

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian terdahulu mengatakan bahwa dalam proses pengecoran logam, seringkali ditemui berbagai permasalahan yang menyebabkan produk yang dihasilkan mengalami kecacatan produksi. Salah satu kecacatan produksi yang dijumpai dalam industri pengecoran logam ialah *shrinkage*. *Shrinkage* terjadi akibat adanya penyusutan massa ketika proses pengecoran karena adanya perbedaan kecepatan pembekuan produk (Syah *et al.*, 2017).

Shrinkage dapat terjadi apabila produk pengecoran tidak mendapatkan suplai cairan logam ketika proses pembekuan. Salah satu hal yang dapat memengaruhi produk tidak mendapat suplai cairan logam ialah ketika *riser* pada cetakan membeku terlebih dahulu, sehingga menyebabkan produk tidak mendapat suplai cairan logam yang cukup ketika proses pembekuan (Kusuma *et al.*, 2014). Bentuk *riser* yang digunakan dalam cetakan juga memengaruhi efektivitas riser ketika menjadi reservoir cairan logam.

Cacat *shrinkage* pada pengecoran logam dapat juga terjadi akibat pengaruh dari desain produk yang dihasilkan. Desain produk dengan nilai ketebalan atau luas permukaan yang lebih besar dapat menyebabkan cacat *shrinkage*. Pada kondisi tersebut, suhu panas terkumpul pada titik paling tebal atau permukaan terluas pada produk sehingga mengalami pembekuan paling akhir (Kristiadi *et al.*, 2017). Dengan begitu, menyebabkan cairan logam yang belum membeku menyuplai bagian lain.

Berdasarkan kecacatan produk yang dihasilkan, peneliti-peneliti terdahulu melakukan perbaikan proses pengecoran dengan menggunakan berbagai metode. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Saragih dan Karmiadi, 2022) metode yang digunakan peneliti untuk memperbaiki proses dalam menanggulangi *shrinkage* ialah dengan simulasi menggunakan *software* SolidCast. Hal yang perlu diperhatikan sebelum melakukan simulasi ialah temperatur cairan, menghitung waktu penuangan, mendesain saluran masuk, menghitung *runner area*, dan melakukan perhitungan terhadap *riser*. Penelitian dengan metode simulasi juga dilakukan oleh (Futas *et al.*, 2024), (Noviaty *et al.*, 2022) dan (Sidharta, 2018). Penelitian dengan

metode simulasi menghasilkan produk dengan persentase *shrinkage* seminimal mungkin.

Pendekatan yang dilakukan oleh (Arifin *et al.*, 2019) dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi dan *software* ProCast untuk meninjau hasil dari perancangan yang dilakukan. Melalui metode Taguchi, dapat mengetahui hasil dari ketinggian *sprue* dengan nilai paling optimal berdasarkan perhitungan menggunakan karakteristik *smaller is better*. Selain menggunakan metode Taguchi, pengendalian terhadap produk *shrinkage* juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Six Sigma* seperti yang dilakukan oleh (Christy, 2018). Melalui pendekatan *Six Sigma* diperoleh kesimpulan bahwa kegiatan produksi yang dilakukan memiliki kualitas yang kurang baik dan memerlukan perbaikan proses. Selain itu, dilakukan penggabungan 2 metode yaitu *Six Sigma* dan Taguchi oleh (Omprakas *et al.*, 2021) untuk mengatasi permasalahan cacat *shrinkage* pada proses pengecoran.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Effendi *et al.*, 2018), cacat *shrinkage* ditemui pada proses produksi produk Flywheel, dan kemudian dilakukan evaluasi pada sistem menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). FMEA dilakukan untuk mengetahui kegagalan dan pengaruh dari kegagalan sistem produksi. Pada FMEA dilakukan identifikasi tingkat keparahan dari kegagalan sistem menggunakan variabel keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan deteksi kegagalan (*detection*). Hasil dari perhitungan akan menunjukkan seberapa parah dan saran perbaikan yang akan diberikan.

Untuk mengatasi cacat *shrinkage* dapat diatasi dengan menambah variasi bahan baku pembuatan *core* cetakan seperti yang dilakukan oleh (Julian dan Handoyo, 2020). Bahan baku pembuatan *core* umumnya menggunakan pasir resin. Namun, dilakukan percobaan pembuatan *core* cetakan dengan coran besi. Setelah dilakukan proses simulasi dan analisis dari hasil simulasi, cacat penyusutan dengan *core* coran besi lebih sedikit dibandingkan dengan *core* pasir resin. Biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan *core* coran besi juga lebih sedikit dibandingkan dengan pembuatan *core* pasir resin.

Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka

Peneliti	Tahun	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Syah <i>et al.</i>	2017	Poros engkol	Cacat penyusutan rongga poros engkol	Pengendalian bentuk cetakan, simulasi dengan Solidworks	Perubahan bentuk cetakan, pengoptimalan suhu pengecoran, dan ketinggian penuangan dapat meniadakan penyusutan pada poros engkol
Kusuma <i>et al.</i>	2014	Aluminium 6061	Cacat penyusutan (<i>shrinkage</i>) pada pengecoran Aluminium 6061	Simulasi percobaan langsung	Perubahan variasi pada dimensi internal <i>chill</i> dapat menurunkan persentase cacat <i>shrinkage</i>
Kristiadi <i>et al.</i>	2017	Produk pengecoran logam timah Sn-Pb	Cacat <i>shrinkage</i> pada proses pengecoran menggunakan cetakan pasir	Pengendalian bentuk cetakan, simulasi perubahan desain gating system	Proses pengecoran menghasilkan variasi dengan porositas yang lebih rendah
Edyanto dan Kamiadji	2022	Boggie Wheel Tank AMX-13	Cacat penyusutan (<i>shrinkage</i>) pada proses pengecoran pembuatan <i>boogie wheel</i>	Simulasi dengan SolidCast	Simulasi menggunakan <i>software</i> SolidCast dengan memodifikasi suhu, waktu penuangan, modifikasi <i>gating system</i> , dan <i>riser</i> dapat mengurangi cacat <i>shrinkage</i>

Tabel 2.1. Lanjutan

Peneliti	Tahun	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Noviaty <i>et al.</i>	2022	Bottom bracket	Cacat penyusutan pada proses pengecoran <i>bottom bracket</i> akibat pengaruh saluran pada cetakan	Simulasi dengan Magma, Numerical Analysis (CAE)	Pengoptimalan desain <i>riser</i> dan <i>internal chill</i> dapat menekan terjadinya cacat <i>shrinkage</i> dan hasil pembekuan lebih terarah
Sidharta	2018	Produk sepeda motor listrik	Cacat penyusutan pada produk <i>casing</i> CVT dengan proses <i>sand casting</i> dan <i>gravity die casting</i>	Simulasi dengan Solidworks	Perubahan desain dengan menambah ketebalan dinding <i>casing</i> dapat menghilangkan cacat <i>shrinkage</i>
Arifin <i>et al.</i>	2019	Propeller kapal	Cacat penyusutan pada proses pengecoran <i>propeller</i> kapal	Taguchi, simulasi dengan ProCast	Bentuk <i>runner</i> dan tinggi <i>sprue</i> dapat memengaruhi tingkat cacat <i>shrinkage</i> yang dihasilkan
Christy	2018	PT. Meshindo Alloy Wheel	Cacat penyusutan pada proses pengecoran akibat cairan membeku terlebih dahulu ketika proses penuangan produk Alloy Wheel	<i>Six Sigma</i>	Mencari akar permasalahan penyebab <i>shrinkage</i> dan melakukan perbaikan terhadap prioritas potensi kegagalan yang dihasilkan

Tabel 2.1. Lanjutan

Peneliti	Tahun	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Effendi <i>et al.</i>	2018	PT. X	Persentase cacat penyusutan yang cukup tinggi pada produksi <i>Flywheel</i>	FMEA	Memastikan temperatur penuangan sesuai dan pembuatan lubang angin yang cukup pada cetakan dapat memperbaiki cacat <i>shrinkage</i>
Julian dan Handoyo	2020	Nipple Kuningan	Cacat penyusutan yang timbul pada produk <i>nipple</i> kuningan menggunakan bahan dasar <i>core</i> cetakan yang berbeda	Simulasi percobaan langsung	Menggunakan <i>core</i> berbahan besi dapat mengurangi angka penyusutan
Futas <i>et al.</i>	2024	Brake Disc	Penempatan riser tidak efektif untuk meminimalisir adanya cacat <i>shrinkage</i> pada komponen Brake Disc	Simulasi dengan Solidworks	Melakukan perancangan ulang terkait penempatan riser dan disesuaikan dengan kebutuhan pabrik menggunakan <i>software</i> simulasi

