

Analisis Penerapan Konsep *Lean Manufacturing* pada Penurunan *Defect Knuckle Arm Steering* dengan Metode PDCA di PT.PQR

Andira¹, Dwi Haryanto²

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Presiden,
Jababeka Education Park, Jl. Ki Hajar Dewantara Kota Jababeka, Bekasi 17550, Indonesia

¹andira@president.ac.id, ²dwhryi@gmail.com

Abstrak

PT.PQR merupakan perusahaan yang memproduksi casting untuk produk otomotif. Berdasarkan data dari departemen *Quality Control*, terdapat beberapa produk dengan tingkat *defect* yang tinggi dan produk tersebut berstatus scrap sehingga efisiensi perusahaan menurun. Kondisi ini sangat merugikan bagi perusahaan karena akan menambah biaya yang seharusnya tidak perlu dikeluarkan. Oleh karena itu dilakukan penelitian penyebab terjadinya cacat dan solusi perbaikan. Hasil pengamatan didapatkan bahwa data selama Januari - Maret 2017 produk knuckle arm steering memiliki tingkat *defect* sebesar 20.04% dengan *macro shrinkage* sebagai penyumbang terbesar. Pada bulan Maret-Juli 2017 dilakukan upaya perbaikan dengan konsep *lean manufacturing* dengan metode PDCA. Hasil dari perbaikan ini memberikan perbaikan kualitas produk knuckle arm steering sehingga *defect* berkurang 15.01% menjadi 5.03%. Kemudian biaya yang dikeluarkan sebelum perbaikan adalah Rp 2.626.160,- dan sesudah perbaikan menjadi Rp 2.224.890,-.

Kata kunci: *knuckle arm steering*, *defect*, biaya, *lean manufacturing*, *macro shrinkage*

Abstract

PT. PQR produces casting for automotive products. Based on data from the Quality Control department, there are several products with high defect levels and most of defect products are categorized as scrap that make the company's efficiency decrease. This condition is very detrimental to the company because it will add costs that should not be spent. Therefore, this research is conducted on the causes of defects for finding the solutions. The results of the observation showed that the data during January - March 2017 knuckle arm steering products had a defect rate of 20.04% with macro shrinkage as the biggest contributor. In March-July 2017 improvements were made with the concept of lean manufacturing with the PDCA method. The results of these improvements provide improved quality of knuckle arm steering products so that defects are reduced by 15.01% to 5.03%. Then the cost incurred before improvement is Rp. 2,626,160 and after improvement is Rp 2,224,890

Keywords: *knuckle arm steering*, *defect*, cost, *lean manufacturing*, *macro shrinkage*

1. Pendahuluan

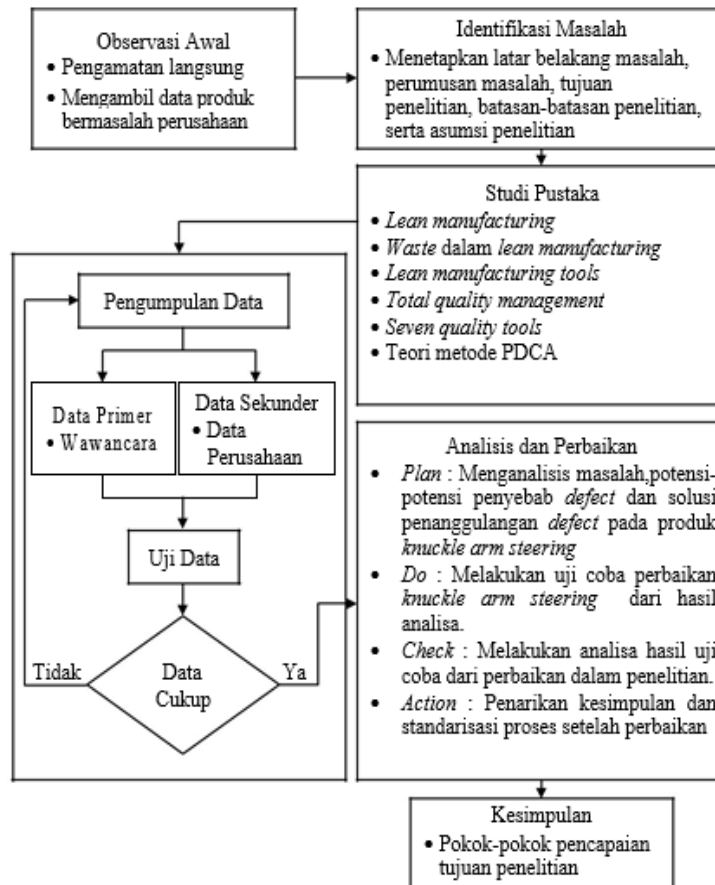
PT.PQR merupakan manufaktur automotive component yang bergerak di bidang sand casting iron. Adapun produksi perusahaan ini antara lain flywheel, exhaust manifold, disc rotor, brake drum, body caliper, knuckle arm steering, dll. Berdasarkan data produksi PT.PQR, terdapat produk knuckle arm steering dalam pengawasan karena proses pembuatannya yang memiliki beberapa masalah dengan hasil akhir yang belum stabil sehingga berpotensi terjadi defect tinggi dan dapat menimbulkan dampak buruk bagi perusahaan. Adapun data dari departemen Quality Assurance pada bulan Januari-Maret 2017 persentase defect produk yang bermasalah di PT.PQR cukup tinggi yakni 20% dan nilai ini telah melebihi standar *defect* 5%. Tingginya persentase *defect* ini, diperlukan perbaikan untuk mencari solusi penanggulangan terjadinya defect dalam proses produksi dengan target menurunkan persentase menjadi 5% agar dampak buruk bagi perusahaan tidak berkelanjutan serta dapat dikurangi sehingga dapat meningkatkan produktifitas dari perusahaan. Dengan demikian penurunan *defect* yang

akan terjadi kualitas dan kapasitas produksi akan meningkat sehingga profit perusahaan akan bertambah.

