

## Sebuah Skema Pengendalian Proses Tak Stabil

Aqli Mursadin<sup>1</sup>

**Abstrak** – Sebuah skema pengendalian proses tak stabil diperkenalkan melalui proses ramp, suatu jenis proses yang ketidakstabilannya diakibatkan oleh kehadiran proses secara statistik (SPC). Pada skema ini, EPC diterapkan untuk mengendalikan pengaruh drift yang deterministik, sedangkan SPC dengan peta kendali shewhart individual digunakan untuk memantau galat pengendalian sebagai efek random yang tersisa. Sebuah contoh implementasi skema ini diberikan, dan hasil-hasilnya dibandingkan terhadap hasil-hasilnya skema dengan hanya menggunakan EPC. Skema yang pertama, yaitu integrasi EPC-SPC, memberikan variasi proses yang lebih kecil dibandingkan yang kedua.

---

*Keywords* - pengendalian proses secara statistik, pengendalian proses secara teknik, peta kendali shewhart, proses ramp.

---

### PENDAHULUAN

Suatu proses dapat menjadi tidak stabil sebagai akibat dari, misalnya karena faktor-faktor lingkungan. Faktor-faktor penyebab ini tidak dapat dihilangkan, setidaknya secara ekonomis. Untuk itu, pengendalian terhadap variabel-variabel proses yang bertujuan mereduksi variasi proses (yaitu penyimpangan nilai variabel-variabel tersebut terhadap nilai sasarannya) harus dijalankan melalui kompetensi. Sejumlah skema engendalian proses secara teknik (engineering process control, EPC) yang umumnya dijalankan secara otomatis, dapat diimplementasikan pada proses tak stabil. Salah satu dari sekma-skema yang demikian adalah pengendalian proporsional-integral diskrit (Box dan luceno, 1997). Implementasi skema yang umumnya ditemukan pada sistem manufaktur ini cukup sederhana dan sangat mungkin dijalankan secara manual oleh operator.

Berbeda dari EPC yang berasal dari industri proses, pengendalian proses secara statistik (statistical process control, SPC) tidak dapat diterapkan pada proses tak stabil. Salah satu alasan untuk ini adalah bahwa SPC hanya tepat untuk pemantauan proses, menemukan sebab-sebab khusus dari penyimpangan proses, kemudian menghilangkan sebab-sebab khusus tersebut, dengan memperhatikan

implikasi ekonomisnya ( Nelson, 1999). Mencoba menghilangkan sebab-sebab tidak stabilnya suatu proses, misalnya faktor-faktor lingkungan, sama sekali tidka membawa implikasi ekonomis. Karena itu, SPC hanya sesuai dijalankan pada proses stabil, dimana penyimpangan niloai variabel-variabel proses hanya karena sebab-sebab khusus yang random. Bersesuaian dengan itu, EPC juga tidak tepat diterapkan pada proses stabil, karena aksi pengendalian yang terus-menerus pada proses stabil cenderung meningkatkan variasi proses (Montgomery dkk., 1994). Suatu studi mutakhir mengenai implementasi SPC yang dilakukan oleh Rungthusanatham dkk.(1999) belum mencatumkan implementasi pengendalian proses-proses yang tak stabil oleh operator. Dengan demikian yang dapat dijalankan oleh seorang operator (secara manual).

Tujuan dari artikel ini adalah memperkenalkan sebuah skema pengendalian proses tak stabil melalui integrasi EPC dan SPC dengan data proses diskrit. Jenis proses yang dibahas adalah proses ramp, yaitu suatu jenis proses yang menjadi tak stabil akibat kehadiran drift pada setiap periode diskrit pengamatan. Drift yang dipertimbangkan bersifat deterministik dan konstan. Model proses ramp ini dapat ditemukan, misalnya pada masalah keausan (tool wear problem) dari peralatan maupun komponen (lihat, Luceno dkk., 1976). Terlebih dahulu dibahas secara singkat tentang proses ramp pada

---

<sup>1</sup> Staf pengajar Fakultas Teknik Unlam Banjarmasin

bagian 2. Skema pengendalian yang diusulkan dikembangkan pada bagian 3. Pada bagian 4 diberikan hasil dari suatu studi simulasi yang memperlihatkan bagaimana skema ini diimplementasikan. Akhirnya, kesimpulan diberikan pada bagian 5.

