

PERBAIKAN TOLERANSI UKURAN DIAMETER INTI PRODUK *SHOULDER CLAMP* DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KAPABILITAS PROSES PENGECORAN

Johan Marcus Tupan

Dosen Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon

ABSTRAK

Desain toleransi sebagai salah satu karakteristik kualitas merupakan tahap yang kritis dalam desain proses dan produk. Ukuran toleransi mencerminkan ekonomis tidaknya proses pabrikan. Kinerja proses produksi dapat diukur dengan indeks-indeks kemampuan proses.

*Penelitian ini bertujuan mendesain ulang batas spesifikasi baru (toleransi) diameter inti (core) produk *Shoulder clamp* berdasarkan kemampuan proses yang dimiliki perusahaan, Toleransi Standar serta Toleransi Pengecoran.*

*Hasil analisis menunjukkan bahwa proses pengecoran saat ini belum mampu menghasilkan produk sesuai spesifikasi yang ditentukan dengan indeks $C_p = 0.65$; $C_{pk} = 0.50$; $CR = 1.55$ dan $C_{pm} = 0.59$. Berdasarkan kinerja proses pengecoran ini diusulkan 6 alternatif toleransi diameter *shoulder clamp*, yaitu 23.50 ± 0.80 mm, 23.50 ± 0.82 mm, 23.50 ± 1.20 mm, 23.50 ± 1.26 mm, 23.50 ± 1.70 mm dan 23.50 ± 2.40 mm*

Kata Kunci : toleransi, kapabilitas proses, pengecoran

ABSTRACT

The design tolerance as one of the characteristics of quality is a critical stage in the design process and product. Reflects the absence of economies of size tolerance manufacturing process. Performance of the production process can be measured by indices of process capability.

*This study aims to redesign the new specification limits (tolerance) diameter core (core) products based on the ability of the *clamp Shoulder-owned* company, Tolerance and Tolerance Standard Casting.*

*The analysis show that the casting process is currently capable of producing the products according to specifications defined by the index $C_p = 0.65$; $C_{pk} = 0.50$; $CR = 1.55$ and $C_{pm} = 0.59$. Based on the performance of the casting process is proposed an alternative six *shoulder clamp* diameter tolerance are 23.50 ± 0.80 mm, 0.82 mm \pm 23:50, $23.50 \pm 23.50 \pm 1.20$ mm 1.26 mm, 1.70 mm \pm 23:50 and 23.50 ± 2.40 mm*

.Key words : tolerances, process capability, casting

PENDAHULUAN

Peningkatan kemampuan desain dan ketrampilan dalam disiplin teknologi industri sangat dibutuhkan saat ini, ketika muncul toleransi/batas spesifikasi sebagai salah satu karakteristik kualitas produk. Adanya toleransi/batas spesifikasi tentunya berhubungan dengan biaya. Tahap desain proses dan produk adalah tahap yang mengkonsumsi biaya produksi terbesar. Oleh karena itu, toleransi sangatlah penting bagi industri untuk bagaimana mendesain proses yang berpengaruh secara keseluruhan pada biaya produk dan mempersiapkan perencanaan proses pembuatan produk. Dalam kondisi tertentu, sangatlah penting untuk mengerti toleransi dan mengidentifikasi *mean* proses berdasar pada toleransi yang diberikan oleh desainer. Dengan demikian tahap yang sangat kritis dalam desain proses adalah mengidentifikasi toleransi. Spesifikasi toleransi yang sempit akan meningkatkan biaya pabrikan, tetapi

spesifikasi toleransi yang lebar dapat menyebabkan perakitan produk tidak memenuhi persyaratan fungsional. Dengan demikian toleransi merupakan kunci untuk bergerak dari desain ke proses pabrikan dengan biaya rendah dan kualitas tinggi. Toleransi didefinisikan dalam tiga aspek, yaitu *bilateral tolerance*, *unilateral tolerance* dan *unbalanced/unequal bilateral tolerance* (Nelson dan Schneider, 2001). Toleransi *bilateral* sangat umum digunakan di industri, tetapi ada pula yang mendesain produk menggunakan toleransi *unbalanced*.

Dalam industri pengecoran logam, seperti halnya Divisi Pengecoran, PT. Barata Indonesia (Persero), ukuran dimensi/toleransi produk selalu mendapat perhatian yang serius, karena hal ini terkait dengan produk akhir yang dihasilkan. Untuk mendapatkan produk coran yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan oleh konsumen, maka tahapan-tahapan dalam proses pengecoran harus diperhatikan dengan baik, diantaranya proses *pattern making*, *core making*, *mould making*, *melting*, *pouring*. Ukuran dimensi produk coran yang dihasilkan tidak semuanya persis sama dengan ukuran spesifikasi yang diinginkan (khusus ukuran nominal). Penyimpangan ukuran terhadap nilai nominal baik dalam batas spesifikasi bawah maupun batas spesifikasi atas pasti terjadi. Hal ini mengindikasikan adanya variasi. Variasi yang terjadi dapat terjadi dari waktu ke waktu, antara proses pengecoran yang satu dengan proses pengecoran yang lainnya, antara produk yang satu dengan produk yang lain dalam satu proses, maupun di dalam produk coran itu sendiri. Penyimpangan ukuran dimensi sebagai wujud adanya variasi antar produk dapat dilihat pada ukuran dimensi produk *Shoulder clamp*, sebagai salah satu produk yang dihasilkan oleh Divisi Pengecoran, PT. Barata Indonesia (Persero). Hasil pengukuran menunjukkan ukuran dimensi (diameter) berkisar antara 22.54 mm sampai dengan 24.12 mm dengan rata-rata ukuran diameter adalah 23.39 mm. Ukuran ini menunjukkan adanya penyimpangan dari ukuran nominal yang diinginkan oleh konsumen, yaitu sebesar 23.50 mm.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain ulang batas spesifikasi baru (toleransi) diameter inti (*core*) produk *Shoulder clamp* berdasarkan kemampuan proses yang dimiliki perusahaan. Karakteristik kualitas *Shoulder* yang menjadi fokus kajian adalah ukuran diameter ($\varnothing 23.5 \pm 0.5$ mm). Dimana batas spesifikasi atas (Upper Specification Limit = 24.00 mm dan batas spesifikasi bawah (Lower Specification Limit = 23.00 mm).

