

# Interpretasi *Out of Control Signal* pada Peta Kendali T<sup>2</sup> Hotelling dengan Metode Dekomposisi sebagai Upaya untuk Mendeteksi Kecacatan

Debora Anne Y.A.<sup>1, a</sup>, Adelina Hendryanto<sup>2, b</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Petra  
Siwalankerto 142-144 Surabaya 60236, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Petra  
Siwalankerto 142-144 Surabaya 60236, Indonesia

<sup>a</sup>debbie@peter.petra.ac.id

**Keywords:** Peta Kendali T<sup>2</sup> Hotelling, metode dekomposisi Mason, Tracy and Young.

**Abstrak.** Pengendalian kualitas proses dengan beberapa karakteristik kualitas perlu dilakukan pada karakteristik kualitas yang menyebabkan proses menjadi tidak terkendali, sehingga hasil yang didapat lebih maksimal. Peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling digunakan untuk mengendalikan proses yang mempunyai lebih dari satu karakteristik kualitas (multivariat), dimana karakteristik kualitas penyebab kecacatan dapat diketahui dengan cara menginterpretasikan sinyal data yang keluar dari batas kendali. Studi kasus dilakukan pada sebuah perusahaan sepeda, PT X, dimana jumlah produk *repair* pada proses *welding* mencapai 20% dari total produksi. Artikel ini membahas upaya untuk mendeteksi kecacatan pada proses *welding* PT X dengan menggunakan peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling. Karakteristik kualitas penyebab kecacatan dideteksi dengan cara menginterpretasikan *out of control signal* pada peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling, dengan menggunakan metode dekomposisi MYT (Mason, Tracy, and Young, 399). Dari interpretasi data tersebut, diketahui bahwa kecacatan terbesar disebabkan oleh karakteristik kualitas las, yaitu las kotor. Jenis kecacatan las kotor ini disebabkan karena kurang lamanya waktu proses pencucian pipa. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan penggunaan *timer* untuk tiap tahapan proses pencucian pipa.

## Pendahuluan

Kualitas sangat penting bagi sebuah produk/jasa. Produsen cenderung memperhatikan produk dari segi produktivitas, biaya dan kualitas produk, sedangkan konsumen memperhatikan kualitas produk, harga, dan pelayanan penjualan. Dengan demikian, kualitas adalah hal penting bagi kedua belah pihak. Karakteristik kualitas adalah sifat-sifat yang dimiliki suatu produk/jasa yang secara keseluruhan memberi rasa kepuasan kepada penggunaannya karena telah sesuai atau melebihi apa yang dibutuhkan dan diharapkan. Salah satu cara untuk memenuhi karakteristik kualitas tersebut adalah dengan mengendalikan kecacatan yang terjadi pada saat proses produksi berlangsung (*in line quality control*), dengan bantuan peta kendali. Pengendalian kualitas proses dengan beberapa karakteristik kualitas perlu dilakukan pada karakteristik kualitas yang menyebabkan proses menjadi tidak terkendali, sehingga hasil yang didapat lebih maksimal. Peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan proses produksi yang mempunyai lebih dari satu karakteristik kualitas (multivariat). Karakteristik kualitas penyebab kecacatan dideteksi dengan cara menginterpretasikan *out of control signal* pada peta kendali T<sup>2</sup> Hotelling, dengan menggunakan metode dekomposisi MYT (Mason, Tracy, and Young, 399).