Tabel 2.1. Lanjutan

Peneliti	Tahun	Objek Penelitian	Permasalahan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Omprakas <i>et al.</i>	2021	External Bearing Ring	Adanya cacat penyusutan atau <i>shrinkage</i> pada proses produksi komponen External Bearing Ring yang memiliki bentuk dan ukuran kompleks	Six Sigma, Taguchi	Memperoleh kombinasi nilai optimum dengan menggunakan metode Six Sigma dan melakukan pengujian parameter menggunakan Taguchi, sehingga diperoleh solusi optimal berdasarkan percobaan yang dilakukan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan teori yang digunakan dalam keilmuan teknik industri dalam melakukan kontrol kualitas selama proses produksi. Materi terkait pengendalian kualitas diperoleh ketika mempelajari mata kuliah Pengendalian Kualitas dengan kode mata kuliah TIND36503. Dalam pembelajaran yang dilakukan, pengendalian kualitas meliputi meminimalisir variasi produk, efisiensi proses produksi, hingga meningkatkan kualitas produksi pada perusahaan terkait.

Dalam suatu perusahaan manufaktur, kualitas merupakan salah satu faktor utama untuk meningkatkan persaingan dan mencapai kesuksesan. Kualitas dapat didefinisikan menjadi berbagai arti oleh para ahli. Hal yang dapat digunakan untuk mendefinisikan kualitas ialah terkait pada performansi, fitur, keandalan, kesesuaian, ketahanan, kemudahan dalam perbaikan, estetika, dan kualitas yang dirasakan (Hilary dan Wibowo, 2021). Dalam proses produksi diperlukan standar kualitas sebagai acuan dalam meningkatkan kepuasan pelanggan dan meminimalisir adanya kecacatan produk dalam jumlah banyak. Dengan begitu, diperlukan pengendalian kualitas untuk menjamin agar produk yang dihasilkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan (Ratnadi dan Suprianto, 2016).

Tujuan dilakukannya pengendalian kualitas ialah agar ketika melakukan pemeriksaan dapat dilakukan secara efektif untuk meminimalkan biaya proses yang dikeluarkan. Biaya proses yang dikeluarkan dapat meliputi biaya produksi, biaya perbaikan, dan biaya inspeksi (Prihastono dan Amirudin, 2017). Melalui penerapan pengendalian kualitas dapat berpengaruh pada segmen pasar dan biaya. Melalui pengendalian kualitas dapat meningkatkan penjualan dan harga barang akibat dari meningkatnya produktivitas dan meminimalisir biaya produksi akibat penggantian barang cacat (Herlina *et al.*, 2021). Dengan begitu, adanya pengendalian kualitas dapat digunakan sebagai sarana untuk meningkatkan keuntungan perusahaan dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

2.2.2. Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan teori yang dapat dipelajari pada mata kuliah Pengendalian Kualitas dengan kode mata kuliah TIND36503. Dalam pembelajaran, Metode Taguchi diperkenalkan sebagai alat untuk melakukan kontrol atau pengendalian kualitas pada proses produksi. Manfaat yang diperoleh dari pengendalian proses menggunakan Metode Taguchi ialah dapat

meningkatkan efektivitas dan efisiensi produksi, hingga kualitas dari produk yang dihasilkan.

Metode Taguchi merupakan suatu metode yang digunakan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses, sehingga dapat menekan biaya dan *resource* seminimal mungkin (Ermawati dan Hartati, 2014). Karakteristik kualitas yang terukur dalam Metode Taguchi terbagi menjadi 3, yaitu, *Normal is The Best*, *Smaller The Better*, dan *Larger The Better*. Berikut merupakan langkah yang dilakukan dalam penerapan Metode Taguchi (Anggraini *et al.*, 2017).