Lean manufacturing adalah manajemen proses yang berasal dari *Toyota Production System (TPS)* dimana peniadaan pemborosan (*waste*) dititikberatkan dengan tujuan peningkatan kepuasan konsumen secara keseluruhan. Proses *lean manufacturing* adalah suatu upaya terus-menerus untuk menghilangkan pemborosan (*waste*), dan untuk meningkatkan nilai tambah (*value added*) produk (barang dan atau jasa), agar memberikan hasil kepada pelanggan (*customer value*). *Lean manufacturing* harus diimplementasikan secara berkelanjutan agar dapat menghasilkan peningkatan yang diharapkan perusahaan (Fontana dan Gasperz, 2011). Toyota mengidentifikasi berbagai jenis *waste* dalam *lean manufacturing* yaitu sebagai berikut (Liker, 2003): *Over production, Waiting, Transportation, Over processing, Inventory, Motion, Defect, Unused employee's creativity*. Jenis *waste* diuraikan menjadi tiga kategori yaitu *muda, mura, dan muri* Chaudhari, dan Raut, 2017). Pengertian istilah-istilah ini adalah sebagai berikut: (1) *Muda*, yaitu aktivitas yang tidak bermanfaat atau tidak memberi nilai tambah. (2) *Mura*, yaitu ketidakmerataan atau fluktuasi kerja. (3) *Muri*, yaitu sulit untuk dilakukan, tidak beralasan, atau irasional. *Lean manufacturing* diterapkan dengan beberapa tools yang memiliki metode berbeda-beda dan pada setiap metode memiliki karakteristik pemecahan masalah (Asefeso, 2012). *Lean manufacturing* tools yang dapat digunakan yaitu 5S, TPM, JIT, Kanban, dan TQM. Metode TQM yang dikenal luas adalah Metode W.E Deming yaitu siklus *Plan-Do-Check-Action (PDCA)*. PDCA adalah suatu metodologi pemecahan masalah iteratif yang banyak diaplikasikan untuk pengendalian mutu secara statistik dan berkelanjutan. Metode ini digunakan untuk kegiatan perbaikan yang berkelanjutan. Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) Untuk mengetahui penyebab terjadinya *defect* yang mempengaruhi produktivitas dari perusahaan. (2) Untuk mendapatkan solusi penanggulangan *defect* agar produktivitas perusahaan meningkat.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan TQM dengan siklus metode PDCA agar proses perbaikan yang dilakukan secara sistematis dan terencana dengan baik. Metodologi penelitian dapat diperlihatkan pada Gambar 1 :



Gambar 1. Kerangka Metodologi Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Tahap *Plan*

Pada tahap perencanaan (*plan*) dijabarkan kondisi permasalahan dan proses perencanaan terhadap sebuah penelitian untuk mendukung proses perbaikan. Proses *Plan* terdiri dari tahapan pengumpulan data dan selanjutnya dilakukan analisis dari data tersebut.

Tabel 1. Produk Dalam Pengawasan

NO	PART NAME	PART NUMBER	CUSTOMER	ILUSTRASI PRODUK	PROBLEM
1	Knuckle Arm S	43211-0D290	ADWTTMMIN		Macro Shrinkage
2	Pressure Plate 70510	321121-60221	ADWTTMMIN		Slag Inclusion
3	Pressure Plate 70200	321121-40250-A	ADWTTMMIN		Sand Inclusion
4	Pressure Plate 70560	321121-70510	ADWTTMMIN		Sand Inclusion
5	Retainer 614K	333131-55100 AAT	DSPC		Sand Inclusion
6	Pressure Plate D38A	321121-02006	ADWTTMMIN		Slag Inclusion
7	Pressure Plate 40250 EFC	13405-BZ110	ADWTTMMIN		Sand Inclusion
8	Carrier Differential	MB393294	MKM		Cold Lap
9	Pressure Plate 60690	33119-0K030	ADWTTMMIN		Sand Inclusion
10	Pressure Plate 60221	321121-70190	ADWTTMMIN		Sand Inclusion
11	FW - D40D	13451-BZ060	ADWTTMMIN		Sand Inclusion

3.1.1 Pengumpulan Data

Masalah yang menjadi perhatian pada penelitian ini yaitu produk bermasalah dengan *defect* tinggi. Tabel 1 memperlihatkan 11 tipe produk yang berada pada pengawasan karena *total rejection* tinggi dengan produk *knuckle arm steering*. Tabel 2 menjelaskan jumlah produksi dari data produk bermasalah, jumlah *rejection* serta *ratio rejection* dari produk yang bermasalah tersebut. Dari produk tersebut terlihat bahwa *defect* yang ada mempengaruhi *total rejection* dari *knuckle arm steering* dan berimbas kepada keseluruhan total proses.

Tabel 2. Data Proses Produk Bermasalah

No	PART NAME	PART NUMBER	CUSTOMER	PROSES JANUARI-MARET 2017		
				QTY PROCESS (Pcs)	QTY REJECTION (Pcs)	Pcs (%)
1	Knuckle Arm S	43211-0D290	ADM/TMMIN	62139	12450	20,04
2	Pressure Plate 70510	321121-60221	ADM/TMMIN	39744	7692	19,35
3	Pressure Plate 70200	321121-40250-A	ADM/TMMIN	61653	9366	15,19
4	Pressure Plate 70560	321121-70510	ADM/TMMIN	23133	1275	5,51
5	Retainer 614K	333131-55100 AAT	DSPC	34311	1695	4,94
6	Pressure Plate D38A	321121-02006	ADM/TMMIN	40998	2025	4,94
7	Pressure Plate 40250 EFC	13405-BZ110	ADM/TMMIN	44256	2175	4,91
8	Carrier Differential	MB393294	MKM	22020	1065	4,84
9	Pressure Plate 60690	33119-0K030	ADM/TMMIN	21924	966	4,41
10	Pressure Plate 60221	321121-70190	ADM/TMMIN	76803	3345	4,36
11	FW - D40D	13451-BZ060	ADM/TMMIN	114999	4953	4,31

3.1.2 Analisis Proses Saat Ini

a. Pareto

Dari beberapa produk yang mempunyai *ratio rejection* tertinggi *knuckle arm steering* dipilih dengan analisis pareto karena memberikan kontribusi proses yang signifikan terhadap seluruh proses produksi.

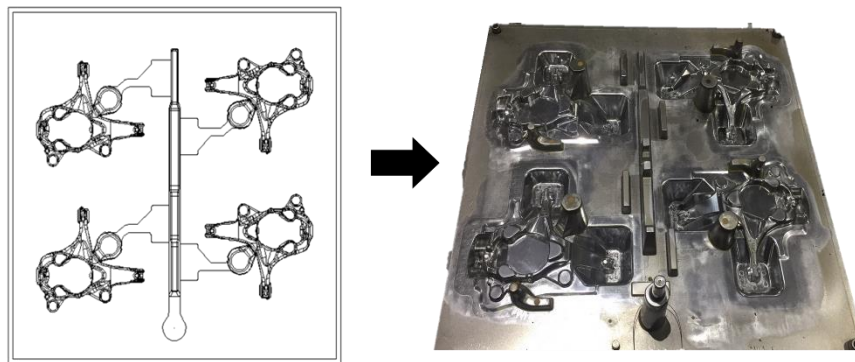
Tabel 3. Presentase Reject Produk *Knuckle Arm Steering*

No	Part Name	Jumlah Proses (pcs) (Jan-Mar'17)	QTY REJECT (Pcs)	Presentase Reject (%)
1	Knuckle Arm S	62139	12450	20.04%

Gambar 2 menampilkan bentuk fisik dari produk *knuckle arm steering*. Gambar 3 ada desain *pattern* dari pencetakan *casting knuckle arm steering*. Gambar 4 menampilkan ilustrasi assembling *knuckle arm steering* pada kendaraan roda empat.