PT X merupakan perusahaan manufaktur pembuat sepeda. Salah satu proses produksinya adalah proses pengelasan (*welding*), dimana proses ini menghasilkan rangka utama/*frame* yang merupakan komponen pokok dalam pembuatan sepeda. Pada proses *welding* terdapat 17 karakteristik kualitas. Apabila terdapat satu atau lebih karakteristik yang tidak memenuhi standar, maka produk dikatakan cacat dan harus diproses ulang (*repair*). Permasalahan yang terjadi adalah jumlah produk *repair* proses *welding* mencapai 20% dari total produksi. Produk *repair* akan membuat proses produksi menjadi tidak efisien karena perbaikan produk membutuhkan waktu, tenaga, dan biaya yang

seharusnya tidak perlu dikeluarkan. Selama ini perusahaan menganalisis pengendalian karakteristik-karakteristik kualitas secara individual. Padahal, karakteristik kualitas yang saling berhubungan harus dikendalikan secara bersama-sama. Artikel ini bertujuan untuk mendeteksi kecacatan yang terjadi pada proses *welding* dengan menggunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling. *Out of control signal* diinterpretasikan dengan metode dekomposisi MYT, sehingga karakteristik kualitas penyebab kecacatan dapat diketahui dan solusi dapat diberikan kepada perusahaan untuk mengatasi permasalahan pada proses *welding*.

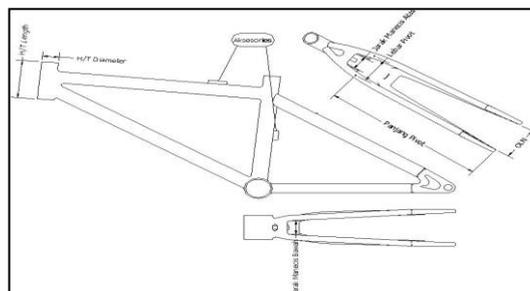
## Metode Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengamati sistem pengendalian kualitas proses *welding*, melalui observasi lapangan dan wawancara.
2. Mengumpulkan data kecacatan dari data masa lalu perusahaan selama enam bulan.
3. Menentukan karakteristik kualitas yang menjadi fokus penelitian dengan bantuan Diagram Pareto dan uji dependen antara karakteristik kualitas satu dengan yang lain.
4. Menentukan cara pengambilan data dan sampel secara langsung pada lantai produksi. Sampel diambil setiap 15 menit dengan jumlah sampel sebanyak lima *frame*.
5. Mengumpulkan data fase I dan untuk membangun batas kendali peta kendali  $T^2$  Hotelling.
6. Membuat dan menganalisis peta kendali  $T^2$  Hotelling fase I dengan bantuan *software* R dalam menghitung nilai varian dan kovarians dari tiap karakteristik. Data yang keluar dari batas kendali, dianalisis dengan metode dekomposisi MYT.
7. Mengumpulkan data fase II untuk proses *monitoring*.
8. Menganalisis proses produksi dengan peta kendali  $T^2$  Hotelling (fase 2). Apabila terdapat data yang keluar dari batas kendali, dilakukan analisis penyebab data yang keluar dan interpretasi data dengan metode dekomposisi MYT.
9. Membuat *Fishbone Diagram* dan memberikan solusi.
10. Mengambil kesimpulan.

## Hasil dan Pembahasan

**Karakteristik Kualitas.** Inspeksi terhadap *frame* sepeda dilakukan pada saat proses *welding* berlangsung. Sebuah *frame* dikatakan berkualitas jika *frame* tersebut sesuai dengan semua karakteristik kualitas yang ada. Adapun karakteristik kualitas yang diperiksa dari sebuah *frame* adalah H/T diameter, H/T *length*, aksesoris, simetris segitiga depan, jarak manecis atas, jarak manecis bawah, lebar dan jarak *lock nut*, lebar pivot, jarak pivot, OLN, simetris segitiga belakang, kualitas las, kualitas *brazing*, permukaan pipa, hasil *reamer*, ulir BB *shell*, dan *hardness* (lihat Gambar 1).