- a. Merumuskan masalah yang akan diselidiki
- b. Menetapkan tujuan penelitian dengan menentukan sebab akibat permasalahan yang akan dihadapi
- c. Menentukan variabel tak bebas
- d. Melakukan identifikasi faktor variabel bebas dengan *Fishbone Diagram*
- e. Memisahkan faktor kontrol dan faktor gangguan
- f. Menentukan jumlah level dan nilai level faktor
- g. Melakukan perhitungan *degree of freedom*

$$\text{Dof untuk faktor A} = n_A - 1$$

$$\text{Dof untuk interaksi faktor A dan B} = (n_A - 1) \times (n_B - 1)$$

$$\text{Jumlah total Dof} = (n_A - 1) \times (n_B - 1) + (n_A - 1) \times (n_B - 1) \quad (2.1)$$

Keterangan:

n_A = Jumlah level pada faktor A

n_B = Jumlah level pada faktor B

- h. Memilih matriks orthogonal yang sesuai
- i. Melakukan penempatan kolom untuk faktor dan interaksi ke matriks *orthogonal*
- j. Melakukan persiapan percobaan, serta menentukan jumlah replikasi dan randomisasi penelitian
- k. Melakukan analisis variansi Taguchi

$$\text{Jumlah Kuadrat Total} = SS_T = \sum_{i=1}^n y^2 \quad (2.2)$$

Keterangan:

y^2 = Hasil percobaan

$$\text{Jumlah Kuadrat Faktor A} = SS_A = \sum_{i=1}^{KA} \frac{A_i^2}{n_{Ai}} - \frac{T^2}{n} \quad (2.3)$$

Keterangan:

KA = Koefisien A

A_i = Rata-rata nilai respons level ke-i pada Faktor A

n_{Ai} = Jumlah percobaan tiap level pada Faktor A

T = Jumlah nilai seluruh percobaan

$$\text{Jumlah Interaksi AxB} = SS_{AxB} = \frac{(\text{Total AxB1})^2}{n_1} + \frac{(\text{Total AxB})^2}{n_2} - \frac{(\text{Total AxB})^2}{n_1 + n_2} \quad (2.4)$$

Dalam menentukan jumlah kuadrat error, diperoleh dari selisih jumlah kuadrat total dengan jumlah kuadrat total.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AxB} + SS_E, \text{ maka}$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} \quad (2.5)$$

Keterangan:

SS_E = Jumlah Kuadrat Error

Kemudian, dilakukan uji hipotesa F untuk membuktikan perbedaan perlakuan dan pengaruh faktor dalam percobaan.

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{variansi karena perlakuan} + \text{variansi error}}{\text{variansi error}} \quad (2.6)$$

Kemudian, dilakukan perhitungan untuk Rasio S/N untuk menentukan faktor yang berkontribusi terhadap pengurangan variasi suatu respon. Berikut rumus perhitungan Rasio S/N dinilai baik jika karakteristik kualitas semakin kecil (*Smaller is Better*).

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \quad (2.7)$$

Keterangan:

S/N = *Signal to Noise Ratio*

n = Jumlah percobaan

y_i = Nilai hasil

Berikut rumus perhitungan Rasio S/N dinilai baik jika karakteristik kualitas semakin besar (*Larger the Better*).

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.8)$$

Berikut rumus perhitungan Rasio S/N dinilai baik jika karakteristik kualitas mendekati nilai target (*Normal is the Best*).

$$S/N = -10 \log_{10} \left(\frac{y^2}{s^2} \right) \quad (2.9)$$

Keterangan:

s^2 = Variasi hasil

2.2.3. Pengecoran Logam

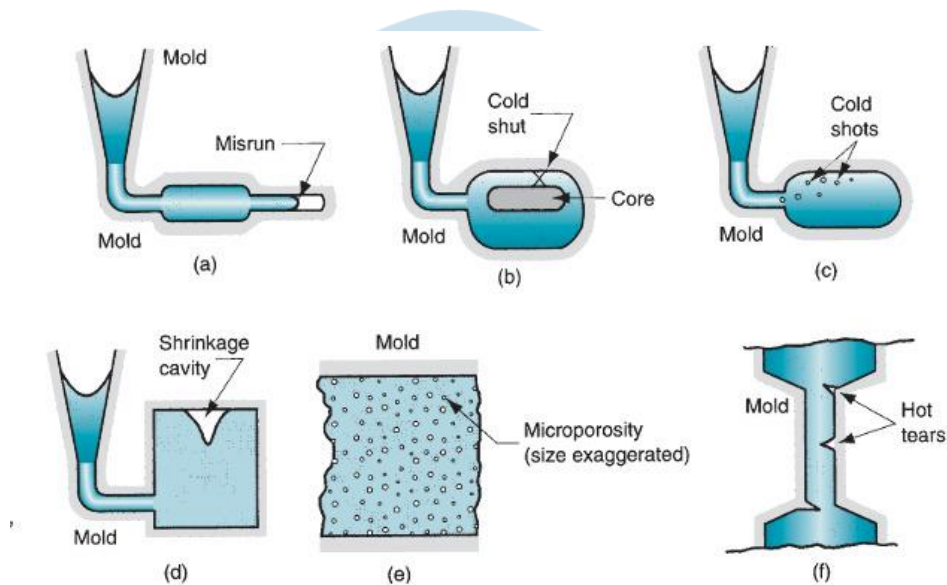
Teori terkait pengecoran logam dapat dipelajari pada mata kuliah Proses dan Biaya Manufaktur dengan kode mata kuliah TIND20302. Pada mata kuliah tersebut tidak hanya diajarkan terkait teori pengecoran saja, melainkan simulasi dan praktek proses pengecoran logam. Simulasi dan praktek dilakukan guna mengetahui kemungkinan terjadinya cacat produk pada proses pengecoran dan mengetahui secara langsung terkait proses pengecoran logam.

Proses pengecoran logam merupakan proses manufaktur menggunakan cairan logam yang dituangkan pada cetakan untuk menghasilkan suatu produk yang diinginkan (Andika *et al.*, 2021). Proses pengecoran logam dapat terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *permanent mold* dan *expendable mold*. *Permanent mold* merupakan proses pengecoran logam yang dilakukan dengan menggunakan cetakan permanen, sedangkan *expendable mold* merupakan proses pengecoran logam dengan menggunakan cetakan sekali pakai.

Proses pengecoran logam menggunakan cetakan permanen terdiri dari beberapa jenis, yaitu *centrifugal casting*, *die casting*, dan *low-pressure casting*. Pengecoran logam menggunakan cetakan sekali pakai terdiri dari *sand casting*, *shell molding*, dan *lost foam casting*. Dalam menggunakan cetakan permanen, cetakan dapat digunakan berulang kali dan tidak perlu melakukan pembongkaran cetakan ketika cairan logam sudah membeku seperti ketika menggunakan cetakan sekali pakai. Penggunaan cetakan sekali pakai dinilai kurang efektif dan efisien karena ketika

akan melakukan proses pengecoran harus dilakukan pembuatan cetakan terlebih dahulu menggunakan pola. Namun, penggunaan cetakan permanen akan mengeluarkan biaya cetakan yang lebih tinggi (Andika dan Subekti, 2022).

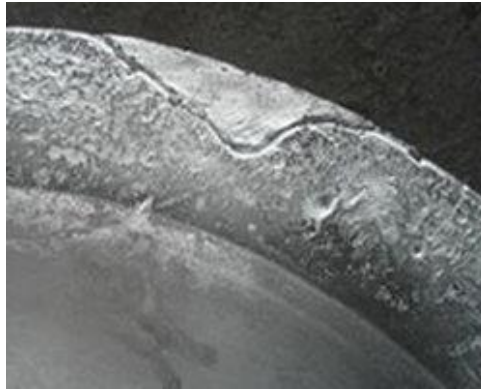
Kesalahan yang dilakukan dalam proses pengecoran logam dapat menimbulkan berbagai jenis cacat produksi. Berikut merupakan cacat produksi yang terjadi pada proses pengecoran logam pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1. a) Mis-run b) Cold-shut c) Cold-shots d) Shrinkage Cavity
e) Microporosity f) Hot Tears**

(Sumber: Groover, 2021, p. 249)

- a. *Cold-shut*: terjadi ketika proses penuangan yang dilakukan terlalu lama atau suhu cairan terlalu rendah. *Cold shut* dapat diidentifikasi melalui terbentuknya lapisan logam akibat proses pembekuan yang tidak bersamaan (Groover, 2021). Berikut merupakan contoh cacat *Cold shut* dalam pengecoran logam pada Gambar 2.1.



