan cacat tuang porositas, *mis-run*, dan *shrinkage*. Oleh sebab itu, pengendalian kualitas melalui penerapan PDCA perlu dilakukan mulai dari desain produk, suhu cetakan dan proses *degassing*, *coating* untuk meminimalisir tingkat cacat tuang produk cor yang dihasilkan, merupakan aspek kebaruan hasil studi kasus. Oleh sebab itu, akan dipelajari dan diketahui mengenai PT Sinar Mulia Teknalum sebagai industri pengecoran melakukan penerapan pengendalian kualitas dalam menjalankan proses produksi untuk meminimalisir munculnya cacat tuang *shrinkage* dan porositas guna mendapatkan produk cor aluminium ADC 12 yang bebas dari cacat tuang *shrinkage*, porositas, *mis-run* (salah alir) yang masih berada dalam batas maksimal *reject*.

2. Metode

Sebagai bahan baku utama dalam proses produksi, digunakan ingot aluminium ADC 12 yang mengandung 85,37% Al dan 10,637% Si, serta unsur lain ditambah skrap balik dari produk cor yang di *reject* (Gambar 1), dan sebagai bahan pembantu untuk menghilangkan gas *hydrogen* (H_2) menggunakan tablet *degasser* dengan komposisi Hexachlorobenzol (C_6Cl_6) atau Hexachloratan (C_2Cl_6 dan senyawa-senyawa Cl lain seperti $AlCl_3$ dan $NaCl$, ditunjukkan oleh Gambar 2). Untuk menutupi permukaan cairan logam selama proses peleburan dari afinitas aluminium terhadap oksigen, agar tidak terbentuk reaksi pembentukan oksida dan mengurangi inklusi logam dan non logam dalam cairan selama proses peleburan berlangsung, digunakan *cover fluxes* NF-10 pada Gambar 3(a) dan *cover fluxes* NF-11 pada Gambar 3(b).



Gambar 1. Ingot ADC 12.



Gambar 2. Tablet degasser.



(a)



(b)

Gambar 3. Ilustrasi (a) cover fluxes 10 dan (b) cover fluxes 11.

Selama proses peleburan berlangsung untuk mengikat *dross*, dan memisahkan lapisan *oxide dross* dari aluminium cair, digunakan *drossing flux* pada Gambar 4(a), yang memiliki komposisi NaCl-Na₂SiF₆-NaNO₃ dengan variasi komposisi NaCl sebesar 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%, dan 20 wt%. Bahan *coating* digunakan agar penyebaran panas pada cetakan merata, dan dihasilkan permukaan produk yang baik dengan menggunakan *dycote 39* dan *bonderit L-CA 395* pada Gambar 4(b).



(a)



(b)

Gambar 4. Ilustrasi (a) dross fluxes dan (b) dycote 39.

Alat cetakan menggunakan produk *adaptor*, *knob*, *break drum*, dan *cigarette rolling base (batokan)*, cetakan logam yang menggunakan bahan dari baja ditunjukkan pada Gambar 5. Proses peleburan paduan aluminium menggunakan dapur lebur jenis *crucibell* yang berbahan bakar oli bekas dengan kapasitas lebur 500 kg ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Cetakan logam.



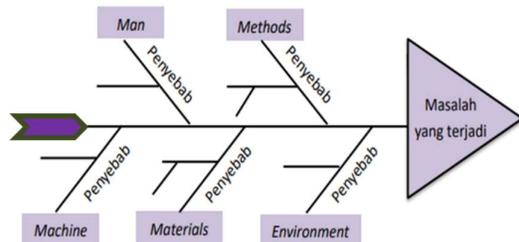
Gambar 6. Dapur lebur paduan aluminium.

Studi kasus ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif untuk melakukan analisis dan penyebab cacat tuang produk cor paduan aluminium ADC 12. Alat yang digunakan untuk pengumpulan, pengolahan data, dan mengamati faktor penyebab cacat tuang menggunakan metode *Seven Tools*, dengan tahapan proses *plant study*, pengamatan dan pencatatan data primer, dilanjutkan pengolahan dan analisis data menggunakan bagan kendali, diagram *pareto*, dan diagram tulang ikan (*fishbone*), tahap perbaikan yang berkelanjutan berdasarkan konsep *Plan, Do, Check, dan Action* (PDCA) [13].

Tahap awal studi dimulai dengan melakukan observasi untuk mencari data primer dan sekunder permasalahan jenis produk yang akan dipilih, dan untuk mengetahui alur proses produksi objek permasalahan dengan melakukan peninjauan langsung di industri. Objek produk yang diangkat dalam studi kasus ini yakni data operasional perusahaan pada Bulan September 2023, antara lain produk *adaptor, knob, break drum, dan cigarette rolling base* (batokan).