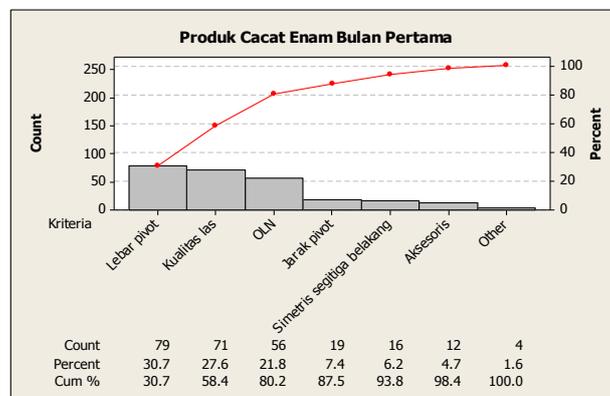
Gambar 1. Bagian-bagian *Frame* Sepeda

**Diagram Pareto dan Uji Dependent.** Produk dikatakan cacat apabila produk tersebut tidak memenuhi satu atau lebih dari 17 karakteristik kualitas yang telah ditetapkan. Produk cacat pada proses *welding* dinamakan produk *repair*. Produk *repair* harus diperbaiki sehingga memenuhi 17 karakteristik kualitas yang telah ditetapkan. Data produk cacat selama enam bulan dapat dilihat

pada Tabel 1. Tujuh karakteristik kualitas yang cacat yaitu aksesoris, lebar pivot, jarak pivot, OLN, simetris segitiga belakang, kualitas las, dan kualitas *brazing*. Setelah dilakukan uji dependen, diketahui bahwa karakteristik kualitas yang saling berhubungan adalah lebar pivot, kualitas las, OLN, serta kualitas *brazing*. Diagram Pareto pada Gambar 1 menunjukkan urutan kecacatan. Berdasarkan prinsip Pareto 80/20, prioritas utama ditekankan pada 80% kecacatan terbesar yaitu lebar pivot, kualitas las, dan OLN.

Tabel 1. Data Produk Cacat Selama Enam Bulan

Karakteristik Kualitas	Total	Prosentase	Karakteristik Kualitas	Total	Prosentase
H/T diameter	0	0%	OLN	56	21.90%
H/T Length	0	0%	Simetris segitiga belakang	16	6.30%
Aksesoris	12	4.70%	Kualitas las	71	27.70%
Simetris segitiga depan	0	0%	Kualitas <i>brazing</i>	3	1.20%
Jarak manecis atas	0	0%	Permukaan pipa	0	0%
Jarak manecis bawah	0	0%	Hasil <i>reamer</i>	0	0%
Lebar dan jarak <i>lock nut</i>	0	0%	Ulir BB <i>Shell</i>	0	0%
Lebar pivot	79	30.90%	<i>Hardness</i>	0	0%
Jarak pivot	19	7.40%			



Gambar 2. Diagram Pareto Produk Cacat Selama Enam Bulan

Lebar pivot yang terlalu lebar akan mempersulit proses rem karena diperlukan menarik rem agak dalam. Sebaliknya apabila lebar pivot terlalu sempit, penarikan rem sedikit saja dapat menyebabkan sepeda berhenti mendadak sehingga pengendara sepeda menjadi terkejut dan jatuh dari sepeda. OLN merupakan lebar yang disesuaikan untuk tempat masuknya roda belakang. Apabila OLN terlalu lebar, roda tidak dapat menempel tepat pada *frame* segitiga belakang, sehingga sepeda tidak dapat jalan dengan seimbang karena roda belakang dapat bergerak ke kanan maupun ke kiri. OLN yang terlalu sempit menyebabkan roda tidak dapat dimasukkan pada *frame* segitiga belakang. Jenis kecacatan yang berhubungan dengan karakteristik kualitas las meliputi lubang, las terlalu cair, keropos, rigi tidak rata, dan las kurang. Hasil pengelasan dikatakan berlubang jika terdapat lubang yang cukup besar, dengan jumlah sedikit. Hasil pengelasan yang terlalu cair dapat diketahui dari rigi las yang tidak berbentuk sirip ikan tetapi berbentuk lancip, dan hasil las menjadi lebih tipis. Hasil las keropos jika terdapat lubang-lubang kecil dalam jumlah yang cukup banyak. Hasil las kotor disebabkan karena adanya kotoran pada hasil pengelasan, ada yang dapat dihilangkan dan ada yang tidak dapat dihilangkan. Hasil las yang disebabkan rigi tidak rata dapat diketahui dari bentuk sirip ikan hasil pengelasan, di mana sirip ikan yang satu dengan yang lain tidak sama. Hasil las yang kurang dapat dilihat dari adanya beberapa bagian dari *frame* sepeda yang belum di las.