Gambar 2. Ilustrasi Produk *Knuckle Arm Steering*



Gambar 3. Pattern Desain Gattng System Knuckle Arm Steering



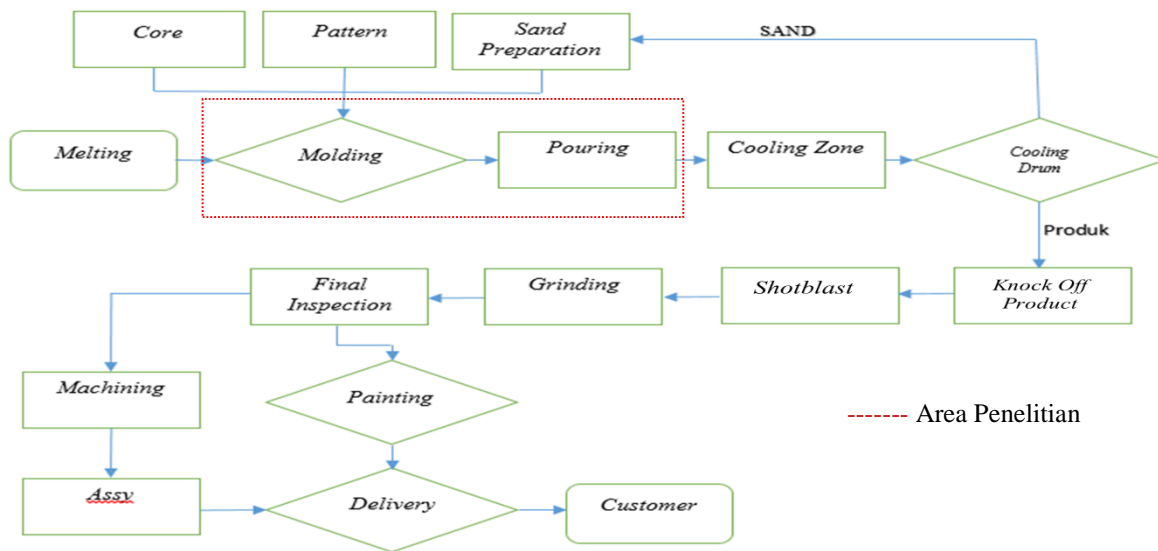
Gambar 4. Ilustrasi Pemasangan *Knuckle Arm Steering* Pada Kendaraan Roda Empat

Tabel 3 menjelaskan presentase total *reject* pada 3 bulan pertama yaitu sebesar 20.04%. Jumlah tersebut sangat tinggi jika dibandingkan dengan target dari maksimal *reject* sebesar 5%. Karena tingginya *rejection* inilah yang membuat perusahaan merugi dan merupakan pemborosan. Untuk menginginkan hasil akhir yang diinginkan perlu ditetapkan target. Target yang ditentukan bersifat SMART yang merupakan kepanjangan *Spesific* (jelas), *Measurable* (terukur), *Achievable* (tercapai), *Reasonable* (realistis/masuk akal), dan *Time bound* (jangka waktu). Penjabaran dari SMART yang ditentukan adalah sebagai berikut:

- *Spesific*: Proses produksi *knuckle arm steering* tidak efektif karena mempunyai *rejection* yang tinggi.
- *Measurable*: Menurunkan *rejection* dari 20.04% ke 5% sesuai kebijakan dari perusahaan.
- *Achievable*: Dengan melakukan analisis dari masalah yang ada
- *Reasonable*: Menurunkan *defect* akan meningkatkan efektivitas dan efisiensi dari perusahaan.
- *Time Base* : Dari April - Juni 2017

Dari penjelasan SMART diatas target penelitian adalah menurunkan *rejection knuckle arm steering* dari 20.04% ke 5% pada periode April-Juni 2017 dengan melakukan analisis masalah terhadap kondisi waktu sebelum periode penelitian.

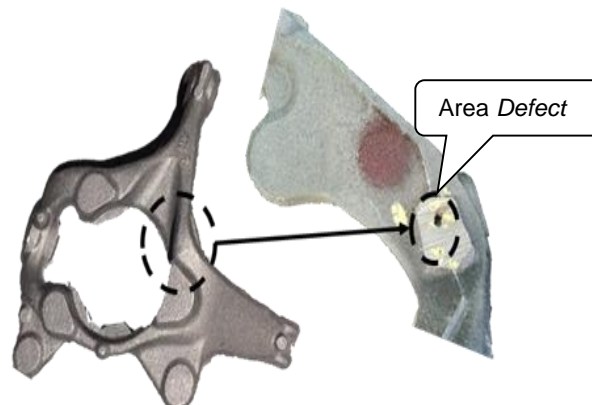
b. Aliran Proses Produksi *Knuckle Arm Steering*



Gambar 5. Aliran proses produksi PT.PQR

Gambar 5 adalah aliran proses produksi, permasalahan yang sedang terjadi dari awal proses sampai menjadi barang jadi dianalisa untuk mencari tempat dimana terjadi permasalahan. Dalam pembuatan *knuckle arm steering* melewati beberapa mesin pada proses manufaktur, inti dari proses ini adalah proses pembuatan pasir cetak molding yaitu proses pembuatan produk sesuai alur *pattern*. Jika dilihat dari aliran proses, pembuatan produk berawal dari *raw material* metal chips dan alloy material yang di lebur pada bagian *melting*. Pada saat yang bersamaan mesin molding melakukan proses pembuatan media cetakan pasir sesuai kontur alur *pattern*. Pada proses penuangan, temperatur dari pasir cetak dan *pattern* dijaga pada suhu 40-60°C sedangkan *molten iron* pada dikisaran suhu 1400-1430 °C, tujuannya adalah agar *defect* yang berhubungan dengan temperatur seperti *macro shrinkage* dapat di minimalisir.