METODE PENELITIAN

Pengendalian Proses Statistik (Statistical Process Control)

Analisis Kemampuan Proses

Dalam analisis kemampuan proses, digunakan indeks C_p , C_{pk} , CR (*capability ratio*) dan C_{pm} , yang dihitung masing-masing dengan persamaan (1), (2), (3) dan (4).

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (1)$$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma} \text{ or } \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right] \quad (2)$$

$$CR = \frac{6\sigma}{USL - LSL} \quad (3)$$

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (4)$$

Pendekatan Untuk Menentukan Toleransi Optimal

Menurut Taguchi, Elsayed dan Hsiang (1989) ada tiga pendekatan untuk menentukan toleransi optimal, yaitu

a. *The-Nominal-The-Best (N type)*

Tipe toleransi ini banyak diaplikasikan untuk banyak produk, part dan komponen ketika, karakteristik ukuran nominal menjadi acuan. Contoh tipe toleransi ini adalah *dimension*, *clearance* dan *viscosity*. Untuk tipe toleransi ini, perancang produk dan industri manufaktur bermaksud melakukan pengukuran karakteristik nominal dan mereduksi variasi seminimum mungkin.

b. *The-Larger-The-Better (L type)*

Tipe toleransi ini dapat diaplikasikan untuk karakteristik kekuatan material dan efisiensi bahan bakar. Dalam kasus ini, nilai karakteristik yang paling besar itulah yang terbaik.

c. *The-Smaller-The-Better (S type)*

Contoh penggunaan tipe toleransi ini adalah *wear*, *machine accuracy*, *deterioration* dan *noise level*.

Toleransi (*tolerance*)

Toleransi ukuran (*dimension tolerance*) adalah perbedaan ukuran antara kedua harga batas (*two permissible limits*) di mana ukuran atau jarak permukaan/batas geometri komponen harus terletak (Rochim, 2001). Untuk setiap komponen perlu didefinisikan suatu ukuran dasar (*basic size*) sehingga kedua harga batas (maksimum dan minimum, yang membatasi daerah toleransi/*tolerance zone*) dapat dinyatakan dengan suatu penyimpangan (*deviation*) terhadap ukuran dasar. Ukuran dasar sedapat mungkin dinyatakan dengan bilangan bulat. Besar dan tanda (positif atau negatif) penyimpangan dapat diketahui dengan cara mengurangkan ukuran dasar terhadap harga batas yang bersangkutan.

Toleransi Standar (*standard tolerance*) atau Toleransi Internasional (*International Tolerance*)

Toleransi standar (IT) adalah toleransi yang ditentukan untuk masing-masing kualitas dan daerah ukuran nominal yang bersangkutan untuk diameter nominal sampai dengan 500 mm

Kualitas Toleransi

Kualitas toleransi adalah sekelompok toleransi yang dianggap mempunyai ketelitian yang setaraf untuk semua ukuran dasar (Rochim, 2001; Sato dan Hartanto, 2000). Dalam sistem ISO toleransi standar ditetapkan menjadi 18 kualitas toleransi (*grade of tolerance*), yaitu IT 01, IT 0, IT 1 s.d. IT 16. Untuk kualitas 5 s.d. 16 harga toleransi standar dapat dihitung dengan menggunakan satuan toleransi, i (*tolerance unit*), yaitu

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D \quad (5)$$

Dimana :

i = satuan toleransi, μm

D = diameter (nominal), mm

Harga D merupakan rata-rata geometrik dari diameter minimum D_{\min} dan maksimum D_{\max} pada setiap tingkat diameter, yaitu

$$D = \sqrt{D_{\min} \times D_{\max}} \quad (6)$$

Kualitas 01 sampai 4 adalah untuk pekerjaan-pekerjaan yang membutuhkan tingkat ketelitian tinggi, seperti produk yang dikerjakan dengan mesin CNC. Kualitas 5 sampai dengan 11 dapat dicapai proses permesinan biasa, seperti mesin bubut, mesin frais, mesin drill. Kualitas 12 ke atas adalah untuk pengerjaan kasar, seperti pengecoran, penempaan, pengelasan. Produk yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan ke dalam harga kualitas 12 ke atas. Dengan naiknya angka kualitas (simbol angka) maka harga toleransi standar semakin besar. Untuk suatu kualitas toleransi tertentu semakin besar diameter dengan kemungkinan kesalahan dalam pembuatannya. Demikian pula dalam prakteknya tidaklah perlu memberikan toleransi yang sempit untuk ukuran-ukuran yang besar.

Menurut Ravi (2004) persyaratan toleransi dimensi untuk proses pengecoran pasir (Ravi, 2004), yaitu > 0.6 mm. Untuk ukuran nominal 25 mm atau lebih kecil dianjurkan menggunakan toleransi untuk dimensi sebesar 1.5 mm. Di sini lain, jika persyaratan toleransi > 0.6 mm dibandingkan dengan Toleransi Dimensi Pengecoran berdasarkan ISO 8062 – 1994 (Steel Founders' Society of America, 2003) untuk ukuran dimensi antara 16 – 25 mm, maka grade Toleransi pengecoran yang harus digunakan adalah di atas *grade* 6 (Tabel 1).

