

# PERANCANGAN SISTEM INSPEKSI PADA SISTEM MANUFAKTUR BERBASIS PESANAN

Nandang Rusmana, MT

Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung

Jln. Ir. H. Juanda Komplek Kanayakan Dago, Tromol Pos 851, Bandung 40008 Indonesia

Phone: (022)2500241, Fax : (022)2502649, E-mail : [nandangr@polman-bandung.ac.id](mailto:nandangr@polman-bandung.ac.id)

## Abstrak

Sistem Inspeksi pada Sistem Manufaktur Berbasis Pesanan (SMBP) dilakukan 100% inspeksi dengan cara mengukur setiap komponen produk oleh operator mesin, kemudian dilakukan pengukuran ulang komponen produk tersebut oleh inspektor sebagai inspeksi akhir. Hal ini dilakukan untuk menjaga kualitas komponen produk agar senantiasa memenuhi spesifikasi pada gambar teknik tanpa memantau proses produksi. Pengukuran ulang setiap komponen produk oleh inspektor dapat menyebabkan benda produksi akan lebih lama sampai ke konsumen.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem inspeksi yang dapat memantau proses dan mengurangi pengukuran ulang komponen produk oleh inspektor pada SMBP. Sistem Inspeksi pada SMBP diusulkan menggunakan sampling pengukuran komponen produk dengan menggunakan peta kontrol Deviation from Nominal (DNOM) untuk Short Production Run. Peta Kontrol DNOM yang diusulkan bertujuan untuk pengendalian proses statistik (SPC, Statistical Process Control). Pengukuran komponen produk dilakukan secara sampling harian dan mingguan. Hasil analisis menunjukkan pengendalian proses statistik menggunakan DNOM dapat diterapkan pada SMBP dengan pergeseran rata-rata proses di atas rata-rata nominalnya.

**Kata Kunci :** Sistem Inspeksi, SMBP, SPC, Short Production Run

## I. PENDAHULUAN

### Latar belakang

Sistem inspeksi pada sistem manufaktur berbasis pesanan (SMBP) dilakukan melalui pengukuran benda produksi oleh operator mesin menggunakan alat ukur produksi, kemudian benda produksi tersebut diukur ulang oleh inspektor menggunakan alat ukur di bagian kontrol kualitas (QC, *Quality Control*). Biasanya operator melakukan *setup* pada mesin setiap kali akan membuat komponen produk (*part*), kemudian pada saat proses pembuatannya dilakukan pengukuran oleh operator yang kemudian dilakukan pengukuran ulang oleh inspektor.

Sistem inspeksi yang dilakukan pada sistem manufaktur berbasis pesanan (*Engineering To Order*, ETO dan *Make To Order*, MTO) adalah dengan cara mengukur 100% produk akhir oleh inspektor yang telah diproses di suatu mesin. Hal ini dilakukan karena karakteristik sistem manufaktur berbasis pesanan (SMBP) yang membuat benda produksi yang sangat beragam tergantung pada permintaan dari konsumen dengan jumlah yang sedikit bahkan hanya satu unit.

Pengukuran benda produksi oleh operator mesin harus dilakukan untuk memenuhi spesifikasi,

sedangkan pengukuran ulang benda produksi oleh inspektor dilakukan untuk memastikan benda produksi sesuai spesifikasi. Sistem inspeksi seperti ini tidak dapat memantau proses, tetapi hanya memantau produk akhir. Benda produksi yang keluar dari spesifikasi akan ditolak atau diperbaiki terlebih dahulu sebelum dikirim ke konsumen. Hal ini dapat meningkatkan biaya produksi dan benda produksi akan lebih lama sampai ke konsumen.

### Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada permasalahan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan rancangan sistem inspeksi untuk memantau proses agar terkendali yang dapat diterapkan pada sistem manufaktur berbasis pesanan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### *Statistical Process Control (SPC)*

Dalam rangka peningkatan kualitas, salah satu metoda statistik yang dapat digunakan untuk menjelaskan variasi produk adalah *Statistical Process Control* (Montgomery, 2009). Metoda statistik ini telah lama digunakan dalam rangka peningkatan kualitas. Secara formal, hal ini dimulai pada tahun 1924 oleh Walter A. Shewhart dari Bell Telephone Laboratories yang mengembangkan konsep peta kontrol dan

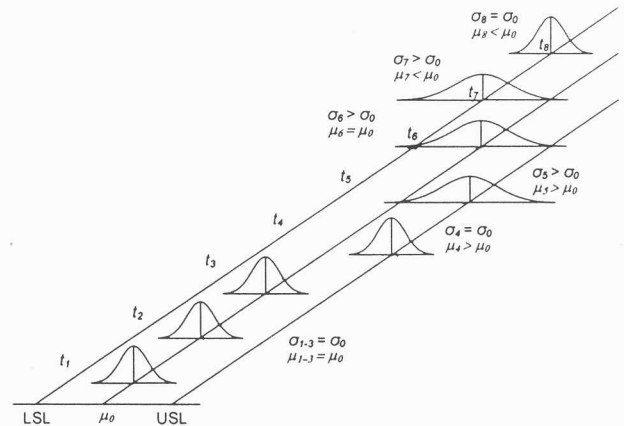
dilanjutkan dengan mempublikasikan bukunya yang berjudul *Economic Control of Quality of Manufactured Product* pada tahun 1931.

Peta kontrol Shewhart adalah teknik yang digunakan dalam pengendalian kualitas statistik (*statistical quality control*) yang bertujuan untuk memantau proses. Peta kontrol ini terdiri dari sebuah garis tengah yang dikenal dengan istilah *Center Line* (CL) dan dua buah batas kontrol, yaitu batas kontrol atas (*Upper Control Limit*, UCL) dan batas kontrol bawah (*Lower Control Limit*, LCL). Pada kondisi proses yang terkendali (*in-control*), beberapa sampel hasil pengamatan tersebar diantara garis tengah dan berada diantara dua batas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa variasi proses disebabkan oleh sumber yang umum (*chance causes*). Apabila muncul sumber variasi yang khusus (*assignable causes*), maka sampel hasil pengamatan akan terletak di luar batas kontrol, atau beberapa sampel hasil pengamatan akan membentuk suatu pola tertentu. Pada kondisi ini dikatakan proses tidak terkendali (*out-of-control*). Hal ini mengisyaratkan bahwa harus segera dilakukan beberapa investigasi, analisis dan tindakan korektif terhadap proses untuk melepas sumber variasi yang khusus tersebut, misalkan dengan menggunakan diagram sebab akibat. Metoda statistik seperti ini dikenal dengan istilah *Statistical Proses Control* (SPC).

SPC merupakan sekumpulan alat bantu (*tools*) dalam pemecahan masalah yang berguna untuk mempertahankan kestabilan proses melalui penurunan variabilitas. Terdapat tujuh alat bantu yang utama yaitu *histogram*, *check sheet*, *pareto chart*, *cause-and-effect diagram*, *defect concentration diagram*, *scatter diagram* dan *control chart*. Dalam setiap proses produksi akan senantiasa terdapat perubahan alamiah yang tidak dapat dihindari dikenal sebagai *stable system of chance causes*. Proses dikatakan *in statistical control* apabila hanya terdapat *chance causes of variation* di dalam proses tersebut. Sumber perubahan lainnya yang dapat terjadi adalah *assignable causes of variation*. Proses yang mengalami *assignable causes* dikatakan *out-of-control process*. Ilustrasi sumber perubahan yang diakibatkan *chance* dan *assignable causes* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Gambar 2.1 menjelaskan bahwa pada saat  $t_1$  sampai dengan  $t_3$  proses berada dalam kondisi *in-control*, yaitu variasi hanya diakibatkan oleh *chance causes*. Hal ini dapat terlihat pada distribusi normal sampel yang berada pada rata-rata dan standar deviasi populasi ( $\mu_{1-3} = \mu_0$  dan  $\sigma_{1-3} = \sigma_0$ ). Pada saat  $t_4$ , *assignable causes* muncul yang menyebabkan rata-rata proses mulai bergeser menjadi lebih besar dengan standar deviasi yang tetap ( $\mu_4 > \mu_0$  dan  $\sigma_4 = \sigma_0$ ). Pada  $t_5$ , muncul *assignable causes* yang baru mengakibatkan standar deviasi proses semakin membesar sehingga