**PROSES RAMP**

Sebuah proses ramp memiliki model ruang status (state space model) sebagai berikut:

$$x_t = x_{t-1} + d + \phi_t \dots\dots\dots(1)$$

dengan  $x_t$  adalah nilai variabel proses pada waktu ke-t,  $X_0$  adalah nilai sasarannya;  $d$  adalah drift deterministik, yang disini diasumsikan konstan pada setiap waktu, dan  $\phi_t$  adalah kejutan stokastik, sedemikian rupa sehingga  $\phi_t \sim N(0, \phi^2)$ . Model ini dapat diperluas untuk persoalan multivariat, misalnya seperti yang diperkenalkan oleh Sullivan dan Woodal (1996).

Jika suatu skema EPC dijalankan dengan melakukan aksi pengendalian berupa penyesuaian (adjustment) pada setiap waktu ke-t, yaitu  $w_t$ , terhadap  $x$ , maka model pada (1) dapat dinyatakan kembali sebagai

$$x_t = x_{t-1} + d + w_t + \phi_t + n_t \dots\dots\dots(2)$$

dengan  $n_t$  adalah galat penyesuaian (adjustment galat), sedemikian rupa sehingga

$$n_t \begin{cases} = 0, & \text{Jika } w_1 = 0 \\ -N(0, \sigma_{2n}), & \text{Jika } w_2 = 0 \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

Model ruang status ini juga digunakan pada (Jensen dan Vardeman, 1993).

Lebih jauh, karena  $x_t$  dan  $x_{t-1}$  memiliki nilai sasaran yang sama, yaitu  $x_0$  model (2) dapat dinyatakan dalam bentuk penyimpangan nilai-nilai tersebut terhadap  $x_0$ , yaitu

$$\Delta x_t = \Delta x_{t-1} + d + w_t + \phi_t + n_t \dots\dots\dots(4)$$

dengan  $x_t$  menyatakan penyimpangan  $x$  terhadap pada waktu ke-t.

Sekarang, suatu skema pengendalian proses ramp pada dasarnya berhubungan dengan berapa nilai penyesuaian  $w_t$  yang diambil dan kapan itu dilakukan.

**SKEMA PENGENDALIAN  
PROSES RAMP**

Misalkan,  $y$  merupakan variabel keluaran dari proses, sedemikian rupa sehingga terdapat hubungan linier bahwa setiap satuan perubahan pada  $x$  menyebabkan  $y$  berubah  $g$  satuan. Dengan mengambil  $z_t = y_t$  untuk menyatakan perubahan  $y$  yang terjadi pada waktu ke-t, maka diperoleh hubungan

$$Z_t = g \Delta x_t \dots\dots\dots(5)$$

Pada banyak persoalan praktis, pengukuran variabel keluaran, dalam hal ini  $z$ , lebih mudah dilakukan dibandingkan pengukuran  $x_t$ .

Skema pengendalian yang digunakan disini bersifat prediktif, yang berarti kompensasi terhadap  $x_t$  dilakukan sebelum kemunculannya. Ini menjawab pertanyaan tentang kapan aksi pengendalian tersebut dijalankan. Untuk itu, diperlukan predeksi dari nilai  $z_t$ . Model predeksi ini, lebih jauh, menentukan besarnya penyesuaian yang harus dibuat. Salah satu kriteria pengendalian yang dapat digunakan adalah deviasi standar dari galat pengendalian. Ini mengisyaratkan adanya aspek-aspek optimalitas yang harus dipertimbangkan untuk meminimalkan kriteria pengendalian (lihat, misalnya Jensen dan Vardeman, 1993). Tetapi, untuk memungkinkan aksi pengendalian yang sederhana yang dapat dijalankan oleh seorang operator secara manual, pendekatan heuristik cukup layak untuk digunakan. Pendekatan yang dimaksud dimulai dengan mempredeksi nilai  $z_t$  dengan