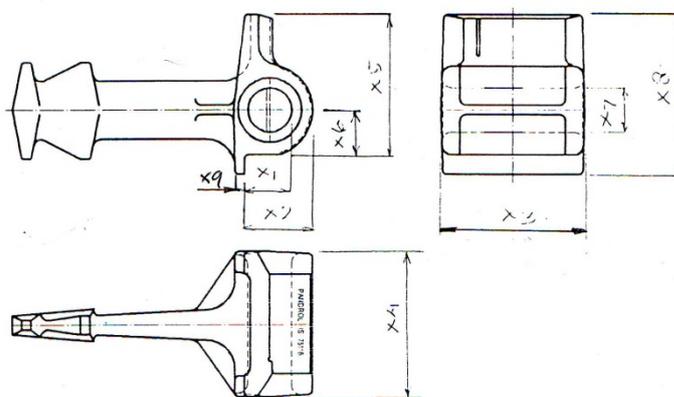
Pengumpulan Data

Pengambilan sampel ukuran diameter *Shoulder* dilakukan secara random selama 8 hari pada 120 cetakan. Setiap hari dilakukan pengambilan sampel dengan urutan proses pengecoran mulai dari awal, pertengahan dan akhir pengecoran (1 hari = 3 kali pengecoran). Proses pengecoran (penuangan logam cair) di bagi dalam tiga tahap yaitu tahap awal, pertengahan dan akhir. Yang dimaksudkan dengan proses pengecoran awal adalah tahap dimana logam cair dari *ladle* (penampung logam cair) dituangkan ke dalam cetakan pertama kali, kemudian diikuti dengan tahap pertengahan dan akhir untuk penuangan berikutnya. Untuk setiap pengecoran diambil 15 pcs *Shaoulder*. Sedangkan pada setiap tahap (awal, pertengahan dan akhir) diambil 5 pcs *Shoulder* (Gambar 1), kemudian diukur diameter dengan jangka sorong (resolusi 0.02 mm). Proses pengukuran diameter *shoulder clamp* dilakukan sebanyak tiga kali pada tempat yang berbeda.

Casting Dimensional Tolerance Grades From ISO 8062 - 1994

Raw Casting basic dimensions, mm		Total casting tolerance mm															
Over	Up to & including	Casting tolerance grade CT															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-	10	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.74	1	2	2	2.8	4.2	-	-	-	-
10	16	0.10	0.14	0.20	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1	1.6	2.2	3	4.4	-	-	-	-
16	25	0.11	0.15	0.22	0.3	0.42	0.58	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10	12
25	40	0.12	0.17	0.24	0.32	0.46	0.64	0.9	1.3	1.8	2.6	3.6	5	7	9	11	14
40	63	0.13	0.18	0.26	0.36	0.50	0.70	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	10	12	16
63	100	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	11	14	18
100	160	0.15	0.22	0.30	0.44	0.62	0.88	1.2	1.8	2.5	3.6	5	7	10	12	16	20
160	250	-	0.24	0.34	0.50	0.70	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	14	18	22
250	400	-	-	0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.2	9	12	16	20	25
400	630	-	-	-	0.64	0.90	1.2	1.8	2.6	3.6	5	7	10	14	18	22	28
630	1000	-	-	-	-	1	1.4	2	2.8	4	6	8	11	16	20	25	32
1000	1600	-	-	-	-	-	1.6	2.2	3.2	4.6	7	9	13	18	23	29	37
1600	2500	-	-	-	-	-	-	2.6	3.8	5.4	8	10	15	21	26	33	42
2500	4000	-	-	-	-	-	-	-	4	6.2	9	12	17	24	30	38	49
4000	6300	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10	14	20	28	35	44	56
6300	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	16	23	32	40	50	64

Sumber : Steel Founders' Society of America (2003)



Produk Shoulder Clamp

HASIL DAN PEMBAHASAN
Kemampuan Proses Pengecoran

Kemampuan proses pengecoran dilakukan setelah Peta Kontrol dikatakan terkendali secara statistic dimana semua titik sampel berada dalam batas control atas dan batas control bawah. Pengolahan data dengan Minitab memperlihatkan semua titik sampel berada dalam batas control dengan rata-rata dan standar deviasi ukuran diameter hasil pengecoran adalah 23.39 mm dan 0.2579 mm. Indikator kemampuan proses pengecoran diukur dengan indeks kemampuan proses Cp, Cpk, Cpm dan CR. Indeks-indeks ini dihitung dengan menggunakan persamaan 1-4. Selain itu perhitungan indeks ini juga dilakukan dengan menggunakan Software Minitab seperti terlihat pada Gambar 2.

Indeks Cp

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{24 - 23}{6(0.2579)} \approx 0.65$$

Indeks Cpk

$$C_{pk} = \text{Min} \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma} \text{ or } \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right] = \text{Min} \left[\frac{24.00 - 23.39}{3(0.2579)} \text{ or } \frac{23.39 - 23.00}{3(0.2579)} \right]$$