melebihi standar deviasi yang telah ditetapkan ( $\mu_5 > \mu_0$  dan  $\sigma_5 > \sigma_0$ ). Pada saat  $t_6$  masih terdapat *assignable causes* walaupun rata-rata proses pada sampel telah sama dengan rata-rata proses yang ditetapkan karena standar deviasi proses masih besar ( $\mu_6 = \mu_0$  dan  $\sigma_6 > \sigma_0$ ). Pada  $t_7$  *assignable causes* menyebabkan rata-rata proses lebih kecil dari seharusnya dan standar deviasi proses tetap besar ( $\mu_7 < \mu_0$  dan  $\sigma_7 > \sigma_0$ ). Pada  $t_8$  masih terdapat *assignable causes* walaupun standar deviasi sampel sudah sama dengan standar deviasi populasi tetapi rata-rata sampel masih berada lebih kecil dari rata-rata populasi ( $\mu_8 < \mu_0$  dan  $\sigma_8 = \sigma_0$ ).



Gambar 2. 1 Variasi akibat *chance* dan *assignable causes*

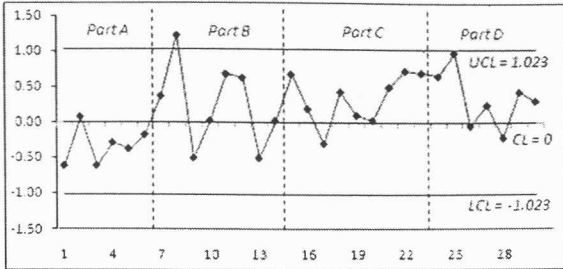
(Sumber: Montgomery, 2009, dengan sedikit modifikasi)

Kondisi proses pada saat  $t_4$  sampai dengan  $t_8$  mengalami *assignable causes* sehingga dikatakan proses berada dalam *out-of-control*. Sejak pada kondisi  $t_4$  proses sudah mulai terlihat mengalami perubahan sehingga dibutuhkan perbaikan proses dengan cara mencari sumber-sumber variasi yang menyebabkan proses tidak berjalan *in-control*, kemudian dilakukan tindakan perbaikan. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya pembuatan produk yang tidak sesuai (*nonconforming*). Teknik pemantauan proses ini dilakukan secara *on-line* menggunakan peta kontrol yang merupakan salah satu alat bantu SPC dalam mengurangi variabilitas.

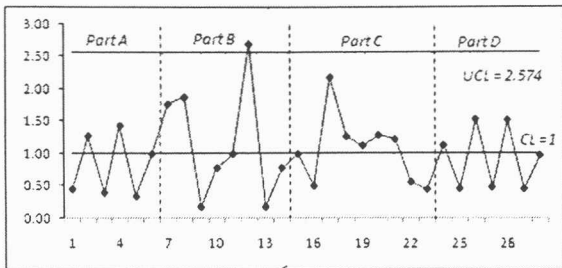
### Short Production Runs

Menurut Montgomery (2009), penggunaan metoda SPC dapat diterapkan pada berbagai macam tipe bisnis, termasuk sistem manufaktur yang memiliki ciri seperti *short production runs*. Pada *short production runs*, banyaknya rata-rata produk yang diamati sangat pendek, sehingga variabel yang digunakan pada peta kontrol berupa perbedaan dimensi dari nominal, yang dikenal dengan peta kontrol *deviation from nominal* (DNOM). Peta kontrol DNOM

menggunakan peta  $\bar{x}$  dan  $R$  untuk memantau proses seperti halnya peta kontrol yang digunakan pada SPC. Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 memperlihatkan contoh peta kontrol DNOM yang digunakan pada komponen produk A, B, C, dan D yang berbeda.