Terdapat empat tahapan yang dilakukan dalam pengolahan data studi kasus ini, yaitu: 1) peta kendali; 2) diagram *pareto*; 3) diagram tulang ikan (*fishbone*); dan 4) PDCA. Peta kendali dibuat berdasarkan lembar periksa (*check sheet*) untuk mengetahui apakah proses masih berada dalam batas kendali atau tidak. Diagram *pareto* digunakan sebagai alat untuk menemukan, mencari penyebab permasalahan faktor dominan dari permasalahan untuk diatasi terlebih dahulu, menentukan dan mengidentifikasi prioritas permasalahan yang akan diselesaikan [14].

Diagram tulang ikan (*fishbone*) pada Gambar 7 merupakan alat perbaikan yang menggunakan bantuan diagram sebab akibat (*cause-effect*) [15]. Terdapat tiga komponen utama dalam diagram tulang ikan (*fishbone*) yaitu kepala (*head*), tulang belakang (*spin*), dan duri (*bones*). Kepala (*head*) merupakan faktor permasalahan yang sedang diamati, tulang belakang (*spin*) menunjukkan penyebab dari masalah pada kepala, dan duri (*bones*) menunjukkan penyebab permasalahan yang terjadi. Langkah selanjutnya, setelah metode *seven tools* diterapkan, dilakukan tahap tindakan perbaikan yang berkelanjutan atau berkesinambungan dengan menerapkan konsep PDCA.



Gambar 7. Diagram tulang ikan atau sebab akibat.

Plan (Perencanaan)

Tahap *Plan* yakni merupakan tahap perencanaan untuk mencari penyebab masalah cacat tuang dan menetapkan target. Tahap pencarian dimulai dengan melakukan identifikasi permasalahan menggunakan teknik 5W yaitu *What, Who, When, Where* dan *Why*.

Do (Pelaksanaan)

Melakukan analisis 5W+1H untuk melakukan investigasi permasalahan yang terjadi dan untuk melakukan penyelesaian permasalahan. *What* yakni terkait apa permasalahan yang perlu dilakukan perbaikan. *When* mengenai kapan tindakan perbaikan dapat dilakukan. *Who* mengenai siapa pihak yang dapat melakukan tindakan perbaikan tersebut. *Where* adalah di mana tindakan perbaikan dapat dilakukan. *Why* mengenai mengapa harus dilakukan tindakan perbaikan. *How* terkait bagaimana cara untuk melakukan perbaikan terhadap permasalahan yang terjadi.

Check (Pemeriksaan)

Fase *Check* yaitu mengetahui apakah tindakan perbaikan sudah sesuai dengan rencana yang telah dibuat, dapat mengurangi jumlah kecacatan produk, dan menjalankan seluruh tahapan, sehingga proses produksi bisa berjalan dengan lancar.

Action (Standarisasi)

Fase *Action* yakni mempertahankan hasil proses pengendalian kualitas yang telah tercapai agar masalah yang sama tidak terulang kembali di kemudian hari dan lebih meminimalkan tingkat kecacatan produk.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil identifikasi cacat tuang dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil lembar periksa (*check sheet*) pada periode Bulan September 2023 untuk produk *adaptor, knob, break drum, dan cigarette rolling base* (batokan) selama 25 hari sebanyak 7.500 buah untuk produk *adaptor*, 10.000 buah untuk *knob*, 5.500 buah untuk *break drum*, dan 7.500 buah untuk *cigarette rolling base*, dengan total jumlah produk sebanyak 30.500 buah. Setelah dilakukan pengolahan data sebelum dilakukan pengendalian, diperoleh data cacat tuang setiap awal-awal proses masing-masing produk dalam satu kali proses peleburan rata-rata terlihat seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Check sheet produk aluminium ADC 12 sebelum dilakukan pengendalian.

Jenis cacat tuang	Kode Cacat	Σ Cacat (pcs)	Σ Kom Cacat (pcs)	% Cacat	% Cacat Kom
Salah alir	M	5	5	11,62	11,62
Penyusutan	S	22	27	51,16	62,79
Porositas	P	12	39	27,90	90,70
Keropos	K	3	42	6,97	97,61
Cacat Lain	CL	1	43	2,33	100,0

Jika jumlah sampel produk selama 25 hari kerja sebanyak 2.500 buah untuk jumlah produk 30.500 buah, dengan *sub sample* cacat produk sebanyak 5 (lima) jenis cacat tuang berdasarkan hasil pengamatan secara visual, maka berdasarkan data yang tersedia, dapat ditentukan tiga standar deviasi yaitu *Center Line (CL)*, batas nilai kendali bawah (*LCL*), batas kendali atas (*UCL*), berdasarkan Persamaan 1-Persamaan 4 berikut ini.