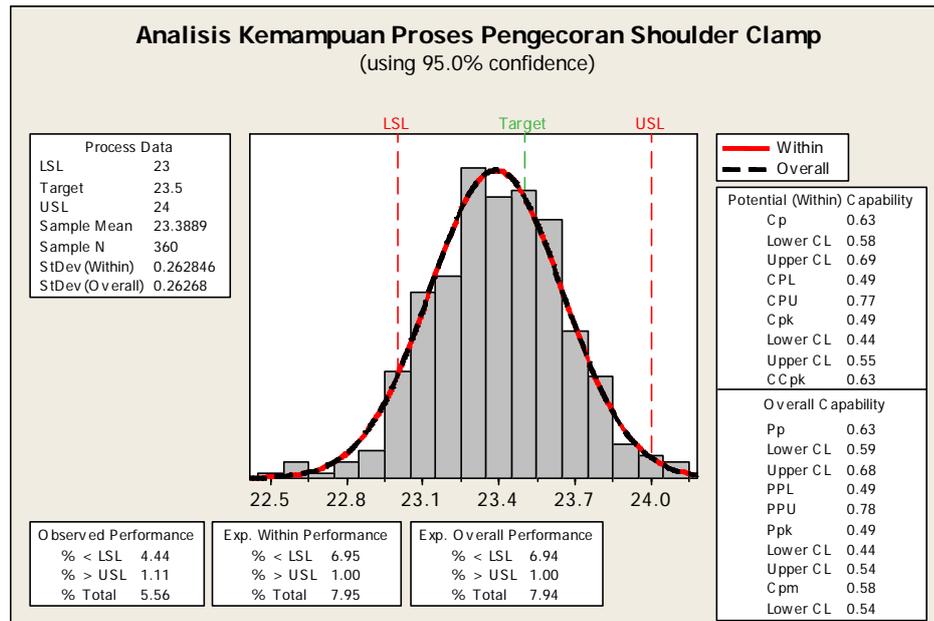
$$C_{pk} = \text{Min} [0.79 \text{ or } 0.50] \approx 0.50$$

Capability Ratio

$$CR = \frac{6\sigma}{USL - LSL} = \frac{6(0.2579)}{24.00 - 23.0} \approx 1.55$$

Taguchi Capability Index, Cpm

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} = \frac{24.00 - 23.00}{6\sqrt{0.0665 + (23.39 - 23.50)^2}} \approx 0.59$$



Output Analisis Kemampuan Proses Menggunakan Software Minitab

Desain Toleransi

Desain toleransi untuk diameter inti (*core*) untuk digunakan dalam pengecoran *Shoulder Clamp* dilakukan dengan menggunakan Toleransi Standar dan Toleransi Pengecoran (toleransi yang digunakan adalah *equal tolerance/bilateral tolerance*). Desain toleransi untuk diameter inti mengacu pada prinsip suaian, dimana suaian yang dipakai adalah suaian longgar (suaian yang selalu akan menghasilkan kelonggaran (*clearance*). Daerah toleransi lubang selalu terletak di atas daerah toleransi poros. Pada suaian ini batas toleransi alami untuk lubang (*hole*) lebih besar dari batas toleransi alami untuk poros (*shaft*) dan diameter lubang dan poros diasumsikan berdistribusi normal. (Mitra, 1998). Ini artinya dalam kondisi apapun, diameter Shoulder harus lebih besar dari diameter clamp. (shoulder akan digunakan bersamaan dengan clamp yang berbentuk *e/eclip*; diameter clamp = 19 mm).

Dengan menghitung batas toleransi alami untuk proses pengecoran saat ini (kondisi *existing*), maka diperoleh batas atas toleransi alami adalah 24.16 mm dan batas bawah toleransi alami adalah 22.62 mm ($UNTL = \mu + 3\sigma$; $LNTL = \mu - 3\sigma$). Nilai ini mengindikasikan bahwa batas toleransi alami pengecoran Shoulder lebih besar dari batas spesifikasi (23.00 mm dan 24.00 mm), sehingga perlu peninjauan kembali penggunaan toleransi diameter shoulder saat ini. Desain toleransi diameter inti (*core*) yang dilakukan saat ini menggunakan toleransi standar dan toleransi pengecoran.

Desain Toleransi Inti (*Core*) Menggunakan Toleransi Standar

Menurut Rochim (2001) untuk pekerjaan kasar, seperti pengecoran, maka harga kualitas yang digunakan adalah harga kualitas IT 12 – IT 16. Tetapi setelah dilakukan *trade off* perhitungan toleransi unit dan mempertimbangkan persyaratan toleransi dimensi yang di anjurkan untuk proses pengecoran yang menggunakan metode pengecoran pasir (toleransi dimensi > 0.6 mm), maka harga toleransi standar yang digunakan adalah IT15 dan IT16 (Tabel 2.2). Proses perhitungan sebagai berikut. Untuk nilai nominal diameter inti (*core*) = 23.50 mm, maka $D_{min} = 18 \text{ mm}$ dan $D_{max} = 24 \text{ mm}$ (Tabel 2).

Tabel 2 Tingkatan Diameter Nominal s.d. 500 mm

Tingkatan utama (dalam mm)		Tingkatan perantara (dalam mm)	
di atas	s.d.	di atas	s.d.
	3		
3	6		
6	10		
10	18	10	14
		14	18
18	30	18	24
		24	30
30	50	30	40
		40	50
50	80	50	65
		65	80
80	120	80	100
		100	120
120	180	120	140
		140	160
		160	180
180	250	180	200
		200	225
		225	250
250	315	250	280
		280	315
315	400	315	355
		355	400
400	500	400	450
		450	500

Sumber : Rochim (2001)

Harga toleransi standar untuk kualitas 5 sampai 16 dapat dilihat pada tabel berikut.

Harga Toleransi Standar Untuk Kualitas 5 s.d.16

	Harga		Harga
IT 5	7 <i>i</i>	IT 11	100 <i>i</i>
IT 6	10 <i>i</i>	IT 12	160 <i>i</i>
IT 7	16 <i>i</i>	IT 13	250 <i>i</i>
IT 8	25 <i>i</i>	IT 14	400 <i>i</i>
IT 9	40 <i>i</i>	IT 15	640 <i>i</i>
IT 10	64 <i>i</i>	IT 16	1000 <i>i</i>

Sumber : Rochim (2001)

Keterangan : Harga *i* diperoleh dari persamaan 5

Untuk kualitas 01 sampai 1, harga toleransi standar langsung dapat dihitung dengan menggunakan rumur-rumus pada Tabel 3

Harga Toleransi Standar Untuk Kualitas 01 dan 0, 1

Kualitas	IT 01	IT 0	IT 1
Harga	0.3 + 0.008 D	0.5 + 0.012 D	0.8 + 0.020 D

Sumber : Rochim (2001)

$$D = \sqrt{D_{\min} \cdot x D_{\max}} = \sqrt{18 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}} \approx 20.78 \text{ mm}$$

$$i = 0.45 \sqrt[3]{D} + 0.001D = 0.45 \sqrt[3]{20.78} + 0.001(20.78) \approx 1.2579 \mu\text{m} = 0.0012579 \text{ mm}$$

Dengan demikian harga toleransi untuk IT 15 = 640*i* = 640 (0.0012579 mm) ≈ 0.80 mm. Sedangkan untuk IT 16 = 1000*i* = 1000 (0.0012579 mm) ≈ 1.26 mm. Jadi toleransi diameter inti (core) hasil desain = 23.50 ± 0.80 mm dan 23.50 ± 1.26 mm.