Macro Shrinkage merupakan jenis *defect* dimana terdapat rongga di dalam coran akibat penyusutan saat pembekuan, *defect* ini timbul pada bagian coran yang mengalami pembekuan paling lambat. Secara visual rongga ini hanya dapat dilihat pada daerah *riser* (setelah pemisahan *riser*) seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Area Defect Macro Shrinkage Pada Knuckle Arm Steering

Dalam pembuatan produk *knuckle arm steering* sebelum adanya perbaikan berkemungkinan desain yang dipakai terjadi perubahan ukuran yang tidak tetap dan terjadi *defect* karena bahan yang dipakai sudah aus. Selain itu jika *pattern* dari produk *knuckle arm steering* belum masuk pada proses *coating chrome* sehingga desain pada profil dapat berubah-ubah. Sehingga diperlukan perbaikan untuk efektivitas proses pembuatan produk *knuckle arm steering* yang akan diproses produksi massal dan menghilangkan potensi terjadinya *defect-defect* yang lain.

c. Waktu dan Biaya Perbaikan *Knuckle Arm Steering*

Setiap perbaikan memiliki perhitungan biaya sehingga akan berpengaruh pada total biaya produksi. Analisa perencanaan perbaikan harus benar-benar detail dikarenakan setiap perbaikan tidak langsung menyelesaikan masalah yang ada pada suatu produk sehingga perlu dilakukan uji coba lebih dari satu kali untuk mendapatkan hasil yang sesuai dan data yang akurat. Penentuan perencanaan perbaikan yang sesuai juga dapat mengefisiensikan total biaya yang keluar.

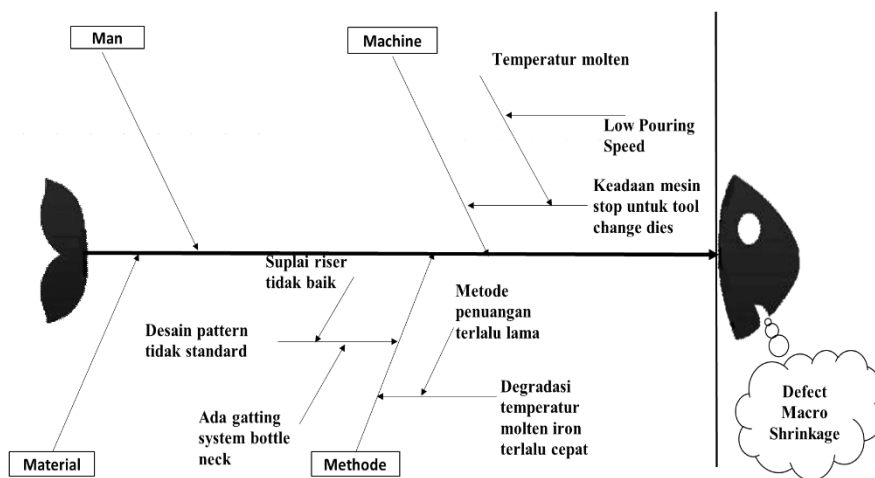
Tabel 4. Biaya Perbulan Perbaikan *Pattern* Proses *Knuckle Arm Steering*

Process	Cost/Hour	Time (Hour)	Cost (Rp)
Roughing Gating System	Rp 550.000,00	1	Rp 550.000,00
Putty	Rp 215.000,00	0,25	Rp 53.750,00
Sawing	Rp 135.000,00	0,5	Rp 67.500,00
Grinding	Rp 250.000,00	0,5	Rp 125.000,00
Vacum	Rp 50.000,00	1	Rp 50.000,00
Finishing	Rp 225.000,00	0,5	Rp 112.500,00
		0,1	
Total		3,85	Rp 958.750

Tabel 4 adalah data biaya perawatan *pattern* setiap bulan yang digunakan pada setiap langkah sebelum adanya perbaikan. Selain biaya, waktu perbaikan cukup lama sehingga membuat biaya produksi semakin tinggi, perbaikan dilakukan dengan cara manual tanpa menggunakan mesin. Dalam perbaikan itu sendiri akan menjadikan potensi *defect* baru jika dalam perbaikan itu tidak berhasil. Pemilihan metode perbaikan tercepat dipilih untuk mengurangi tingginya biaya perbaikan. Dengan proses perbaikan yang efektif akan mengurangi kerugian perusahaan serta meningkatkan produktivitas dan keuntungan perusahaan.

d. Diagram Sebab-Akibat (*Fishbone Diagram*)

Dari penelitian terhadap daftar produk yang bermasalah di PT.PQR telah ditentukan bahwa *rejection* terbesar adalah *knuckle arm steering* dengan *defect macro shrinkage*. Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap permasalahan yang ada di perusahaan. Gambar 7 adalah penjelasan dari analisa sebab akibat terhadap permasalahan terkait *defect macro shrinkage*.



Gambar 7. Diagram Sebab Akibat Permasalahan *Defect*

3.2 Tahap Do

3.2.1 Perencanaan Perbaikan

5W2H (*What, Why, Where, When, Who, How, How Much*) + Target adalah konsep yang digunakan untuk menjabarkan detail aktivitas yang akan dilakukan beserta target yang akan dicapai dari perencanaan perbaikan. Perencanaan perbaikan dilakukan berdasarkan dari analisis sebab akibat yang ada. Tabel 5 memperlihatkan perencanaan perbaikan dari penanggulangan terjadinya *defect macro shrinkage* pada produk *knuckle arm steering*.

Tabel 5. Perencanaan Perbaikan

No.	Faktor	What		Why	How	Where	When	Who	How Much	Target
		Problem	Solusi							
1	Methode	Desain pattern tidak standard	Ubah desain bermasalah	Menyesuaikan standard pada produk	Hitung ulang kebutuhan riser	Area produksi	Jun'17 Week 1	Engineering	Rp.35.158.750	Menurunkan defect
2	Machine	Temperatur molten iron rendah & slow pouring speed	Temperatur tinggi standard maksimum	Antisipasi mesin stop saat tool change	Uji coba dengan standard maksimum	Area produksi	Jun'17 Week 2	Engineering	-	Menurunkan defect

3.2.2 Pelaksanaan Perbaikan

Analisis yang didapat dari permasalahan yang ada dan rencana yang telah disusun kemudian dilakukan perbaikan untuk mencapai tujuan dari penelitian. Tabel 6 menjelaskan detail hasil pelaksanaan rencana perbaikan yang mengacu pada perubahan metode dan perubahan proses mesin yang menyebabkan proses *knuckle arm steering* terdapat *defect*.