$$CL = \bar{U} = \frac{\sum Ci}{\sum ni} \tag{1}$$

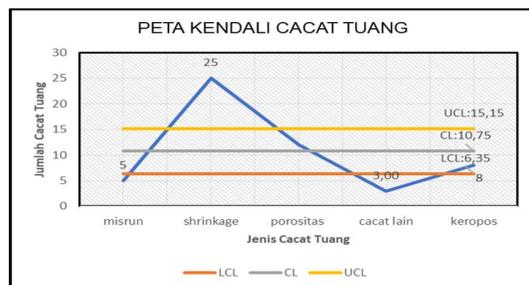
$$Su = \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}} \tag{2}$$

$$LCL = \bar{U} - z \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}} \tag{3}$$

$$UCL = \bar{U} + z \cdot \sqrt{\frac{\bar{u}}{ni}} \tag{4}$$

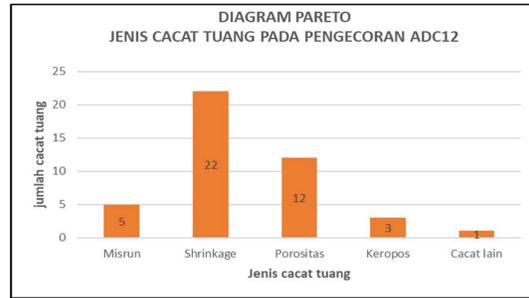
Dengan mensubstitusikan nilai $C_i=1.075$ buah dan $n_i=100$ buah, maka dihasilkan nilai *CL* sebesar 10,75, *Su* sebesar 1,466, *LCL* sebesar 6,35, dan *UCL* sebesar 15,148.

Berdasarkan hasil perhitungan *CL*, *LCL*, dan *UCL* di atas, terlihat pada Gambar 8 sebagai berikut ini. Cacat tuang penyusutan sebesar 27 buah masih berada di luar batas kendali atas (*UCL*) yang berarti menunjukkan sebagai produk prioritas utama yang perlu dilakukan penanganan pengendalian. Jenis cacat lainnya seperti porositas, *mis-run*, keropos, dan jenis cacat lain, terlihat masih berada di dalam batas kendali, sehingga penanganan pengendalian dapat dilakukan setelah cacat penyusutan berada di dalam batas kendali.



Gambar 8. Peta kendali cacat produk coran.

Sebaiknya semua jenis cacat tuang ditanggulangi. Akan tetapi, adakalanya sulit dilakukan karena waktu perbaikan yang cukup lama. Perbaikan proses dilakukan dari hasil pemetaan produk yang mengalami cacat tuang berdasarkan jumlah cacat tuang yang terjadi, jumlah biaya yang harus dikeluarkan, dan jumlah waktu yang tersedia menggunakan diagram *pareto* pada Gambar 9. Terlihat dalam diagram *pareto*, jenis cacat tuang terbesar yakni penyusutan sebesar 51,16% dibandingkan jenis cacat lain.



Gambar 9. Diagram pareto sebelum pengendalian.

Berdasarkan pertimbangan jumlah cacat, cacat penyusutan yang pertama kali perlu diperbaiki, dilanjut cacat porositas yakni 27,90%, salah alir sebesar 11,62%, keropos sebesar 2,33%, dan cacat lain sebesar 1,62%.

Penggunaan diagram tulang ikan (*fishbone*) merupakan tindak lanjut hasil pemetaan diagram *pareto* yang digunakan untuk menggali cara atau mencari informasi mengenai penyebab akar permasalahan cacat tuang yang menjadi prioritas utama produk aluminium ADC 12. Selain itu, tulang ikan (*fishbone*) juga dipakai sebagai dasar menetapkan apakah penyebab masalah yang telah teridentifikasi merupakan bagian penyebab sebenarnya masalah yang sedang diamati atau bukan.

Tahap Plan

Rencana perbaikan untuk menentukan faktor-faktor yang menjadi penyebab permasalahan cacat tuang diantaranya penyusutan, porositas, salah alir, keropos dan jenis cacat lain disusun, selanjutnya memprioritaskan urutan jumlah cacat yang akan diperbaiki, dibahas, dan dicari penyebabnya. Berdasarkan Tabel 1, banyaknya jenis cacat tuang yang *reject*. Terlihat cacat penyusutan merupakan jenis cacat yang paling banyak muncul, disusul porositas, salah alir, keropos, dan jenis cacat lain pada Tabel 1. *Reject* akibat cacat penyusutan menjadi fokus pembahasan dan penanganan cacat tuang terlebih dahulu, karena produk memiliki jumlah *reject* tertinggi, dilanjutkan porositas, salah alir, keropos, dan jenis cacat lain.