**Peta Kendali  $T^2$  Hotelling.** Pengumpulan data fase I dilakukan dengan mencatat hasil pemeriksaan *frame* untuk lebar pivot, kualitas las, dan OLN. Data tersebut kemudian diolah untuk membangun peta kendali  $T^2$  Hotelling, dengan bantuan *software* R. Nilai  $T^2$  dan batas kendali atas (UCL) fase 1 dapat dicari dengan rumus (1) dan (2). Sedangkan batas kendali bawah (LCL) sama dengan nol.

$$T_k^2 = n(\bar{x}_k - \bar{\bar{x}})'S^{-1}(\bar{x}_k - \bar{\bar{x}}) \text{ untuk } k = 1,2,3,\dots,m \quad (1)$$

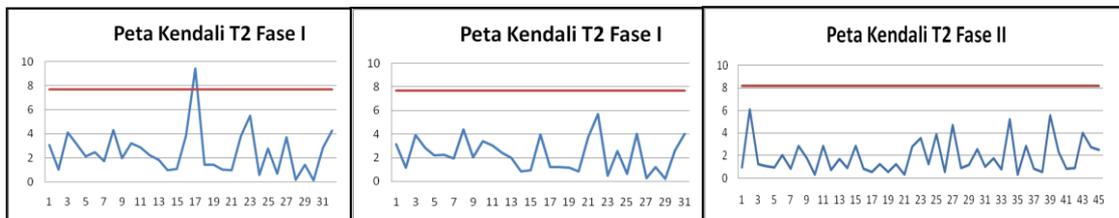
$$UCL = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (2)$$

Keterangan: n adalah ukuran sampel, m adalah jumlah subgrup,  $T_k^2$  adalah nilai statistik  $T^2$  Hotelling subgrup ke k,  $\bar{\bar{x}}$  adalah matriks px1 rerata karakteristik kualitas,  $\bar{x}_k$  adalah matriks px1 karakteristik kualitas untuk subgrup ke k, S adalah matriks p x p kovarians, p adalah jumlah karakteristik kualitas,  $F_{\alpha,p,mn-m-p+1}$  adalah nilai tabel F( $\alpha,p,mn-m-p+1$ ).

Contoh hasil perhitungan  $T^2$  dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan nilai UCL fase 1 adalah sebesar 7.67. Peta kendali fase 1 dapat dilihat pada Gambar 3 (kiri).

Tabel 2. Hasil Perhitungan Nilai  $T^2$  Fase I

Subgrup	$\bar{x}_{1k}$	$\bar{x}_{2k}$	$\bar{x}_{3k}$	$S^2_{1k}$	$S^2_{2k}$	$S^2_{3k}$	$S^2_{12k}$	$S^2_{13k}$	$S^2_{23k}$	$T_k^2$
1	79.2	135	0.4	0.7	0.5	0.3	0.5	0.15	0.25	3.075
2	79.2	134.2	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	-0.1	-0.1	1.024
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
32	79.8	134.4	0.4	0.2	0.8	0.3	0.1	0.1	0.3	4.281
	$\bar{\bar{x}}_1 =$ 79.256	$\bar{\bar{x}}_2 =$ 134.516	$\bar{\bar{x}}_3 =$ 0.356	$\bar{S}^2_{11} =$ 0.638	$\bar{S}^2_{22} =$ 0.614	$\bar{S}^2_{33} =$ 0.266	$\bar{S}^2_{12} =$ 0.338	$\bar{S}^2_{13} =$ -0.005	$\bar{S}^2_{23} =$ 0.017	