Desain Toleransi Inti (Core) Menggunakan Toleransi Pengecoran

Dengan tetap mempertimbangkan persyaratan toleransi dimensi untuk pengecoran logam menggunakan metode pengecoran pasir (toleransi dimensi > 0.6 mm), maka untuk desain toleransi

diameter inti (*core*) (toleransi pengecoran ; ISO 8062 – 1994) digunakan grade 7 – 10 untuk diameter antara 16 – 25 mm. Dengan menggunakan grade 7 – 10, maka akan diperoleh 4 alternatif toleransi diameter inti sebagai berikut : untuk *grade* 7 diperoleh toleransi 23.50 ± 0.82 mm ; untuk *grade* 8 diperoleh toleransi 23.50 ± 1.20 mm ; untuk *grade* 9 diperoleh toleransi 23.50 ± 1.70 mm ; dan untuk *grade* 10 diperoleh toleransi 23.50 ± 2.40 mm. *Grade* 10 adalah *grade* yang biasa digunakan oleh Divisi Pengecoran PT. Barata untuk berbagai ukuran dimensi, ketika persyaratan toleransi dari konsumen tidak ada.

Analisis Kemampuan Proses Menggunakan Toleransi Hasil Desain

Dengan menggunakan persamaan untuk menghitung indeks kemampuan proses (persamaan 1-4), dan variansi diasumsikan konstan $\sigma^2 = 0.0665$ mm, maka diperoleh indeks kemampuan proses untuk variasi toleransi hasil desain dan variasi mean proses, seperti terlihat pada Tabel 5 dan 6. Dari tabel ini, terlihat bahwa dengan variansi konstan, maka proses pengecoran akan mampu memenuhi spesifikasi untuk toleransi diameter shoulder clamp di atas, 23.50 ± 1.00 mm dengan variasi mean proses, antara 23.00 mm s/d 24.00 mm.

Indeks Kemampuan Proses Pengecoran Shoulder Clamp Dengan Variasi Toleransi, Mean Proses = 23.39 mm dan Variansi Konstan

Toleransi (mm)	Mean Proses dan Standar Deviasi	Indeks Kemampuan Proses			
		Cp	Cpk	CR	Cpm
23.50 ± 0.80	μ = 23.39 mm σ = 0.2579 mm	1.034	0.892	0.967	0.951
23.50 ± 0.82		1.059	0.918	0.943	0.975
23.50 ± 1.26		1.628	1.486	0.614	1.498
23.50 ± 1.70		2.197	2.055	0.455	2.021
23.50 ± 2.40		3.102	2.959	0.322	2.853

Sumber : Hasil Perhitungan

Indeks Kemampuan Proses Pengecoran *Shoulder Clamp* Dengan Variasi Toleransi, Variasi Mean Proses dan Variansi Konstan