Langkah selanjutnya dengan menggunakan pendekatan *Quality, Cost, Delivery, Safety, Moral* dan *Environment* yang diintegrasikan dengan 4MIE (*Man, Machine, Material, Methods* dan *Environment*).

Faktor yang mempengaruhi penyebab cacat tuang bukan lima, akan tetapi hanya empat faktor penyebab yaitu manusia, mesin/alat, bahan, dan metode, untuk itu perlu keempat faktor tersebut dilakukan tindakan perbaikan dengan tujuan menurunkan 4 (empat) dari 5 (lima) penyebab permasalahan cacat tuang pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor penyebab masalah defect ADC 12.

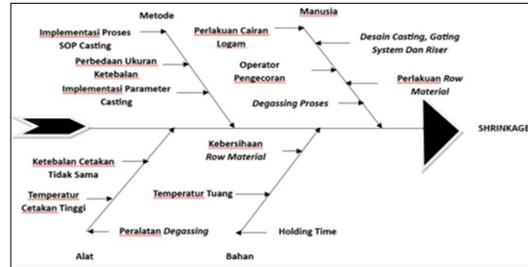
No	Faktor	Masalah	Standar	Aktual
1	Manusia	SOP	SOP peleburan, cetakan, dan penuangan.	Tidak tersedia SOP peleburan, cetakan dan penuangan.
2	Mesin	Ketebalan cetakan, coating, suhu dapur dan cetakan.	Ketebalan cetakan, suhu cetakan dan dapur lebur.	Ketebalan cetakan dan coating tidak sama, pembakaran tidak sempurna.
3	Metode	Pencetakan, penuangan, sistem saluran tuang dan riser, proses degassing.	SOP proses degassing, implementasi proses, parameter cetakan, penuangan, dan peleburan.	Tidak tersedia SOP di tempat cetakan, peleburan dan penuangan.
4	Bahan	Suhu tuang dan holding time, komposisi.	Pengaturan suhu tuang dan waktu holding time.	Kontrol suhu tuang dan waktu holding time tidak tersedia.
5	Lingkungan	Tidak menyebabkan defect.		

Diagram Tulang Ikan Cacat Tuang Penyusutan

Tahap ini merupakan tahapan analisis sebab akibat untuk menemukan sebab dan penyebab cacat tuang. Pada saat logam cair mengalami pembekuan, *Liquid contraction*, *solidification contraction*, dan *solid contraction* merupakan tiga (3) jenis penyusutan yang terjadi secara berurutan dalam proses pengecoran yakni penyusutan *liquid contraction*, dan penyusutan *solidification contraction*. Oleh karena itu, penyusutan dapat terjadi di bagian luar (*Primary Shrinkage*) dan/atau di dalam produk cor (*Secondary Shrinkage*). *Primary Shrinkage* ditandai dengan munculnya cekungan akibat kesalahan desain *gating system* atau *riser*. Sebab ukuran dan penempatan *riser*, *gating system* perlu mempertimbangan perbedaan ketebalan yang ekstrim, suhu tuang dan *directional solidification*.

Hasil evaluasi terhadap produk cor yang tersedia, cacat penyusutan dimungkinkan muncul akibat kesalahan desain saluran tuang dan *riser*, sehingga *gating system* dan penambah (*riser*) tidak berfungsi secara optimal. Selain itu, cacat penyusutan juga dimungkinkan akibat suhu tuang yang terlalu tinggi akibat terjadi penumpukan panas di daerah tertentu dan hal ini akan berakibat coran tidak bisa membeku secara serempak, karena *solidification contraction* terjadi di bagian terakhir yang mengalami

pembekuan. Selain hal di atas, untuk lebih jelasnya, faktor penyebab masalah cacat tuang penyusutan pada aluminium ADC 12 sistem *gravity-die-casting* masing-masing faktor penyebab permasalahan dijabarkan dalam bentuk diagram tulang ikan (*fishbone*) terlihat seperti pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Diagram tulang ikan cacat tuang penyusutan.

Faktor manusia yakni perlakuan *raw material*, proses *degassing*, operator kurang terlatih, operator tidak disiplin, implementasi SOP peleburan, cetakan, dan penuangan. Faktor bahan yakni kebersihan *raw material*, lama *holding time* cairan, suhu peleburan dan suhu tuang. Faktor alat yakni peralatan *degassing* dan peleburan, ketebalan cetakan, dan suhu cetakan. Faktor metode yakni desain *casting*, *gating system* dan penambah, implementasi proses produksi, perbedaan ukuran ketebalan, implementasi parameter *casting*. Faktor lingkungan yakni kondisi suhu dan kelembapan di sekitar lingkungan kerja.