$$Z_t = z_{t-1} + dg, \dots\dots\dots(6)$$

sehingga penyesuaian untuk variabel masukan  $x$  diawal waktu ke-t menjadi

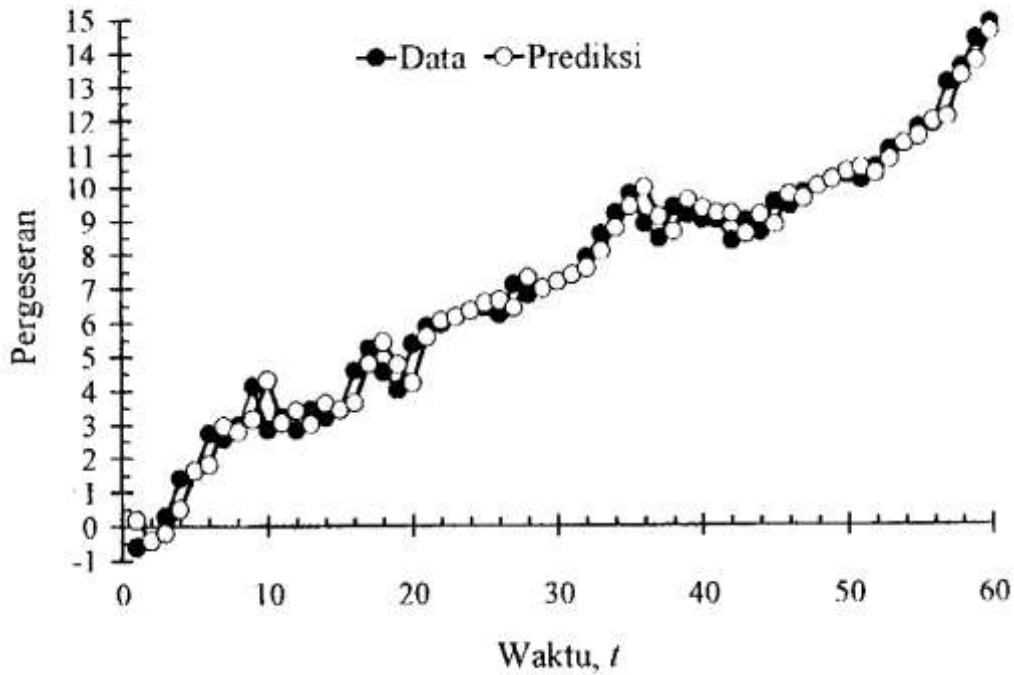
$$W_t = -d - z_{t-1} / g \dots\dots\dots(7)$$

Dengan penyesuaian ini, diakhir waktu ke-t, pergeseran  $x$  terhadap  $x_0$  yang tercatat adalah  $\phi_t + n_t$ . Disini,  $\phi_t$  dan  $n_t$  adalah normal dan independen satu sama lain, sehingga dapat dipandang sebagai 2 buah ‘proses’ yang stabil. kedua efek random ini tidak memerlukan aksi pengendalian, kecuali jika terdeteksi adanya sebab-sebab khusus yang signifikan. Ini membuka kesempatan untuk menerapkan spc pada kedua ‘proses’ ini.

**STUDI SIMULASI**

Simulasi dilakukan dengan membangkitkan 60 nilai pengukuran yang mengikuti pola proses ramp dengan  $g = 0,8$ ;  $d=0,25$ ;  $\varphi_t \sim n(0,0,25)$  dan  $n_t \sim N(0, 0,25)$ . Data dan prediksi dari pergeseran nilai variabel keluaran terhadap sasarannya diberikan pada Gambar 1. Mean squared error (MSE) dari prediksi ini adalah 0,30

Penelusuran, penemuan dan penghilangan penyebab sinyal ini merupakan mekanisme penting di dalam SPC. Jadi, walaupun penyebab drift tidak dapat dihilangkan dan hanya dapat dikompensasi menggunakan EPC, SPC dapat digunakan untuk memantau efek random pada proses ramp, mendeteksi status di luar kendali, kemudian, menelusuri dan menghilangkan penyebabnya. Implementasi ini khususnya dimungkinkan oleh model ruang



**Gambar 1.** Data dan prediksi dari pergeseran untuk suatu proses ramp. Proses berlangsung dengan  $g = 0,8$  dan  $d = 0,25$ , serta  $\varphi_t \sim N(0,0,25)$  dan  $n_t \sim N(0, 0,25)$ .