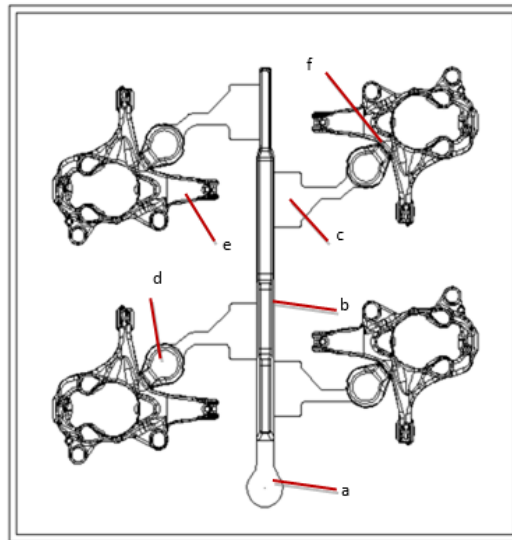
Tabel 6. Pelaksanaan Perbaikan

No.	Faktor	What		Why	How	Where	When	Who	How Much	Evaluasi	
		Problem	Solusi							Problem	Hasil
1	Methode	Desain pattern tidak standard	Ubah desain bermasalah	Menyesuaikan standard pada produk	Kalkulasi kebutuhan riser	Area produksi	Jun'17 Week 1	Engineering	Rp.35.158.750,-	Jun'17 Week 3	Terlaksana
2	Machine	Slow pouring speed & Temperatur molten iron rendah	Fast pouring speed & temperatur tinggi standard maksimum	Antisipasi mesin stop saat tool change	Uji coba dengan temperatur maksimum	Area produksi	Jun'17 Week 2	Engineering	-	Jun'17 Week 4	Terlaksana

Pada masalah utamanya terdapat dua poin perbaikan yaitu perubahan metode layout pattern dan yang antisipasi *defect* yang terjadi karena mesin stop. Berikut adalah penjelasan secara detail solusi perbaikan yang dilakukan:

a. Percobaan Pertama

Pada percobaan perbaikan ini yaitu perubahan metode proses. Metode proses ini adalah menghitung ulang desain *pattern* yang berfokus pada volume *riser* dan *gating system*. Gating system merupakan sitem alir yang terdapat pada pattern pencetakan logam. Gambar 8 menjelaskan pada *knuckle arm steering* terdapat beberapa bagian yaitu *cavity* atau produk, *riser*, *runner*, *slag trap* dan *sprue cup*.



Ket : a = Sprue cup, b = runner, c = slag trap, d = riser, e = cavity, f = in gate

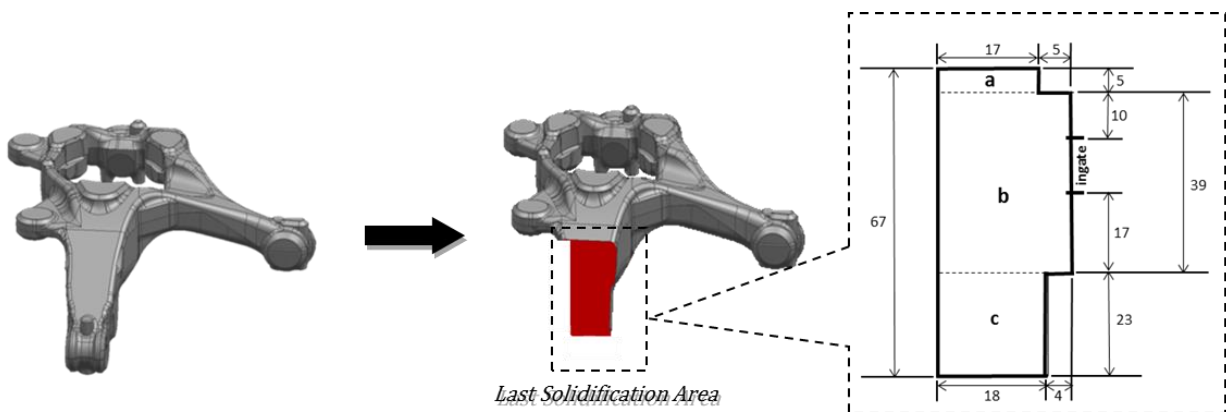
Gambar 8. Sketsa Gating System Pattern Knuckle Arm Steering

Pada perbaikan ini dilakukan perhitungan *gating system* dengan rumus untuk mendapatkan perbandingan sebelum dan sesudah dari *gating system*. Tabel 7 adalah rumus yang dipakai PT.PQR dalam perhitungan *gating system*.

Tabel 7. Rumus Perhitungan *Gating System*

Area	Rumus Perhitungan	Keterangan	
Slag trap	$A1 = \frac{W \cdot 100000}{t \cdot v \cdot m \cdot \rho}$	A = Luas penampang (mm ²)	ρ = Massa jenis cairan = 6,9 (kg/mm ³)
Riser	$Mc = \frac{A}{K}$	r = Jari-jari (mm)	W = Berat casting (kg)
	$Mr = 1,2 \cdot Mc$	t = Waktu pouring time (10s)	mr = Massa riser
Runner	$A = 1,1 \cdot A1$	$v = \text{Volume slag trap} = 100 \text{ (mm}^3\text{)}$	V = Volume riser
		$= \text{Volume runner} = 130 \text{ (mm}^3\text{)}$	Mr = Modulus riser
		M = Mampat aliran = 0,43	Mc = Modulus casting

Pada percobaan *gating system* ini dilakukan perubahan *volume riser* dengan menambah tinggi *riser* dengan tujuan area *solidifikasi* terakhir berada pada *riser* sehingga *defect macro shrinkage* dapat dihilangkan. Gambar 9 memperlihatkan perhitungan yang dimulai dari penentuan area *solidifikasi* atau pendinginan terakhir pada produk yang dihitung area luas *volume* terbesar.



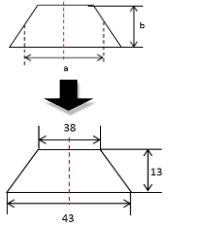
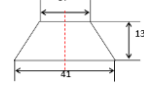
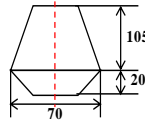
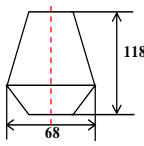
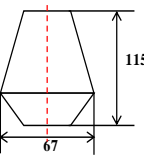
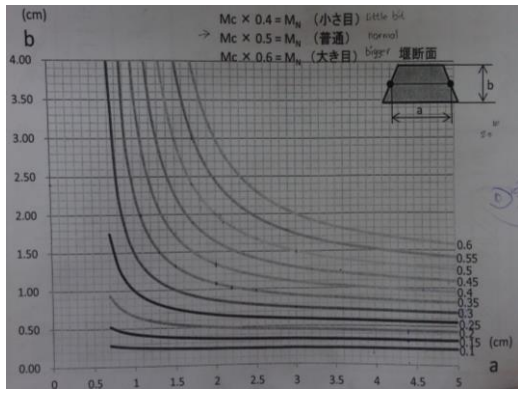
Gambar 9. Area *Solidifikasi* dan Luas Penampang Pada *Knuckle Arm Steering*

Tabel 8 diperoleh *modulus casting* terbesar yaitu 11,44. Modulus ini digunakan untuk menghitung besaran *ingate area*, dimensi dan kebutuhan *riser*. Pada tabel 9 memperlihatkan perbaikan *pattern* dihitung perbandingan dari kalkulasi perhitungan dengan ukuran aktual yang ada, hasil perbandingan nantinya akan dipakai untuk perbaikan.