Diagram Tulang Ikan Cacat Tuang Porositas

Aluminium dalam kondisi cair termasuk dalam golongan logam yang mudah menyerap gas *hydrogen* dari sekelilingnya (udara lembab, *grease* dan oli, kandungan air dalam *crucible*, dan lain-lain). Selain itu, akibat proses solidifikasi yang berlangsung cepat pada aluminium, hal ini juga akan mengakibatkan gas *hydrogen* terjebak dalam aluminium dan akan mengakibatkan keropos. Cacat porositas pada paduan aluminium cor akan memberi pengaruh buruk pada kekuatan mekanik serta kesempurnaan hasil coran. Secara umum, cacat tuang porositas dikarenakan akibat pengendalian terhadap suhu lingkungan peleburan, suhu tuang, suhu cetakan yang masih kurang baik, sehingga akan mengakibatkan penyerapan gas *hydrogen* dalam cairan tinggi, dan metode pengeluaran gas *hydrogen* yang terjebak dalam cairan logam selama proses peleburan dan penuangan berlangsung belum optimal. Faktor penyebab permasalahan dijabarkan dalam bentuk diagram tulang ikan (*fishbone*) terlihat seperti pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Diagram tulang ikan cacat tuang porositas.

Berdasarkan diagram tulang ikan (*fishbone*) pada Gambar 11, terdapat empat faktor penyebab cacat tuang porositas. Faktor manusia yakni desain *casting*, *gating system* dan penambah, perlakuan cairan logam, operator peleburan, operator penuangan, dan implementasi SOP. Faktor bahan yakni *holding time* cairan dalam dapur, waktu peleburan, suhu peleburan, komposisi bahan, kelembaban kebersihan *raw material*. Faktor alat yakni ketebalan cetakan, lubang ventilasi cetakan, peralatan *degassing* dan *riser*, serta *gating system*. Faktor metode yakni perancangan *casting*, *gating system* dan *riser*; proses *degassing*, *coating* cetakan.

Diagram Tulang Ikan Cacat Tuang Salah Alir

Cacat salah alir (*mis-run*) terjadi berdasarkan data pengamatan proses produksi, sebagian besar terjadi pada awal-awal proses produksi berlangsung. Cacat salah alir terjadi akibat adanya perbedaan dimensi ukuran yang tidak seragam pada coran, rendahnya suhu cetakan, dan kecepatan tuang yang lambat. Faktor penyebab permasalahan dijabarkan dalam bentuk diagram tulang ikan (*fishbone*) terlihat seperti pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Diagram tulang ikan cacat tuang salah alir.

Berdasarkan Gambar 12, terdapat empat faktor penyebab permasalahan munculnya cacat salah alir. Faktor manusia yakni operator peleburan dan penuangan, *coating* cetakan, implementasi SOP, kecepatan tuang. Faktor bahan yakni *raw material*, mampu alir bahan; suhu lebur dan suhu tuang. Faktor alat yakni peralatan *degassing*, ventilasi cetakan, ketebalan cetakan, *riser* dan *gating system*. Faktor metode yakni proses *degassing* i, *holding time* cairan, desain *casting*, *riser* dan *gating system*.

Tahap Do

Tahapan pemberian rekomendasi pada pimpinan terkait dari tim pengendalian kualitas yang

mengusulkan untuk melakukan proses perbaikan terhadap faktor penyebab cacat tuang. Rekomendasi diberikan berdasarkan jenis faktor penyebab permasalahan yang telah ditemukan. Hanya terdapat empat faktor dari lima faktor yang menjadi penyebab permasalahan cacat tuang.

Faktor Manusia

Perusahaan bersifat *Job Order*, sehingga jenis produk yang diproduksi selalu berubah-ubah. Tim Pengendalian merekomendasikan untuk mengatasi penyebab permasalahan cacat tuang penyusutan, porositas, salah alir, dan keropos sebelum awal proses produksi, perlu diadakan pengarahan teknis terhadap karyawan bagian yang terkait dengan produk yaitu bagian desain, cetakan, peleburan, dan penuangan secara langsung tentang rencana tahapan proses sesuai Sistem Operasional Prosedur (SOP), dan perlu uji coba proses produksi yang dipimpin langsung oleh pimpinan sebelum proses produksi dijalankan.

Faktor Mesin/Alat

Proses pembakaran (*burner* dan *blower*), proses *degassing*, kompresor, dan mesin cetak yang tidak sempurna akibat mesin atau alat sering mengalami gangguan (*error*), menjadi penyebab utama coran mengalami cacat tuang, diantaranya porositas, keropos, penyusutan, dan salah alir. Oleh karena itu, pemeriksaan secara rutin terhadap mesin *blower*, *burner* pembakar dapur lebur, peralatan *degassing*, alat semprot *coating* permukaan rongga cetak, dan pengukur suhu cairan logam, harus dilakukan sesuai standar SOP untuk menjamin unjuk kerjanya, sehingga selama aktivitas pengecoran berlangsung, tidak ada gangguan. Selain itu, tim pengendali menyampaikan rekomendasi pada pimpinan mengenai diperlukan adanya pengawasan dan pendampingan terhadap operator bagian peleburan cetakan, dan penuangan secara aktif.