Gambar 3. Peta Kendali  $T^2$  Hotelling

Dari gambar tersebut nampak bahwa terdapat satu data yang keluar dari batas kendali yaitu data subgrup 17 dengan nilai  $T^2$  sebesar 9.454. Dari hasil pengamatan, penyebab keluarnya data dari batas kendali adalah operator melakukan pekerjaan las secara tergesa-gesa karena sudah kelelahan dan ingin cepat istirahat. Oleh karena itu, data subgrup ke-17 dibuang, dan peta kendali yang baru dapat dilihat pada Gambar 3 (tengah). Data yang dikumpulkan pada fase 2 digunakan untuk *monitoring* proses. Batas kendali atas (UCL) sebesar 8.19 dihitung dengan rumus (3), sedangkan peta kendalinya dapat dilihat pada Gambar 3 (kanan).

$$UCL = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (3)$$

Peta kendali ini digunakan untuk *monitoring* proses produksi yang akan datang, di mana batas kendali yang digunakan adalah tetap. Akan tetapi, untuk jangka waktu tertentu, batas kendali harus dihitung kembali. Hal ini mengingat performa proses produksi dapat berubah. Data yang keluar pada fase ini dapat diakibatkan oleh *false alarm*, yang dapat diprediksi dari *Average Run Length* ( $ARL_0$ ). Nilai  $ARL_0$  untuk peta kendali  $T^2$  Hotelling ini adalah 24. Hal ini menunjukkan bahwa setelah 24 subgrup diambil (kurang lebih), akan terdapat 1 data yang keluar. Meskipun demikian, proses produksi tetap terkendali.

**Interpretasi Out of Control Signal pada Peta Kendali  $T^2$  Hotelling.** Pada peta kendali  $T^2$  Hotelling fase 1, data subgrup ke-17 keluar dari batas kendali. Karakteristik kualitas yang berkontribusi terhadap keluarnya data dapat diketahui melalui interpretasi data dengan metode dekomposisi Mason, Tracy, and Young (MYT). Pada dekomposisi MYT terdapat *unique terms* yang tergantung dari jumlah variabel yang digunakan. Pada penelitian ini, terdapat tiga variabel yang digunakan (lebar pivot, OLN, dan las). Jumlah *unique terms* untuk tiga variabel adalah 12. Bentuk *unique terms* untuk tiga variabel ini adalah  $T_{11}^2, T_{12}^2, T_{13}^2, T_{123}^2, T_2^2, T_{21}^2, T_{23}^2, T_{213}^2, T_3^2, T_{31}^2, T_{32}^2,$  dan  $T_{312}^2$ . Langkah pertama dalam metode dekomposisi MYT adalah mencari nilai  $T_{(i)}^2$

individual untuk tiap variabel dengan menggunakan rumus  $T^2$  *uncontidional* (4). Setiap nilai  $T_{(i)}^2$  yang telah diperoleh dibandingkan dengan nilai dari distribusi F yaitu sebesar 4.295, yang didapatkan melalui perhitungan dengan rumus (5). Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai  $T_{(i)}^2$  yang signifikan adalah  $T_{(3)}^2$  ( $11.331 > 4.295$ ). Setelah mengetahui bahwa nilai  $T_{(i)}^2$  yang signifikan adalah  $T_{(3)}^2$ , maka variabel ketiga, yaitu variabel las dihilangkan dan diperiksa subvektor yang mengandung sisa variabel (lebar pivot dan OLN).

$$T_{(i)}^2 = \frac{(x_i - \bar{x}_i)^2}{s_i^2} \quad (4)$$

$$T_i^2 \sim \frac{m+1}{m} F_{(1, m-1)} \quad (5)$$

Tabel 3. Pehitungan Nilai  $T_{(i)}^2$  dengan Metode Dekomposisi MYT

(i)	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$S_T^2$	$T^2$	$T_{(i)}^2$	F
1 (lebar pivot)	78.4	79.256	0.1864	9.454	3.933	4.295
2 (OLN)	134	134.516	0.094	9.454	2.82	4.295
3 (Las)	0.8	0.356	0.017	9.454	11.331	4.295