Gambar 2.2 Peta kontrol  $\bar{x}$



Gambar 2.3 Peta kontrol  $R$

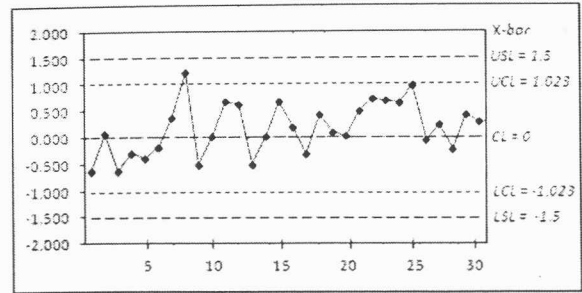
Tiga hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan peta kontrol DNOM adalah:

1. Menggunakan asumsi bahwa setiap produk memiliki standar deviasi proses yang sama.
2. Menggunakan ukuran sampel yang sama untuk semua produk.
3. Menggunakan rata-rata proses yang telah ada apabila tidak memiliki ukuran nominal.

Sower, *et al.* (1994) menggunakan peta kontrol  $\delta$  dalam menganalisis operasi pemotongan logam menggunakan gergaji. Berbagai produk yang dibuat dalam proses yang sama digambarkan dalam satu peta kontrol  $\delta$ . Perhitungan pada peta kontrol  $\delta$  dilakukan dengan cara yang sama seperti pada peta kontrol  $\bar{x}$  yang normal, tetapi rata-rata atau  $\delta$ -statistic dihitung dari rata-rata selisih antara hasil pengukuran dengan nilai nominalnya seperti pada Rumus 2.1. *Grand average* ditempatkan sebagai garis tengah (CL) pada peta kontrol  $\delta$  seperti pada Rumus 2.2. Contoh peta kontrol  $\delta$  dapat dilihat pada Gambar 2.4.

$$\bar{x} = \delta \text{ statistic} = \frac{(x_1 - NOM) + \dots + (x_n - NOM)}{n} \quad (2.1)$$

$$UCL = \text{grand average } \delta \text{ statistic} + A_2 \bar{R} \\ \bar{x} = CL = \text{grand average } \delta \text{ statistic} (\bar{x}) \quad (2.2) \\ LCL = \text{grand average } \delta \text{ statistic} - A_2 \bar{R}$$



Gambar 2.4 Peta kontrol  $\delta$

### Sistem Manufaktur Berbasis Pesanan

Sistem manufaktur berbasis pesanan merupakan sistem produksi yang tidak mempertahankan persediaan produk akhir, tetapi hanya menghasilkan barang setelah perusahaan mendapatkan pesanan. Pada sistem ini produksi harus dapat merespon permintaan konsumen dengan cepat, produk mempunyai tingkat penyesuaian yang tinggi dan waktu hidup produk yang pendek karena perubahan kebutuhan konsumen atau produk yang mudah rusak (Askin dan Goldberg, 2002).

Kebutuhan konsumen yang senantiasa berubah dapat mengakibatkan perubahan pada proses produksi. Tingkat perubahan yang tinggi pada proses produksi menyebabkan banyaknya rata-rata setiap jenis produk yang diamati akan menjadi pendek. Ketika proses produksi berjalan sangat pendek, akan sangat sulit untuk memantau rata-rata proses melalui peta kontrol  $\bar{x}$  yang tradisional. Peta kontrol yang baru akan dibuat ketika terjadi perubahan produk pada proses produksi, sedangkan peta kontrol yang lama belum cukup untuk mendeteksi kecenderungan proses. Peta kontrol SPC yang tradisional tidak efektif digunakan pada produk yang mudah berubah (Sower *et al.*, 1994).

Sistem manufaktur berbasis pesanan seperti di atas memiliki ciri seperti *short production runs*. Hal ini dapat terlihat dari jenis dan jumlah produk yang sering berubah yang disebabkan oleh perubahan kebutuhan konsumen. Dengan demikian pengendalian kualitas pada sistem manufaktur berbasis pesanan dapat menggunakan peta kontrol yang digunakan pada *short production runs*.

### III. PENGUMPULAN DATA DAN KERANGKA PENYELESAIAN

#### Pengambilan Sampel

Metoda pengendalian kualitas menggunakan pengambilan sampel dapat pula dilakukan pada karakteristik sistem *short production runs*. Metoda tersebut dilakukan dengan cara menggunakan peta kontrol yaitu menggunakan secara langsung konsep standar metoda SPC. Hal yang membedakan adalah data observasi yang digunakan bukan ukuran benda produksi yang sesungguhnya tetapi deviasi dari ukuran nominal atau ukuran target (Rumus 2.1). Sistem

manufaktur berbasis pesanan dapat pula menggunakan pendekatan yang dilakukan oleh *short production runs* yaitu hasil pengukuran tidak langsung digunakan pada peta kontrol tetapi menggunakan deviasi dari nominal.