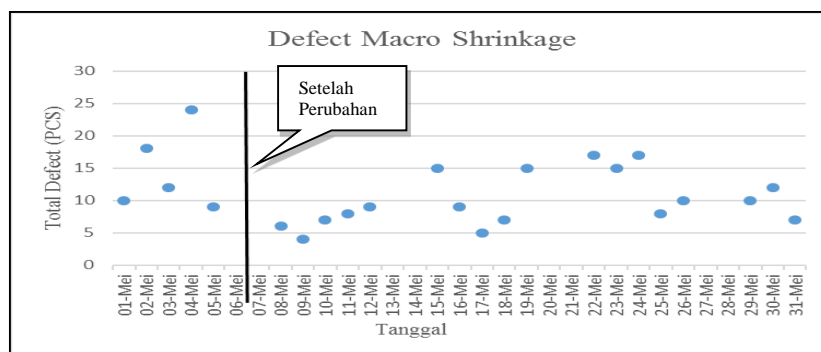
Tabel 8. Perhitungan Modulus Casting Knuckle Arm Steering

Area	Luas Area (A)	Keliling Area (K)	Modulus Casting (A/K)
A	17 x 5 = 85 mm ²	17+5+5= 27 mm	3,15
B	39 x 22 = 858 mm ²	39+10+17+5+4= 75 mm	11,44
C	17 x 5 = 85 mm ²	23+23+18=27 mm	6,47

Tabel 9. Perhitungan Perhitungan Kalkulasi dan Aktual Gating System

Area	Kalkulasi	Aktual	Area	Kalkulasi	Aktual																																																																																																																																	
❖ Ingate	$M_n = 0,5 \times M_c$ $= 0,5 \times 11,44$ $= 5,72$ Dari nilai tersebut, dikonversikan ke dalam tabel in-gate diperoleh, $a = 41 \text{ mm}$ $b = 13 \text{ mm}$ 		❖ Riser	$M_r = 1,2 \times M_c$ $= 1,2 \times 11,44$ $= 13,728$ Dari nilai tersebut, dikonversikan ke dalam tabel riser diperoleh, $\Phi = 70 \text{ mm}$ $h = 1,5 \times \Phi = 105 \text{ mm}$ $w = 2,9 \text{ kg}$ 	➤ Riser Atas  ➤ Riser Bawah 																																																																																																																																	
			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">D</th> <th rowspan="2">H</th> <th colspan="5">Φ X</th> </tr> <tr> <th>1.0</th> <th>1.25</th> <th>1.5</th> <th>1.75</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Φ 40 (R=20)</td> <td>Mr (mm)</td> <td>7.284</td> <td>7.677</td> <td>8.093</td> <td>8.383</td> <td>8.716</td> </tr> <tr> <td>W (Kg)</td> <td>0.453</td> <td>0.529</td> <td>0.604</td> <td>0.680</td> <td>0.755</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 45 (R=22.5)</td> <td>Mr</td> <td>8.126</td> <td>8.584</td> <td>9.004</td> <td>9.400</td> <td>9.783</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>0.625</td> <td>0.733</td> <td>0.481</td> <td>0.948</td> <td>1.056</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 50 (R=25)</td> <td>Mr</td> <td>8.959</td> <td>9.484</td> <td>9.962</td> <td>10.412</td> <td>10.846</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>0.835</td> <td>0.983</td> <td>1.130</td> <td>1.278</td> <td>1.425</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 55 (R=27.5)</td> <td>Mr</td> <td>9.784</td> <td>10.377</td> <td>10.916</td> <td>11.420</td> <td>11.905</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>1.086</td> <td>1.282</td> <td>1.479</td> <td>1.675</td> <td>1.872</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 60 (R=30)</td> <td>Mr</td> <td>10.604</td> <td>11.266</td> <td>11.865</td> <td>12.425</td> <td>12.961</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>1.381</td> <td>1.636</td> <td>1.891</td> <td>2.146</td> <td>2.402</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 65 (R=32.5)</td> <td>Mr</td> <td>11.419</td> <td>12.152</td> <td>12.811</td> <td>13.426</td> <td>14.041</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>1.725</td> <td>2.049</td> <td>2.373</td> <td>2.698</td> <td>3.022</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 70 (R=35)</td> <td>Mr</td> <td>12.231</td> <td>13.034</td> <td>13.755</td> <td>14.426</td> <td>15.066</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>2.120</td> <td>2.525</td> <td>2.930</td> <td>3.335</td> <td>3.740</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 75 (R=37.5)</td> <td>Mr</td> <td>13.039</td> <td>13.913</td> <td>14.697</td> <td>15.424</td> <td>16.116</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>2.571</td> <td>3.069</td> <td>3.567</td> <td>4.065</td> <td>4.563</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Φ 80 (R=40)</td> <td>Mr</td> <td>13.844</td> <td>14.790</td> <td>15.635</td> <td>16.420</td> <td>17.165</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>3.080</td> <td>3.685</td> <td>4.283</td> <td>4.894</td> <td>5.498</td> </tr> </tbody> </table>			D	H	Φ X					1.0	1.25	1.5	1.75	2	Φ 40 (R=20)	Mr (mm)	7.284	7.677	8.093	8.383	8.716	W (Kg)	0.453	0.529	0.604	0.680	0.755	Φ 45 (R=22.5)	Mr	8.126	8.584	9.004	9.400	9.783	W	0.625	0.733	0.481	0.948	1.056	Φ 50 (R=25)	Mr	8.959	9.484	9.962	10.412	10.846	W	0.835	0.983	1.130	1.278	1.425	Φ 55 (R=27.5)	Mr	9.784	10.377	10.916	11.420	11.905	W	1.086	1.282	1.479	1.675	1.872	Φ 60 (R=30)	Mr	10.604	11.266	11.865	12.425	12.961	W	1.381	1.636	1.891	2.146	2.402	Φ 65 (R=32.5)	Mr	11.419	12.152	12.811	13.426	14.041	W	1.725	2.049	2.373	2.698	3.022	Φ 70 (R=35)	Mr	12.231	13.034	13.755	14.426	15.066	W	2.120	2.525	2.930	3.335	3.740	Φ 75 (R=37.5)	Mr	13.039	13.913	14.697	15.424	16.116	W	2.571	3.069	3.567	4.065	4.563	Φ 80 (R=40)	Mr	13.844	14.790	15.635	16.420	17.165	W	3.080	3.685	4.283	4.894	5.498
D	H	Φ X																																																																																																																																				
		1.0	1.25	1.5	1.75	2																																																																																																																																
Φ 40 (R=20)	Mr (mm)	7.284	7.677	8.093	8.383	8.716																																																																																																																																
	W (Kg)	0.453	0.529	0.604	0.680	0.755																																																																																																																																
Φ 45 (R=22.5)	Mr	8.126	8.584	9.004	9.400	9.783																																																																																																																																
	W	0.625	0.733	0.481	0.948	1.056																																																																																																																																
Φ 50 (R=25)	Mr	8.959	9.484	9.962	10.412	10.846																																																																																																																																
	W	0.835	0.983	1.130	1.278	1.425																																																																																																																																
Φ 55 (R=27.5)	Mr	9.784	10.377	10.916	11.420	11.905																																																																																																																																
	W	1.086	1.282	1.479	1.675	1.872																																																																																																																																
Φ 60 (R=30)	Mr	10.604	11.266	11.865	12.425	12.961																																																																																																																																
	W	1.381	1.636	1.891	2.146	2.402																																																																																																																																
Φ 65 (R=32.5)	Mr	11.419	12.152	12.811	13.426	14.041																																																																																																																																
	W	1.725	2.049	2.373	2.698	3.022																																																																																																																																
Φ 70 (R=35)	Mr	12.231	13.034	13.755	14.426	15.066																																																																																																																																
	W	2.120	2.525	2.930	3.335	3.740																																																																																																																																
Φ 75 (R=37.5)	Mr	13.039	13.913	14.697	15.424	16.116																																																																																																																																
	W	2.571	3.069	3.567	4.065	4.563																																																																																																																																
Φ 80 (R=40)	Mr	13.844	14.790	15.635	16.420	17.165																																																																																																																																
	W	3.080	3.685	4.283	4.894	5.498																																																																																																																																