Faktor Bahan

Faktor bahan dalam pengecoran akan menyumbang penyebab timbulnya cacat tuang. Oleh karena itu, perlu adanya Sistem Operasional Prosedur (SOP) terhadap perlakuan cairan logam sebelum dan saat dituangkan ke dalam cetakan. Perlakuan mulai dari cara perlakuan, penyimpanan, ukuran dari *raw material* (ingot dan skrap balik), perlakuan selama proses peleburan, dan cara/metode penuangan. Jenis rekomendasi yang disampaikan kepada pimpinan diantaranya terkait permintaan adanya Standar Operasional Prosedur (SOP) tentang standar desain, cetakan, peleburan, penuangan, dan pembongkaran *casting*.

Faktor Metode

Penerapan metode dalam proses pengecoran baik metode pencetakan, peleburan, dan penuangan yang tidak tepat akan menjadi penyebab terjadinya cacat tuang. Bentuk rekomendasi yang disampaikan pada pimpinan diantaranya yaitu diperlukan untuk

memaksimalkan penerapan standar kerja untuk tiap-tiap bagian, dengan disediakan alat dan diadakan pelatihan untuk operator terkait yang masih belum maksimal.

Pelaksanaan Tindakan Perbaikan

Langkah selanjutnya, tim pengendali menyerahkan rekomendasi yang menjadi faktor penyebab cacat tuang kepada pimpinan produksi. Pimpinan produksi beserta staf melaksanakan semua rekomendasi, dan langsung membuat tahapan rencana kegiatan (*plan*) secara konsisten dan bertanggung jawab sesuai apa yang telah digariskan oleh tim pengendali kualitas untuk mengatasi cacat tuang. Bentuk rencana kegiatan (*Plan*) dari keempat (4) faktor tersebut dijabarkan sebagai berikut.

Faktor Manusia

Merencanakan beberapa program kegiatan yang menunjang dan berkaitan dengan faktor manusia seperti melakukan kegiatan pelatihan bagi operator untuk mengurangi kesenjangan keahlian, membuat SOP terkait dengan persyaratan teknis, parameter proses dan implementasinya pada operator dengan materi yang berkaitan proses produksi pengecoran yang meliputi proses desain, pencetakan, peleburan dan *finishing*. Melakukan pengarah secara berkala tentang SOP pada awal kerja dan pendampingan pada operator produksi selama melakukan pekerjaannya. Merencanakan kegiatan *meeting* sebelum dan sesudah kerja untuk pekerjaan yang bersifat baru bagi seluruh operator terkait SOP yang harus dijalankan, parameter proses dan implementasinya selama proses produksi berlangsung. Melakukan pengawasan dan kontrol terhadap pelaksanaan kinerja karyawan yang sesuai dengan SOP, implementasi parameter proses yang dilakukan.

Faktor Metode

Mengeluarkan SOP baru tentang langkah-langkah kerja yang harus dilakukan untuk produk baru yang berkaitan dengan proses *casting* (desain, peleburan, cetakan, dan *finishing*), pengendalian parameter proses peleburan dan kontrol proses melalui SOP. Membuat SOP mengenai prosedur melakukan proses *degassing*, proses pemanasan awal *crucible*, proses *holding time*, proses penuangan. Pembuatan SOP tentang prosedur untuk melakukan penanganan permasalahan cacat tuang pada produk tuang yang dihasilkan.

Faktor Mesin/Alat

Rencana beberapa kegiatan perbaikan yang berkaitan dengan faktor mesin/alat terhadap cacat tuang yang terjadi seperti mengeluarkan SOP yang berkaitan dengan proses produksi yang meliputi prosedur menyalakan dan menjalankan dapur peleburan, mesin cetak *die-casting* dll. Melakukan pemeriksaan rutin dan mempersiapkan semua alat sebelum proses produksi dimulai, diantaranya dapur lebur, mesin cetak *die-casting*, alat *degassing*, dll. Mengawasi,

mengamati dan mencatat waktu buka tutup cetakan secara berkala selama proses produksi berjalan.

Faktor Bahan

Beberapa rencana kegiatan berkaitan dengan faktor bahan yang dilakukan untuk pengendalian cacat tuang yakni mengendalikan suhu lebur, *melting* dan kelembaban dapur lebur pada *range* yang telah ditentukan sesuai dengan SOP (670-700°C). Melakukan *metal treatment* di setiap akan memasukkan ingot ke dalam dapur selama proses peleburan dan selalu menjamin kebersihan cairan logam dengan cara melakukan proses *fluxing*, *drossing*, *alloying*, dan *degassing*. Melakukan pengecekan secara berkala selama proses peleburan berlangsung, komposisi bahan baku utama (ingot ADC 12 dan skrap balik), dan bahan pembantu.