Rumusan yang lebih sederhana dalam pembuatan peta kontrol DNOM dengan cara menggunakan Tabel  $A_2$ ,  $D_3$  dan  $D_4$  seperti pada Rumus 3.1 sampai dengan 3.6.

1. Peta kontrol rata-rata  $\bar{x}$  :
 
$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (3.1)$$

$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (3.2)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (3.3)$$
2. Peta kontrol jangkauan  $R$  :
 
$$UCL = D_4 \bar{R} \quad (3.4)$$

$$CL = \bar{R} \quad (3.5)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \quad (3.6)$$

Kedua peta kontrol  $\bar{x}$  dan  $R$  masing-masing terdiri dari tiga garis yaitu *Upper Control Limit (UCL)*, rata-rata atau *Central Limit (CL)* dan *Lower Control Limit (LCL)*.

Ukuran sampel dalam *sub group* berkisar antara 3, 4 atau 5 komponen produk yang diukur menggunakan alat ukur yang terkalibrasi. Hasil perhitungan sampel tersebut berguna untuk membantu menaksir parameter  $\mu$  dan  $\sigma$  dalam populasi ukuran komponen produk.

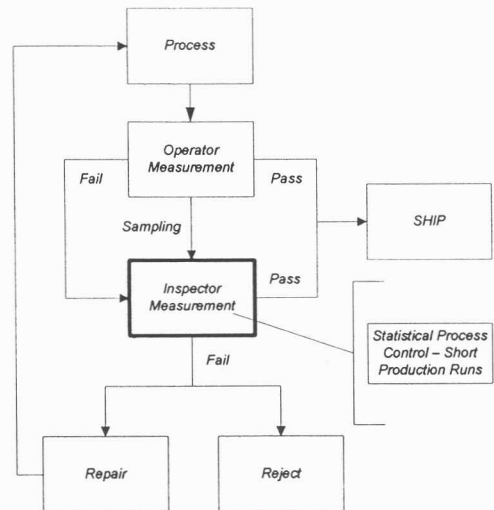
#### Sistem Inspeksi Usulkan

Sistem inspeksi yang diusulkan berupa protokol inspeksi komponen produk oleh inspektor dengan cara mengukur ulang komponen produk yang gagal menurut operator dan mengukur ulang komponen produk secara *sampling* yang bertujuan untuk menganalisis proses seperti terlihat pada Gambar 3.1.

Pada sistem inspeksi yang diusulkan tersebut operator mesin mengukur komponen produk yang telah selesai diproses dan memberikan keputusan apakah komponen produk yang dibuat sukses (*pass*) atau gagal (*fail*). Apabila komponen produk sukses maka siap dikirimkan ke konsumen, sedangkan apabila gagal maka segera dikirimkan ke inspektor. Inspektor mengukur ulang komponen produk yang gagal dan memberikan keputusan akhir apakah komponen produk tersebut sukses atau gagal. Apabila sukses maka komponen produk dikirimkan ke konsumen, sedangkan apabila gagal maka komponen produk tersebut ditolak atau diperbaiki terlebih dahulu untuk siap dikirimkan ke konsumen.

Pengukuran komponen produk dilakukan pula secara *sampling* dan berkala oleh seorang inspektor untuk keperluan pemantauan proses yang sedang berjalan. Sampel yang diambil untuk pengukuran

berjumlah 3, 4, atau 5 komponen produk sebagaimana metoda SPC yang umum digunakan.