Mean Proses (mm)	Toleransi (mm)																							
	23.50 ± 0.50				23.50 ± 0.80				23.50 ± 0.82				23.50 ± 1.26				23.50 ± 1.70				23.50 ± 2.40			
	Indeks Kemampuan Proses																							
	Cp	Cpk	CR	Cpm	Cp	Cpk	CR	Cpm	Cp	Cpk	CR	Cpm	Cp	Cpk	CR	Cpm	Cp	Cpk	CR	Cpm	Cp	Cpk	CR	Cpm
23.00	0.65	0.39	1.55	0.30	1.03	0.39	0.97	0.47	1.06	0.41	0.94	0.49	1.63	0.98	0.61	0.75	2.20	1.55	0.46	1.01	3.10	2.46	0.32	1.42
23.05	0.65	0.45	1.55	0.32	1.03	0.45	0.97	0.51	1.06	0.48	0.94	0.53	1.63	1.05	0.61	0.81	2.20	1.62	0.46	1.09	3.10	2.52	0.32	1.54
23.10	0.65	0.52	1.55	0.35	1.03	0.52	0.97	0.56	1.06	0.54	0.94	0.57	1.63	1.11	0.61	0.88	2.20	1.68	0.46	1.19	3.10	2.58	0.32	1.68
23.15	0.65	0.58	1.55	0.38	1.03	0.58	0.97	0.61	1.06	0.61	0.94	0.63	1.63	1.18	0.61	0.97	2.20	1.74	0.46	1.30	3.10	2.65	0.32	1.84
23.20	0.65	0.65	1.55	0.42	1.03	0.65	0.97	0.67	1.06	0.67	0.94	0.69	1.63	1.24	0.61	1.06	2.20	1.81	0.46	1.43	3.10	2.71	0.32	2.02
23.25	0.65	0.71	1.55	0.46	1.03	0.71	0.97	0.74	1.06	0.74	0.94	0.76	1.63	1.31	0.61	1.17	2.20	1.87	0.46	1.58	3.10	2.78	0.32	2.23
23.30	0.65	0.78	1.55	0.51	1.03	0.78	0.97	0.82	1.06	0.80	0.94	0.84	1.63	1.37	0.61	1.29	2.20	1.94	0.46	1.74	3.10	2.84	0.32	2.45
23.35	0.65	0.84	1.55	0.56	1.03	0.84	0.97	0.89	1.06	0.87	0.94	0.92	1.63	1.43	0.61	1.41	2.20	2.00	0.46	1.90	3.10	2.91	0.32	2.68
23.40	0.65	0.90	1.55	0.60	1.03	0.90	0.97	0.96	1.06	0.93	0.94	0.99	1.63	1.50	0.61	1.52	2.20	2.07	0.46	2.05	3.10	2.97	0.32	2.89
23.45	0.65	0.97	1.55	0.63	1.03	0.97	0.97	1.02	1.06	1.00	0.94	1.04	1.63	1.56	0.61	1.60	2.20	2.13	0.46	2.16	3.10	3.04	0.32	3.05
23.50	0.65	1.03	1.55	0.65	1.03	1.03	0.97	1.03	1.06	1.06	0.94	1.06	1.63	1.63	0.61	1.63	2.20	2.20	0.46	2.20	3.10	3.10	0.32	3.10
23.55	0.65	0.97	1.55	0.63	1.03	0.97	0.97	1.02	1.06	1.00	0.94	1.04	1.63	1.56	0.61	1.60	2.20	2.13	0.46	2.16	3.10	3.04	0.32	3.05
23.60	0.65	0.90	1.55	0.60	1.03	0.90	0.97	0.96	1.06	0.93	0.94	0.99	1.63	1.50	0.61	1.52	2.20	2.07	0.46	2.05	3.10	2.97	0.32	2.89
23.65	0.65	0.84	1.55	0.56	1.03	0.84	0.97	0.89	1.06	0.87	0.94	0.92	1.63	1.43	0.61	1.41	2.20	2.00	0.46	1.90	3.10	2.91	0.32	2.68
23.70	0.65	0.78	1.55	0.51	1.03	0.78	0.97	0.82	1.06	0.80	0.94	0.84	1.63	1.37	0.61	1.29	2.20	1.94	0.46	1.74	3.10	2.84	0.32	2.45
23.75	0.65	0.71	1.55	0.46	1.03	0.71	0.97	0.74	1.06	0.74	0.94	0.76	1.63	1.31	0.61	1.17	2.20	1.87	0.46	1.58	3.10	2.78	0.32	2.23
23.80	0.65	0.65	1.55	0.42	1.03	0.65	0.97	0.67	1.06	0.67	0.94	0.69	1.63	1.24	0.61	1.06	2.20	1.81	0.46	1.43	3.10	2.71	0.32	2.02
23.85	0.65	0.58	1.55	0.38	1.03	0.58	0.97	0.61	1.06	0.61	0.94	0.63	1.63	1.18	0.61	0.97	2.20	1.74	0.46	1.30	3.10	2.65	0.32	1.84
23.90	0.65	0.52	1.55	0.35	1.03	0.52	0.97	0.56	1.06	0.54	0.94	0.57	1.63	1.11	0.61	0.88	2.20	1.68	0.46	1.19	3.10	2.58	0.32	1.68
23.95	0.65	0.45	1.55	0.32	1.03	0.45	0.97	0.51	1.06	0.48	0.94	0.53	1.63	1.05	0.61	0.81	2.20	1.62	0.46	1.09	3.10	2.52	0.32	1.54
24.00	0.65	0.39	1.55	0.30	1.03	0.39	0.97	0.47	1.06	0.41	0.94	0.49	1.63	0.98	0.61	0.75	2.20	1.55	0.46	1.01	3.10	2.46	0.32	1.42

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada analisis kemampuan proses ini akan dianalisis berturut-turut indeks kemampuan proses, yaitu indeks Cp, Cpk, CR dan Cpm.

Indeks Cp

Indeks Cp merepresentasikan potensial proses. Proses yang tidak *center* memungkinkan $C_p > 1$, dan akan terdapat beberapa proporsi ketidaksesuaian. Indeks CPU dan CPL berguna untuk mengevaluasi kinerja proses relatif terhadap batas spesifikasi, selain itu berguna untuk menentukan *setting* parameter proses (misalkan, mean proses) atau persyaratan parameter proses (misalkan, standar deviasi proses). Semakin besar nilai Cp, maka kualitas produk yang dihasilkan juga akan semakin bagus (kualitas disini berhubungan dengan karakteristik kualitas variabel, misalnya ukuran diameter)

Nilai Indeks Kemampuan Proses Minimum Yang Direkomendasikan

Proses	Two-Sides Specification	One-side Specification
Existing process	1.33	1.25
New process	1.50	1.45
Safety, strength, or critical parameter – existing process	1.50	1.45
Safety, strength, or critical parameter – new process	1.67	1.60

Sumber : Montgomery (2005)

Dari hasil pengolahan diperoleh indeks Cp sebesar 0.63 dengan batas bawah (CPI) = 0.49 dan batas atas (CPU) = 0.77, ini mengindikasikan proses secara potensial tidak mampu menghasilkan produk Shoulder clamp sesuai spesifikasi ukuran diameter yang ditentukan ($\varnothing 23.50 \pm 0.5$ mm atau 23.00 mm – 24.00 mm). Sesuai dengan batas minimum yang dianjurkan untuk dua sisi spesifikasi (Tabel 7) ternyata indeks Cp sebesar 0.63 belum mencapai batas minimum yang dianjurkan, yaitu sebesar 1.33 untuk proses eksisting. Indeks Cp tidak dipengaruhi oleh perubahan mean proses (perubahan mean proses tidak merubah nilai Cp), tetapi dipengaruhi oleh standar deviasi (σ), semakin kecil standar deviasi, maka nilai Cp akan semakin besar, begitu sebaliknya. Standar deviasi itu sendiri merupakan akar kuadrat dari variansi, dengan demikian jika variansi kecil, maka standar deviasi juga akan kecil. Indeks $C_p > 1$ belum dapat menjamin bahwa proses itu mampu menghasilkan produk sesuai spesifikasi. Oleh karena itu harus diuji dengan indeks kemampuan proses yang lain, yaitu indeks Cpk.