Perhitungan untuk nilai subvektor adalah sebagai berikut:

$$\text{subvektor} = T^2 - T_3^2 = 9.454 - 11.331 = -1.877$$

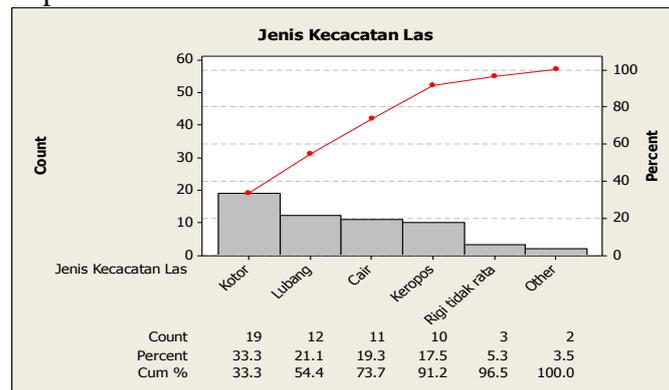
Nilai dari subvektor lebih rendah dari nilai distribusi F (4.295). Hal ini menunjukkan bahwa setelah variabel las dihilangkan, maka subvektor yang mengandung sisa variabel tidak memberikan sinyal keluar dari batas kendali dan perhitungan dapat dihentikan. Maka dapat disimpulkan bahwa penyebab dari data yang keluar adalah variabel las. Apabila dari subvektor yang tersisa memberikan sinyal, maka nilai  $T_{i,j}^2$  ( $T_{1,2}^2$  dan  $T_{2,1}^2$ ) harus dihitung dengan menggunakan rumus  $T^2$  *conditional* (6). Kemudian nilai  $T_{1,2}^2$  atau  $T_{2,1}^2$  diperiksa, apakah memberikan sinyal keluar dari batas kendali atau tidak.

$$T_{i,1,2 \dots i-1}^2 = \frac{(x_i - \bar{x}_{i,1,2 \dots i-1})^2}{s_{i,1,2 \dots i-1}^2} \quad (6)$$

$$T_{i,1,2 \dots i-1}^2 \sim \frac{(m+1)(m-1)}{m(m-k-1)} F_{(1, m-k-1)} \quad (7)$$

**Jenis Kecacatan Terbesar.** Hasil interpretasi peta kendali  $T^2$  Hotelling fase I menunjukkan bahwa data yang keluar dari batas kendali disebabkan oleh karakteristik kualitas las. Jenis kecacatan yang disebabkan oleh karakteristik kualitas las beserta jumlahnya adalah sebagai berikut: lubang (12), cair (11), keropos (10), kotor (19), rigi tidak rata (3), dan las kurang (2). Diagram Pareto dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan prinsip pareto 80/20, prioritas perbaikan diutamakan untuk jenis kecacatan las kotor, lubang, dan cair. Penyebab kecacatan dianalisa dengan Fishbone Diagram. Las kotor disebabkan oleh manusia dan bahan baku. Keahlian yang kurang memadai, kelelahan, dan ketidaktelitian operator menghasilkan *frame* yang tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan. Selain itu, kotoran yang menempel pada pipa dapat bercampur dengan las. Pipa kotor disebabkan waktu pencucian kurang lama. Proses pencucian terdiri dari 5 dan hanya terdapat 1 operator. Tiap tahap mempunyai waktu pencucian yang berbeda. Banyaknya pipa yang harus dicuci menyebabkan konsentrasi operator tidak fokus terhadap satu tahap yang dilakukan. Hal ini menyebabkan pipa diangkat dari proses pencucian lebih cepat dari waktu yang ditentukan sehingga kotoran masih menempel pada pipa. Las lubang juga disebabkan oleh manusia dan bahan baku. Keahlian yang kurang memadai, kelelahan, dan ketidaktelitian operator menghasilkan las yang berlubang. Selain itu, terdapat *gap* pipa. Hal ini disebabkan pipa yang satu dengan yang lain tidak dapat menyatu dengan baik karena ujung pipa tidak terbentuk secara sempurna di proses *milling*. Las cair disebabkan oleh dua faktor, yaitu manusia dan mesin. Keahlian yang kurang memadai, kelelahan dan ketidaktelitian operator akan mempengaruhi hasil las. Selain itu, produk cacat dapat disebabkan