Tahap Check

Tahap *Check* dilakukan untuk mengetahui hasil yang dicapai di Tahap *Do* sebelumnya, dan telah lulus dari Tahap *Check* dan *final check*. *Checking* dilakukan oleh seluruh karyawan pengecoran yang terlibat dari bagian desain, pola, cetakan, peleburan, dan *finishing*, diperoleh hasil untuk mengamati proses setelah diterapkan pengendalian cacat tuang dengan menggunakan metode *seven tools* dan PDCA, terhadap jumlah produk yang mengalami cacat tuang penyusutan, salah alir, porositas, keropos, dan cacat tuang lainnya. Tabel 3 berikut menunjukkan *check sheet* produk aluminium ADC 12 setelah dilakukan pengendalian.

Tabel 3. Check sheet produk aluminium ADC 13 setelah dilakukan pengendalian.

Jenis cacat tuang	Kode Cacat	Σ Cacat (pcs)	Σ Kom Cacat (pcs)	% Cacat	% Cacat Kom
Salah alir	M	2	2	4,65	4,65
Penyusutan	S	18	20	41,86	46,51
Porositas	P	9	29	20,93	67,44
Keropos	K	1	30	2,33	69,77
Cacat lain	CL	0,5	30,5	1,62	70,93

Pada tahap ini, terlihat cacat tuang penyusutan akibat *solidification contraction* dan *solid contraction* telah berkurang akibat adanya perbaikan *coating* secara merata pada permukaan cetakan, dan memperbesar serta merubah letak penambah. Begitu pula untuk cacat tuang akibat dimensi produk *hot tear* yang dilakukan dengan cara membuat dimensi cor lebih besar dari dimensi produk atau tambahan pemesinan pada daerah yang terjadi cacat. Pada cacat tuang salah alir yang banyak terjadi pada produk *cigarette rolling base*, akibat logam cair membeku terlebih dahulu sebelum mengisi seluruh rongga cetak yang dimungkinkan akibat suhu tuang terlalu rendah, perubahan geometri rongga cetak yang ekstrim, dimensi yang tidak seragam ketebalannya dan berbelok-belok, setelah dilakukan perbaikan dengan

melakukan perubahan dengan penambahan *gating system* dan perubahan penambah (*riser*) menjadi dua (2), menaikkan suhu tuang dan mempercepat laju penuangan, terlihat cacat tuang salah alir mengalami penurunan dari semula sebesar 11,62% menjadi 4,65%, dan dengan perlakuan proses *degassing* yang terkontrol, pemanasan bahan baku sebelum dimasukkan ke dalam dapur, pemanasan alat bantu cor sebelum penuangan, terlihat cacat porositas mengalami penurunan sebesar 6,97% dari semula sebesar 27,90% menjadi 20,93%, dan untuk cacat keropos terjadi penurunan sebesar 4,64% dari semula 6,97%.

Tahap Action (Standarisasi)

Fase *Action* dilakukan dengan menjalankan proses pengendalian yang telah dilakukan selama ini, agar pengendalian kualitas yang telah tercapai tidak terulang kembali. Fase *Action* dilakukan dengan memasang SOP di setiap mesin dan membuat standarisasi berdasarkan potensi masalah yang mungkin muncul berdasarkan faktor penyebab cacat tuang. Adapun standarisasi yang direkomendasikan dalam hal ini yaitu untuk faktor manusia yakni dengan standarisasi yang dibuat berupa SOP untuk peleburan, pencetakan, penuangan sebagai pedoman kerja yang dipasang pada masing-masing tempat kerja, pendampingan terhadap operator pada awal proses, dan peningkatan kompetensi keahlian operator melalui pelatihan internal perusahaan atau eksternal, faktor penyebab karena tidak adanya standar baku proses peleburan, penuangan, dan pencetakan yang terpasang pada lokasi kerja. Faktor mesin berupa standarisasi yang dibuat yakni jadwal perawatan mesin peleburan, cetak, *degassing*, dan alat bantu lainnya, untuk mengatasi cacat tuang penyusutan, salah alir, porositas, keropos, dan lainnya. Faktor metode berupa standarisasi yang dibuat yaitu melakukan pembesaran dan mengatur arah pembekuan, tebal *coating*, memperbesar *riser*, dan *gating system* untuk mengatasi *liquid contraction*, dan *solidification contraction*. Faktor bahan berupa standarisasi yang dilakukan untuk mengatasi lama *holding time*, terlalu tinggi suhu tuang, suhu lebur dan banyak *dross* dengan cara memperbanyak cetakan permanen, *burner* pemanas dipasang sensor DHT 11.