Indeks Cpk

Variabilitas proses tidak hanya dipengaruhi oleh parameter proses (mean dan variansi) dalam memproduksi produk yang sesuai, tetapi faktor lain yang sangat mempengaruhi kemampuan proses adalah lokasi/posisi mean proses. Indeks yang digunakan untuk menghitung lokasi/posisi mean proses adalah indeks Cpk. Indeks Cpk digunakan ketika mean proses tidak sama dengan nilai nominal atau nilai target (terjadi pergeseran mean proses). Cpk merepresentasikan skala jarak relatif 3 standar deviasi, antara mean proses dan batas spesifikasi. Skala jarak merupakan ukuran deviasi (penyimpangan) mean proses dari nilai target (nilai nominal).

Jika indeks Cp merepresentasikan potensial proses, maka nilai Cpk merepresentasikan kemampuan proses aktual dengan nilai parameter eksisting. Nilai Cpk menggabungkan mean proses dan standar deviasi untuk mengukur performance proses aktual. Dari hasil pengolahan, diperoleh nilai Cpk sebesar 0.49, ini artinya kemampuan aktual proses eksisting belum dapat menghasilkan produk sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan (terdapat produk yang *out of specification*). Jika Indeks $C_{pk} \geq 1$ mengindikasikan performance proses aktual sangat bagus dan praktis dapat dikatakan bahwa produk yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Jika proses *center* (mean proses sama dengan nilai target), maka $C_{pk} = C_p$. Nilai $C_{pk} = 1$ merupakan standar untuk perbandingan proses. Nilai Cpk selalu sama dengan atau lebih kecil dari nilai Cp ($C_{pk} \leq C_p$).

Selain itu nilai Cpk dapat juga digunakan untuk mengestimasi persen *yield* proses aktual yang didefinisikan dengan batas atas dan batas bawah. Boyles (1991) dalam Mitra (1998) mendefinisikan batas persen yield sebagai berikut $100[2\Phi(3C_{pk}) - 1] \leq \text{Percent yield} \leq 100\Phi(3C_{pk})$. Untuk kondisi eksisting pengecoran, diperoleh batas persen *yield* 85.84 % sampai 92.92 % dengan $C_{pk} = 0.49$ dan nilai tabel distribusi normal (Lampiran 4) untuk $\Phi(3C_{pk}) = \Phi(3 \times 0.49) = 0.9292$

Capability Ratio

CR merupakan ukuran kemampuan proses untuk menghasilkan item dalam batas spesifikasi. CR mengekspresikan persentase range spesifikasi yang digunakan oleh proses. Nilai CR yang diisyaratkan adalah ≤ 1 . Proses yang *center* dan memiliki nilai C_p yang besar dengan jelas menggunakan range spesifikasi yang kecil, begitu sebaliknya proses yang tidak *center* dan memiliki nilai C_p yang kecil akan menggunakan range spesifikasi yang besar, karena nilai CR berbanding terbalik dengan nilai C_p . Dari hasil perhitungan diperoleh rasio capability sebesar 1.55 atau 155 % dari range spesifikasi yang ditentukan (23 mm – 24 mm). Ini artinya persen range spesifikasi yang digunakan adalah 155 % atau 55 % lebih besar dari batas yang diijinkan.

Taguchi Capability Index, C_{pm}

Nilai C_{pm} mengindikasikan perbedaan batasan antara mean proses (μ) dan nilai target (T). Nilai ini mengukur deviasi (penyimpangan) mean proses dari nilai target. Semakin besar deviasi penyimpangan mean proses dari nilai target, maka nilai C_{pm} akan semakin kecil begitupun sebaliknya. Dari hasil pengolahan diperoleh nilai C_{pm} sebesar 0.58 dengan jarak standar mean proses/deviasi penyimpangan sebesar 0.43 mm ($|\mu - T|/\sigma = |23.39 - 23.50|/0.2579$). Jika deviasi penyimpangan menurun di bawah nilai 0.43 mm akan berimplikasi pada meningkatnya nilai C_{pm} , begitupun sebaliknya jika deviasi penyimpangan bertambah di atas nilai 0.43, maka nilai C_{pm} akan menjadi kecil. Hal ini ditunjukkan dengan semakinnya jauhnya penyimpangan mean proses dari nilai target, akibatnya produk yang dihasilkan akan keluar dari batas spesifikasi yang ditentukan.

Analisis Toleransi Shoulder Clamp

Toleransi *Shoulder clamp* yang digunakan saat ini untuk ukuran diameter adalah $\varnothing 23.50 \pm 0.5$ mm (persyaratan konsumen). Dari analisis kemampuan proses, khususnya *capability ratio* (CR) di peroleh nilai CR sebesar 1.55 (lebih dari nilai CR yang diisyaratkan ≤ 1). Ini mengindikasikan penggunaan range spesifikasi telah melebihi batas spesifikasi yang ditentukan yaitu batas bawah 23.00 mm dan batas atas 24.00 mm. Selain itu, jika dihubungkan dengan indeks C_p maupun C_{pk} , ternyata proses pengecoran saat ini belum memenuhi spesifikasi/toleransi yang ditetapkan, artinya spesifikasi/toleransi ukuran diameter *Shoulder clamp* yang ditetapkan terlalu sempit jika dibandingkan dengan hasil pengecoran saat ini. Kondisi ini juga dipertegas oleh persyaratan toleransi dimensi untuk proses pengecoran pasir (Ravi, 2004), yaitu > 0.6 mm (toleransi yang digunakan saat ini adalah $0.5 \text{ mm} < 0.6 \text{ mm}$). Untuk ukuran nominal 25 mm atau lebih kecil dianjurkan menggunakan toleransi untuk dimensi sebesar 1.5 mm. Di sini lain, jika persyaratan toleransi > 0.6 mm dibandingkan dengan Toleransi Dimensi Pengecoran berdasarkan ISO 8062 – 1994 (Steel Founders' Society of America, 2003) untuk ukuran dimensi antara 16 – 25 mm, maka *grade* Toleransi pengecoran yang harus digunakan adalah di atas *grade* 6. (Tabel 1). Berdasarkan pengalaman, *grade* toleransi pengecoran yang biasa digunakan pada Divisi Pengecoran PT. Barata Indonesia adalah *grade* 10 untuk berbagai ukuran dimensi.