Gambar 10 menjelaskan hasil data *defect macro shrinkage* dari percobaan pertama, dimana masih terdapat *defect* walaupun sudah menunjukkan penurunan. Diperlukan percobaan selanjutnya sehingga penurunan *defect* lebih baik lagi.



Gambar 10. Data Defect Macro Shrinkage Setelah Perbaikan Pertama

b. Percobaan Kedua

Defect yang terjadi karena faktor mesin disebabkan ketika saat mesin berhenti untuk *tool change dies* atau *pattern* sehingga penuangan *molten iron* harus menunggu yang menyebabkan temperatur rendah dan *pouring speed* menjadi lama. Tabel 10 adalah sample data yang menampilkan hubungan total *rejection* dengan temperatur dan *pouring speed knuckle arm steering* yang selanjutnya diolah dengan regresi linier pada tabel 11 untuk menentukan target percobaan temperatur dan pouring speed. Pada regresi linier *p-value* menunjukkan angka signifikan yaitu <0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa variable masalah antara *pouring speed* dan temperatur terhadap *defect* dapat diterima serta memiliki korelasi.

Tabel 10. Data Pengambilan Sample Temperatur Molten Iron

Keterangan		Bulan Mei									
		15	16	17	18	19	22	23	24	29	30
Temperatur (°C)	T max	1407	1415	1417	1415	1402	1403	1408	1404	1403	1409
	T min	1403	1413	1414	1414	1401	1401	1405	1402	1400	1406
	T ave	1405	1414	1416	1415	1402	1402	1407	1403	1402	1408
Average Pouring Speed (Sec)		10	9	9	9	12	12	10	10	13	10
Total Reject (%)		13,06	9,56	4,23	6,57	8,61	13,40	5,65	2,83	6,84	5,26
Defect Macro Shrinkage (%)		1,87	1,28	0,60	1,10	2,48	2,56	1,63	2,53	2,14	1,62

Tabel 11. Data Regresi Linier Knuckle Arm Steering

Regression Statistics				
Multiple R	0,945786123			
R Square	0,89451139			
Adjusted R Square	0,864371788			
Standard Error	0,243857055			
Observations	10			
ANOVA				
	df	SS	MS	F
Regression	2	3,529791029	1,764895515	29,67893762
Residual	7	0,416263842	0,059466263	
Total	9	3,946054872		
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	180,53103	38,86333925	4,645278392	0,00235492
Pouring Speed	-0,071352881	0,105793458	-0,674454568	0,05021666
Temperatur	-0,126507276	0,026956767	-4,692969202	0,00222675

Tabel 12 adalah hasil dari perhitungan korelasi temperatur dan *pouring speed* pada terhadap *defect macro shrinkage* hasil dari uji *regresi linier*. Dari tabel 12 dilakukan percobaan dengan temperatur menengah keatas (1415-1430°C) diikuti *pouring speed* 8-10 detik dan temperatur standar bawah (1400-1415°C) *pouring speed* 10-13 detik juga di uji coba temperatur menengah keatas (1415-1430°C) diikuti *pouring speed* 10-13 detik dan temperatur standar bataS bawah (1400-1415 °C) *pouring speed* 8-10 detik.

Tabel 12. Data Hasil Uji Regresi Linier

Setting Target			Target Rejection (%)	
Pouring Speed (sec)	Temperatur (°C)			
Fast Pouring	10	Mid-High Temperature	1415	0,81
	9		1415	0,88
	8		1415	0,95
	10		1420	0,17
	9		1420	0,24
	8		1420	0,32
	10		1430	-1,09
	9		1430	-1,02
	8		1430	-0,95
Slow Pouring	11	Low-Mid Temperature	1400	2,63
	12		1400	2,56
	13		1400	2,49
	11		1395	3,26
	12		1395	3,19
	13		1395	3,12
	11		1390	3,90
	12		1390	3,83
	13		1390	3,75

Tabel 13 menyimpulkan bahwa dengan temperatur menengah keatas (1415-1430°C) tidak terdapat *defect macro shrinkage* sedangkan untuk *pouring speed* tidak ada berpengaruh pada *defect*, akan tetapi untuk *pouring speed* tetap dijaga pada waktu 8-10 detik yang bertujuan menjaga degradasi penurunan temperatur.