arus listrik yang kurang pada mesin las. Arus listrik yang disarankan untuk proses pengelasan adalah antara 200-250 Ampere.



Gambar 5. Diagram Pareto Jenis Kecacatan Las

**Alternatif Perbaikan.** Solusi yang diusulkan adalah pemberian *training* kepada operator agar memiliki keahlian mengelas sesuai dengan standar, serta pendisiplinan operator yang kurang teliti dan tergesa-gesa. Selain itu, digunakan *timer* untuk tiap tahap pencucian pada proses pencucian, sehingga operator dapat mengetahui apakah lama pencucian untuk tiap tahap sudah sesuai dengan prosedur. Apabila waktu pencucian sudah sesuai dengan prosedur, *alarm* dari *timer* akan berbunyi dan pipa dapat diangkat. Adanya *gap* antara pipa diatasi dengan mengecek mesin *milling* dalam jangka waktu tertentu. Kesalahan *set up* mesin mengakibatkan hasil pemotongan ujung pipa menjadi tidak sesuai. Selain itu, setelah mengalami proses *milling*, pipa harus langsung diinspeksi sehingga pipa dengan ujung pemotongan yang tidak sesuai dapat segera ditindaklanjuti. *Work instruction* perlu diberikan di tiap tempat pengelasan dan ditekankan agar operator mengelas dengan arus listrik yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

## Kesimpulan

Peta kendali  $T^2$  Hotelling diaplikasikan pada proses *welding* yang memiliki 4 karakteristik kualitas dependent, yaitu lebar pivot, OLN, kualitas las, dan kualitas *brazing*. Sesuai dengan prinsip Pareto 80/20, penelitian difokuskan pada 3 karakteristik kualitas yaitu lebar pivot, OLN, dan kualitas las. Karakteristik kualitas yang menyebabkan data keluar dari batas kendali diketahui dengan menginterpretasikan data yang keluar dari batas kendali peta kendali  $T^2$  Hotelling, dengan metode dekomposisi Mason, Tracy, and Young (MYT). Sebagai hasil, diketahui bahwa karakteristik kualitas las yang menyebabkan proses menjadi tidak terkendali. Berdasarkan Diagram Pareto, tiga jenis kecacatan las yang menyebabkan produk cacat adalah las kotor, lubang, dan cair. Jenis kecacatan las terbesar adalah las kotor. Hal ini disebabkan kurang lamanya waktu proses pencucian, sehingga masih terdapat kotoran pada pipa. Solusinya adalah dengan penggunaan *timer* untuk tiap tahap dalam proses pencucian, sehingga waktu proses pencucian sesuai dengan prosedur yang ada.

## References

- [1] Besterfield, D.H. (1998). *Quality Control* (5<sup>th</sup> edition). Singapore: Prentice-Hall, Inc.
- [2] Goetch, D.L. dan Davis, S. (1995). *Implementing to Total Quality*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.
- [3] Mason, Robert. L., Nola D. Tracy, & John C. Young. (1997,October). *A Practical Approach for Interpreting Multivariate  $T^2$  Control Chart Signals*. Journal of Quality Technology, 4, pg.396.
- [4] Mitra, A. (1993). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. Singapore: MacMillan Publishing Co.
- [5] Montgomery, Douglas C. 2005. *Introduction to Statistical Quality Control-5<sup>th</sup> ed*. Mc Graw Hill.