Gambar 2.2. Contoh Cacat *Cold-shut*

(Sumber: https://www-iron--foundry-com.translate.goog/casting-defects-pictures.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=imgs)

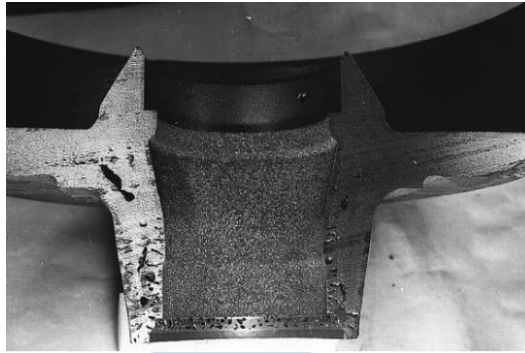
- b. *Mis-run*: terjadi ketika cairan logam tidak dapat mengalir sempurna pada cetakan akibat dari kesalahan pada komposisi cairan, maupun desain saluran masuk yang kurang baik (Groover, 2021). Berikut merupakan contoh cacat *Mis-run* dalam pengecoran logam pada Gambar 2.2.



Gambar 2.3. Contoh Cacat *Mis-run*

(Sumber: https://www-iron--foundry-com.translate.goog/casting-defects-pictures.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=imgs)

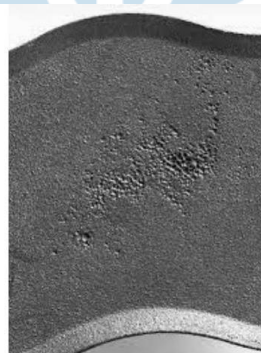
- c. *Shrinkage*: terjadi ketika penyusutan produk pengecoran tidak mendapat cukup suplai cairan logam, sehingga akan terbentuk rongga pada bagian dalam produk saat proses pembekuan (Groover, 2021). Berikut merupakan contoh cacat *Shrinkage* dalam pengecoran logam pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4. Contoh Cacat *Shrinkage*

(Sumber: <https://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/Encyclopedia/show/dispersed-shrinkage-3866/?cHash=9bec6921187bcf58644b31364b458157>)

- d. *Pin hole*: terjadi ketika terdapat udara yang terjebak diantara pasir dan cairan logam, sehingga menyebabkan lubang pada permukaan produk (Groover, 2021). Berikut merupakan contoh cacat *Pin hole* dalam pengecoran logam pada Gambar 2.4.



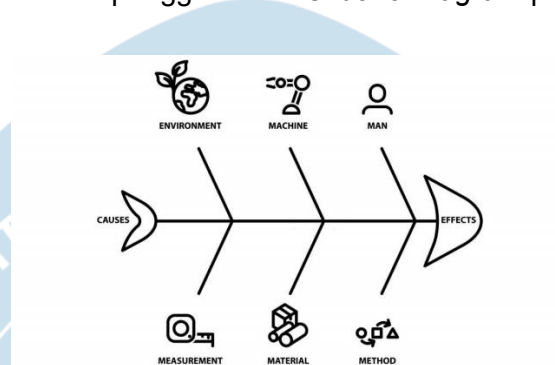
Gambar 2.5. Contoh Cacat *Pin Hole*

(Sumber: https://www.easiahome.com/comprehensive-guide-to-types-of-casting-defects/#elementor-toc__heading-anchor-7)

2.2.4. *Fishbone Diagram*

Teori terkait penerapan Fishbone Diagram dipelajari pada mata kuliah Proses dan Biaya Manufaktur dengan kode mata kuliah TIND36503. Pada pembelajaran yang dilakukan Fishbone Diagram digunakan sebagai alat untuk menganalisis permasalahan dari produk yang dibuat pada mata kuliah Proses dan Biaya Manufaktur. Melalui penerapan Fishbone Diagram, dapat dilakukan perbaikan pada produk berdasarkan akar permasalahan yang ada.

Fishbone Diagram merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kualitas dan sebab akibat terjadinya suatu permasalahan yang diperkenalkan oleh Prof. Kaoru Ishikawa tahun 1943. Dalam melakukan identifikasi, terdapat 6 faktor utama yang perlu diperhatikan, yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*), metode (*method*), bahan baku (*material*), pengukuran (*measurement*), dan lingkungan (*environment*) (Ekoanindiyo, 2014). Berikut merupakan contoh penggunaan *Fishbone Diagram* pada Gambar 2.5.



Gambar 2.6. Contoh Fishbone Diagram

(Sumber: <https://brainsensei.com/9-steps-for-constructing-a-fishbone-diagram/>)