Tabel 13. Hasil Percobaan Temperatur dan Pouring Speed

Mold No.	Temp (°C)	Pour Speed (s)	Produk (pcs) /Mold	Defect (pcs)	Macro Shrinkage (%)	Ket.
1	1430	9	4	0	0%	Fast Pouring - High Temp.
2	1429	9	4	0	0%	
3	1427	9	4	0	0%	
4	1425	9	4	0	0%	
5	1425	8	4	0	0%	
6	1423	10	4	0	0%	
7	1423	11	4	0	0%	Slow Pouring - High Temp.
8	1422	11	4	0	0%	
9	1421	12	4	0	0%	
10	1420	13	4	0	0%	
11	1420	13	4	0	0%	
12	1419	13	4	0	0%	
13	1417	8	4	0	0%	Fast Pouring - Low Temp.
14	1415	8	4	0	0%	
15	1414	8	4	0	0%	
16	1414	9	4	1	25%	
17	1411	10	4	0	0%	
18	1410	9	4	1	25%	
19	1408	9	4	1	25%	Slow Pouring - Low Temp.
20	1405	11	4	2	50%	
21	1405	13	4	2	50%	
22	1403	12	4	1	25%	
23	1400	12	4	2	50%	
24	1400	13	4	3	75%	

3.3 Tahap Check

Proses *check* adalah pemeriksaan ulang hasil dari perbaikan yang telah dilakukan untuk diketahui hasil yang didapat. Tabel 14 menunjukkan biaya sebelum dan sesudah perbaikan, sedangkan tabel 15 data hasil setelah perbaikan dimana target total rejection sudah mencapai target.

Tabel 14. Perbandingan Biaya Proses Perbaikan

Sebelum Perbaikan				Setelah Perbaikan			
Process	Cost/Hour	Time (Hour)	Cost (Rp)	Process	Cost/Hour	Time (Hour)	Cost (Rp)
Roughing Gating System	Rp 550.000,00	1	Rp 550.000,00	Putty	Rp 215.000,00	0,25	Rp 53.750,00
Putty	Rp 215.000,00	0,25	Rp 53.750,00	Grinding	Rp 250.000,00	0,5	Rp 125.000,00
Sawing	Rp 135.000,00	0,5	Rp 67.500,00	Vacum	Rp 50.000,00	1	Rp 50.000,00
Grinding	Rp 250.000,00	0,5	Rp 125.000,00	Finishing	Rp 225.000,00	0,5	Rp 112.500,00
Vacum	Rp 50.000,00	1	Rp 50.000,00	QC		0,1	
Finishing	Rp 225.000,00	0,5	Rp 112.500,00				
QC		0,1					
Total			Rp 958.750	Total			Rp 341.250
Proses Perbaikan				Total Selisih Sebelum-Sesudah Perbaikan			
Process	Cost/Hour	Time (Hour)	Cost (Rp)	Time (Hour)		Cost (Rp)	
Roughing Gating System	Rp 550.000,00	1	Rp 550.000,00	1,5		Rp 617.500	
*T/C Media from Wood to Steel	Rp 8.550.000,00	4	Rp 34.200.000,00				
Putty	Rp 215.000,00	0,25	Rp 53.750,00				
Sawing	Rp 135.000,00	0,5	Rp 67.500,00				
Grinding	Rp 250.000,00	0,5	Rp 125.000,00				
Vacum	Rp 50.000,00	1	Rp 50.000,00				
Finishing	Rp 225.000,00	0,5	Rp 112.500,00				
QC		0,1					
Total			Rp 35.158.750				

*Include material cost

Tabel 15. Aktual Presentase *Rejection Knuckle Arm Steering*

	Sebelum Penelitian	Selama penelitian			Setelah Penelitian	
	Jan-Maret '17	April '17	Mei '17	Juni '17	Juli '17	
Periode Rejection						
Proses	62139	20598	20025	20025	20375	
QTY Reject	12450	2576	1876	1532	1024	
Presentase (%)	20,04%	12,51%	9,37%	7,65%	5,03%	
Defect Name	Macro Shrinkage	5635	1543	254	20	5
	Slag Inclusion	453	231	312	347	221
	Sand Inclusion	2383	312	345	315	246
	Swell	152	32	168	190	154
	Core Crack					
	Dent	1841	176	341	297	164
	Mold Broke					
	Gas Holes	3		3		
	Open Shrinkage					
	Cold Lap	731	42	122	98	62
	Casting Crack	1				
	Sand Block	1199	123	176	153	102
	Kake	53	117	155	112	70
	Mold Crack					
	Others					

3.4 Proses Action

Proses *action* adalah diterapkannya perbaikan yang telah terbukti hailnya dari permasalahan penelitian yang dilakukan. Evaluasi yang dilakukan dari hasil penelitian akan dilakukan standarisasi terhadap proses produksi. Dilakukannya standarisasi bertujuan untuk memudahkan proses produksi dimana hasil dari penelitian didapatkan standard baru yang lebih baik dari standard sebelumnya dalam proses pembuatan produk *knuckle arm steering*, dalam standard baru dipastikan *defect* yang terjadi tidak ada lagi dan *total rejection* membaik.

4. Simpulan

Dari penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : (1) Dari analisa data yang ada produk dengan presentase terbesar adalah *knuckle arm steering* dengan permasalahan *defect macro shrinkage*. (2) Penyebab tingginya *defect* pada *knuckle arm steering* adalah ketidakstabilan proses yang diperbaiki dengan perubahan *ingate* dan *riser pattern* serta perubahan standard pada *pouring molten iron*. (3) Efektivitas dari perubahan desain *pattern* pada *knuckle arm steering* dapat menurunkan *defect macro shrinkage*. Dengan mengubah volume *riser* menurunkan *defect macro shrinkage* hingga target *rejection* maksimal 5% yang telah dibuat oleh PT. PQR. (4) *Total rejection* membaik pada bulan Juli 2017 dengan rasio 5% dibandingkan sebelum perbaikan dengan rasio 10-20%.

Daftar Pustaka

1. Asefeso, A. 2012. *5S Lean Manufacturing: (Key to Improving Net Profit)*. Swindon: AA Global Sourcing Ltd.
2. Chaudhari, T., and Raut , N., 2017. Waste Elimination by Lean Manufacturing. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 4 Issue 5, pp 168-170.
3. Fontana, A., dan Gaspers, V., 2011. *Lean Six Sigma For Manufacturing and Service Industries*. Bogor : Vinchristo Publication.
4. Liker, J. K., 2003. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw Hill Professional.