4. Kesimpulan

Faktor X dari lima faktor penyebab cacat tuang akan selalu muncul di setiap saat proses pengecoran logam jika tidak terkendali. Oleh karena itu, pengendalian cacat tuang perlu dilakukan sejak awal hingga akhir proses untuk memperoleh hasil produksi sesuai yang direncanakan. Seorang ahli cor tidak bisa menjamin produk cor yang dihasilkan akan terbebas dari cacat tuang, mereka hanya mampu memprediksi dan meminimalisir serendah mungkin cacat tuang yang muncul, yakni dengan melakukan kontrol pengendalian sesuai SOP yang berlaku di industri,

mulai dari bagian divisi desain, cetakan, penuangan, dan peleburan.

Dampak kegagalan dalam salah satu tahapan proses akan menyebabkan hasil produk cor di *reject*. Hal ini akan menyebabkan semakin tinggi biaya produksi yang harus ditanggung oleh perusahaan, penggunaan mesin semakin tinggi, keterlambatan produksi dan pengerjaan ulang tinggi, maka pengendalian proses produksi sangat diperlukan dan harus dijalankan di setiap tahapan proses pengecoran logam, agar produktivitas dan keuntungan meningkat, keseragaman kualitas, serta sebaran toleransi menurun.

Daftar Pustaka

- [1] Rafael Colas, 2003, Handbook of Aluminium Volume 2 Alloy Production and Material Manufacturing, Casting, Copyright, 2006 Marcel Dekker, Inc.
- [2] Setyo Nugrowibowo, Moh Ririn Rosyid, 2023, Pengendalian Kualitas Produk Aluminium Alloy Wheel Dengan Metode Seven Tools dan PDCA, Jurnal Informasi, Sains, dan Teknologi, 06 (1) (2023).
- [3] Wahyono Suprpto, 2011, Porositas Gas Pada Material Duralumin Dalam Pengecoran Sistem Vakum, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Metalurgi Dan Material, Universitas Indonesia. Jakarta.
- [4] B. Ravi, 2023, Throbleshooting and Optimization of Aluminium Alloy Casting: Myths and Bottlenecks Technical Presentation at National Conference on Aluminium Casting, ALUCAST Pane, Desember 4-6.
- [5] Sharma, C., Bhatia, O.S., & Ucharia, V. 2015. A Quality Approach to Control Casting. International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science, 3 (6), 42-53.
- [6] Serope Kalpakjian., Steven Schmid. 2006. Manufacturing Engineering and Technology. Fifth Edition in SI Unit, Published by Prentice Hall, Pearson Education South Asia Pte Ltd, Singapore.
- [7] John L. Jorstad., Wayne M. Rasmussen. 2001. Aluminum Casting Technology. 2nd Edition, American Foundry Society, Des Plaines, Illinois.
- [8] Haizhi Ye., 2003. An Overview of the Development of Al-Si-Alloy Based Material for Engine Application. JMEPEG 12:288-297, ASM Internasional.
- [9] S.Suzuki., T-B Kim., H Nakajima. 2009. Fabrication of Al-Cu alloy with elongated pores by continuous casting technique, Journal of Physics: Conference Series 165, 012068 doi:10.1088/1742-6596/165/1/012068.
- [10] Ch. Pequet., M. Gremaud., and M. Rappaz. 2002. Modeling of Microporosity, Macroporosity, and Pipe-Penyusutan Formation During Solidification of Alloys Using a Mushy-Zone Refinement Method: Applications to Aluminum

- Alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, Volume 33A, 2095-2106
- [11] Serope Kalpakjian., Steven Schmid. 2006. Manufacturing Engineering and Technology. Fifth Edition in SI Unit, Published by Prentice Hall, Pearson Education South Asia Pte Ltd, Singapore.
- [12] John L. Jorstad., Wayne M. Rasmussen. 2001. Aluminum Casting Technology. 2nd Edition, American Foundry Society, Des Plaines, Illinois.
- [13] Nasution, M. N., 2005, Manajemen Mutu Terpadu (Total Quality Management), Ghalia Indonesia, Bogor.
- [14] Varsha M. Magar, Dr. Vilas B. Shinde (2014), "Application of 7 Quality Control (7 QC) Tools for Continuous Improvement of Manufacturing Processes", International Journal of Engineering Research and General Science Volume 2, Issue 4, June-July, 2014 ISSN 2091-2730.
- [15] Ulkhaq, M.M.,Pramono,S.N., dan Halim, R. (2017). Aplikasi Seven Tools Untuk Mengurangi cacat Produk Pada Mesin Communitte Di PT Mascom Graphy, Semarang, XI (3), 220-230.