Gambar 3.1 Sistem inspeksi usulan

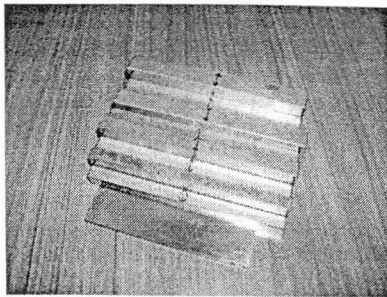
#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

##### Pengujian

Sistem inspeksi pada sistem manufaktur berbasis pesanan yang diusulkan diterapkan pada salah satu stasiun kerja (*work station*), yaitu proses manufaktur pada mesin gerinda permukaan (*surface grinding*). Proses penggerindaan permukaan merupakan proses pelepasan material sedikit demi sedikit pada permukaan logam datar menggunakan batu gerinda yang berputar. Permukaan logam yang telah digerinda biasanya memiliki permukaan yang halus dan ukuran yang seragam.

Benda produksi yang digunakan sebagai sampel pengujian adalah balok sejajar (*parallel pad*). Pemesinannya dimulai dengan proses gergaji, proses milling, kemudian dilanjutkan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) untuk pengerasan material, dan proses terakhir berupa proses penggerindaan. Penggerindaan balok sejajar menghasilkan permukaan yang halus, kesejajaran yang baik dan ukuran yang teliti. Kesejajaran dan ketelitian balok sejajar biasanya dimanfaatkan untuk penyangga benda produksi pada proses di suatu mesin.

Bervariasinya benda produksi yang dibuat menyebabkan kebutuhan balok sejajar dalam berbagai ukuran. Terdapat dua set balok sejajar yang diproses di mesin gerinda yaitu panjang 100 mm dan panjang 125 mm. Dalam satu set terdapat berbagai macam ukuran dan tiap ukuran berjumlah dua buah. Sejumlah balok sejajar yang terdiri dari berbagai ukuran dengan toleransi  $\pm 0,02$  mm dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Balok sejajar dengan ukuran yang beragam

Pengukuran benda produksi berupa balok sejajar yang sedang dikerjakan pada mesin gerinda permukaan dilakukan oleh operator dengan menggunakan alat ukur mikrometer. Biasanya operator mengukur balok sejajar ketika pada saat sedang proses dan pada saat selesai proses. Pengukuran pada saat sedang proses dilakukan dengan cara menghentikan mesin terlebih dahulu yang bertujuan untuk mengetahui sisa ukuran dari ukuran target yang akan dicapai, sedangkan pengukuran setelah selesai proses dilakukan oleh operator untuk memastikan ukuran balok sejajar telah memenuhi spesifikasi.

Balok sejajar yang telah selesai diproses kemudian diukur ulang secara sampling dan berkala oleh inspektor yang bertujuan untuk pengendalian proses. Untuk tujuan pengendalian proses dilakukan dengan menggunakan peta kontrol  $\bar{x}$  dan R.

#### Analisa

Data hasil pengukuran paralel pad kemudian diolah menggunakan Rumus 2.1 dalam satuan mikrometer. Hasilnya dikumpulkan dalam Tabel 4.1 yang kemudian diolah untuk menghasilkan nilai  $\bar{x}$  dan  $\bar{R}$ . Nilai  $\bar{x}$  dan  $\bar{R}$  digunakan untuk membuat peta kontrol menggunakan Rumus 3.1 sampai dengan Rumus 3.6, dimana untuk ukuran sampel 3 buah maka nilai  $A_2=1,023$ ,  $D_3=0$  dan  $D_4=2,574$ . Data yang telah diolah kemudian dipetakan ke dalam peta kontrol  $\bar{x}$  dan  $\bar{R}$  seperti terlihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

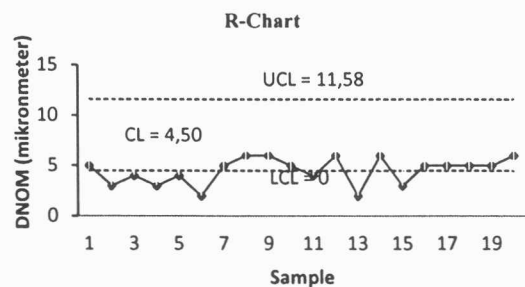
Pada Peta kontrol R (Gambar 4.2), jangkauan yang dihasilkan masih berada di bawah batas kontrol atas ( $UCL=11,58$ ) yang menunjukkan rata-rata jangkauan masih berada dalam keseragaman. Semua sampel menunjukkan kondisi variabilitas proses yang terkendali (*in control*).