Analisis Desain Toleransi Diameter Inti (*Core*)

Desain toleransi dengan menggunakan toleransi standar diperoleh dua alternatif toleransi diameter inti, yaitu 23.50 ± 0.80 mm dan 23.50 ± 1.26 mm. Sedangkan desain toleransi dengan menggunakan toleransi pengecoran diperoleh empat alternatif toleransi, yaitu 23.50 ± 0.82 mm, 23.50 ± 1.20 mm, 23.50 ± 1.70 mm ; dan 23.50 ± 2.40 mm. Desain toleransi diameter ini telah mempertimbangkan persyaratan untuk toleransi dimensi pengecoran pasir (> 0.6 mm). Desain toleransi baik dengan toleransi standar maupun toleransi pengecoran selain mempertimbangkan persyaratan yang ditentukan, juga mengacu pada fungsionalitas produk ketika digunakan. Dimana untuk penggunaan nantinya digunakan bersama-sama dengan clamp berbentuk huruf “e” atau *eclip* dengan diameter 19 mm. Dari diameter clamp dan shoulder clamp, maka akan terjadi suaian. Dimana suaian yang dimaksudkan disini adalah suaian longgar (suaian yang selalu akan menghasilkan kelonggaran (*clearance*)). Daerah toleransi lubang selalu terletak di atas daerah toleransi poros.. Pada suaian ini batas toleransi alami untuk lubang (*hole*) lebih besar dari batas toleransi alami untuk poros (*shaft*) dan diameter lubang dan poros diasumsikan berdistribusi normal. (Mitra, 1998). Ini artinya diameter shoulder clamp selalu lebih besar dari diameter clamp “e”.

Jumlah produksi, desain pengecoran, dan tipe dimensi merupakan faktor-faktor penting (*Steel Founders' Society of America* (2003)) dalam menentukan toleransi yang sesuai dengan proses akibat kompleksitas perilaku penyusutan logam selama proses pembekuan dan pendinginan. Kompleksitas ini harus mampu dikompensasi dalam pembuatan pola. Produksi pengecoran dalam jumlah yang besar biasanya memberikan kesempatan untuk membuat penyesuaian dimensional dalam peralatan pola atau

mengkompensasi perilaku penyusutan yang tidak dapat diprediksikan dengan satu atau lebih modifikasi langkah desain

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data, analisis dan interpretasi hasil, maka dapat disimpulkan hal – hal sebagai berikut :

1. Proses pengecoran saat ini belum mampu menghasilkan produk sesuai spesifikasi yang ditentukan dengan indeks $C_p = 0.65$; $C_{pk} = 0.50$; $CR = 1.55$ dan $C_{pm} = 0.59$
2. Desain toleransi dengan menggunakan toleransi standar diperoleh 2 alternatif toleransi diameter inti (*core*) *shoulder clamp*, yaitu 23.50 ± 0.80 mm dan 23.50 ± 1.26 mm. Sedangkan desain toleransi dengan menggunakan toleransi pengecoran diperoleh 4 alternatif toleransi, yaitu 23.50 ± 0.82 mm, 23.50 ± 1.20 mm, 23.50 ± 1.70 mm ; dan 23.50 ± 2.40 mm.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, unsur biaya kerugian kualitas dapat dipertimbangkan dalam perhitungan Ekspektasi kerugian kualitas dengan menggunakan toleransi hasil desain baik dengan pendekatan Toleransi Standar maupun Toleransi Pengecoran.

DAFTAR PUSTAKA

- Belavendram, N., (1995) *Quality By Design : Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*, Prentice Hall.
- Chase, Aquilano, Jacobs., (2001) *Operations Management for Competitive Advantage*, ninth edition, McGraw-Hill
- Kolarik, W.J. (1995), *Creating Quality: Concepts, Systems, Strategies, and Tools*, International Editions, McGraw-Hill, Inc.
- Laboratorium Sistem Produksi, (2006), *Pengecoran Logam*, Handout : Proses Manufaktur, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Mitra, A. (1998), *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, Second Edition, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- Montgomery, D.C., (2005) *Introduction to Statistical Quality Control*, 5th ed., Wiley, New York.
- Nelson, D.H., Schneider, G.Jr. (2001), *Applied Manufacturing Process Planning : With Emphasis On Metal Forming and Machining*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey
- Ravi, B. (2004), *Metal Casting*, IIT Bombay, India.
- Rochim, T. (2001), *Spesifikasi, Metrologi, & Kontrol Kualitas Geometrik*, Penerbit ITB, Bandung.
- Sato, G.K., Hartanto, N.S. (2000), *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Steel Founder's Society of America. (2003), *Steel Casting Hand Book, Supplement 3, Dimensional Capabilities Of Steel Casting*. USA.
- Taguchi, G., Elsayed, E.A., dan Hsiang, T. (1989), *Quality Engineering in Production System*. New York : McGraw-Hill.
- Taylor, W.A. (1991), *Optimization and Variation Reduction in Quality*, McGraw-Hill, Inc