Selanjutnya dibentuk Peta kontrol  $\bar{x}$  untuk menganalisis kondisi rata-rata proses. Pada peta kontrol  $\bar{x}$  (Gambar 4.3) tidak terlihat kondisi *out of control* karena semua sampel berada di dalam batas kontrol. Nilai  $CL=13,88$  menunjukkan rata-rata proses

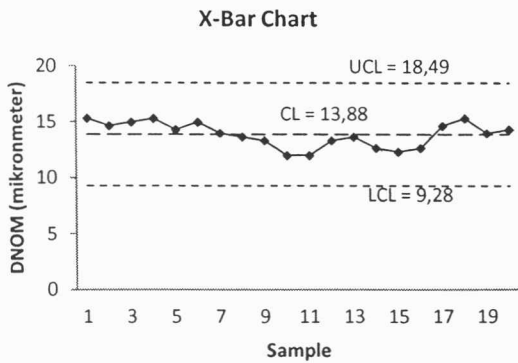
masih memenuhi spesifikasi tetapi berada di atas rata-rata nominal yang seharusnya bernilai sekitar nol karena toleransinya  $\pm 0,02$ . Hal ini menunjukkan bahwa operator mesin bekerja sangat hati-hati dengan cara hanya menghasilkan ukuran paralel pad pada toleransi atas, tidak mengerjakan ke nilai target nol yang akan dicapai. Nilai  $UCL=18,49$  dan  $LCL=9,28$  menunjukkan nilai yang sangat sempit menandakan bahwa variasi dimensi yang dihasilkan sangat kecil.

Tabel 4.1 Pengolahan sampel

Sample	x1	x2	x3	$\bar{x}$	R
1	18	15	13	15.33	5.00
2	16	15	13	14.67	3.00
3	17	15	13	15.00	4.00
4	17	15	14	15.33	3.00
5	15	16	12	14.33	4.00
6	16	14	15	15.00	2.00
7	13	12	17	14.00	5.00
8	13	11	17	13.67	6.00
9	11	12	17	13.33	6.00
10	13	9	14	12.00	5.00
11	12	10	14	12.00	4.00
12	14	10	16	13.33	6.00
13	13	13	15	13.67	2.00
14	14	9	15	12.67	6.00
15	11	12	14	12.33	3.00
16	13	10	15	12.67	5.00
17	13	18	13	14.67	5.00
18	18	15	13	15.33	5.00
19	12	17	13	14.00	5.00
20	13	12	18	14.33	6.00
$\bar{x}$ :				13.88	
$\bar{R}$ :					4.50



Gambar 4.2 Peta kontrol R



Gambar 4.3 Peta kontrol  $\bar{x}$

## V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan sistem inspeksi pada SMBP dapat disimpulkan beberapa hal :

1. Sistem Inspeksi yang diusulkan dapat diterapkan pada SMBP untuk setiap proses yang sama dan benda produksi yang memiliki toleransi yang sama.
2. Benda produksi memiliki data yang seragam tetapi senantiasa berada di atas rata-rata nominal yang menandakan bahwa operator pada SMBP bekerja lebih hati-hati, yaitu cenderung hanya mencapai toleransi atas, bukan ke ukuran nominal.
3. Hasil ukur benda produksi diubah ke dalam DNOM untuk menghasilkan data yang berdistribusi normal dan dibuat ke dalam satuan mikronmeter untuk menghindari kesalahan dalam perhitungan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Askin, R. G., dan J. B. Goldberg (2002) : Design and Analysis of Lean Production Systems, John Wiley & Sons
2. Browne, R. P., R. J. Mackay, dan S. H. Steiner (2009) : Improved Measurement-System Assessment for Processes with 100% Inspection, Journal of Quality Technology, 41
3. Browne, R. P. (2010) : Assessment of a Measurement System Using Repeat Measurements of Failing Units, Quality Engineering, 22
4. Montgomery, D. C. (2009) : Introduction to Statistical Quality Control, 6, John Wiley & Sons
5. Sower, V. E., J. G. Motwani, dan M. J. Savoie (1994) :  $\delta$  Charts for Short Run Statistical Process Control, International Journal of Quality & Reliability Management, 11