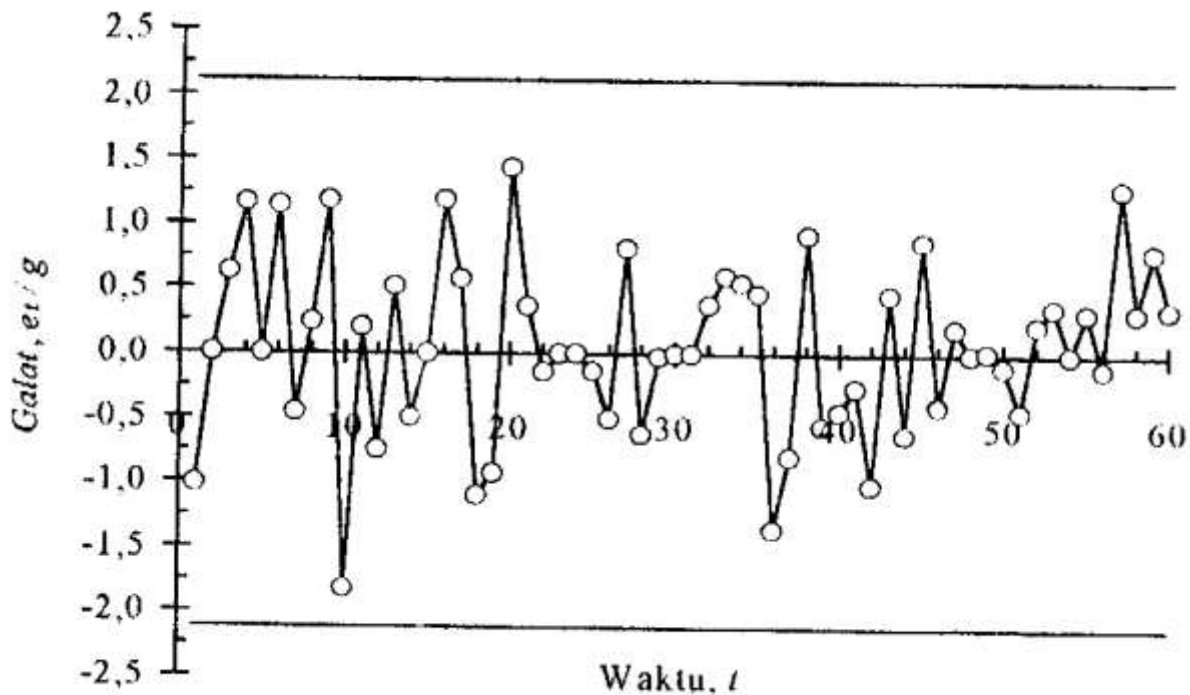
Pengendalian yang dilakukan pada proses tersebut dipandang sebagai sebuah proses stabil, sehingga pemantauan terhadapnya dapat membantu menemukan sebab-sebab khusus yang membuat proses tak terkendali. Untuk itu, dibangun peta kendali shewhart dengan batas-batas kendali  $\pm 3\sqrt{\sigma_\sigma + \sigma_n} = 2,12$ ; seperti diperlihatkan pada gambar 2. Deviasi standar dari galat ini 0,69.

Dari gambar 2 terlihat bahwa tidak ada galat yang menghasilkan sinyal pada peta kendali tersebut. Ini menunjukkan bahwa galat tersebut, yaitu jumlah dari kejutan stokastik dan galat penyesuaian, selain stabil, juga sepenuhnya terkendali secara statistik.

status yang kaks dari proses ramp tersebut. Sebagai pembansing, ditinjau suatu skema pengendalian yang menerapkan penyesuaian

$$W_t = -(d + x_{t-1} + \varphi_t + n_t), \dots\dots\dots(9)$$

Dengan  $\varphi_t$  dan  $n_t$  masing-masing merupakan prediksi dari  $\varphi_t$  dan  $n_t$  menggunakan model exponentially weighted moving average (EWMA). Ini merupakan skema yang hanya menggunakan EPC. Selanjutnya, dengan mengambil konstanta pelicin,  $\theta = 0,6$  untuk persoalan yang baru dengan deviasi standar sebesar 0,85. Skema ini secara tidak langsung menerapkan aksi pengendalian pada galat yang sebenarnya terdiri dari 2 buah proses stabil yang saling



**Gambar 2.** Galat pengendalian suatu proses ramp yang dipantau menggunakan peta kendali shewhart.

independen. Tidak mengherankan jika kemudian terjadi peningkatan variasi proses.

### KESIMPULAN

Proses tak stabil memerlukan pengendalian berupa penyesuaian dari waktu ke waktu. Untuk proses diskrit, seorang operator dapat menjalankan aksi pengendalian manual terhadap proses. Tetapi pada situasi di mana diperlukan pengetahuan tentang status proses dari waktu ke waktu, misalnya, status akibat kemunculan drift atau pergeseran kecil, maupun akibat sebab-sebab khusus; pemantauan secara statistik dapat diterapkan. Jadi, implementasi bersama dari pengendalian proses secara teknik dan pengendalian proses secara statistik untuk proses tak stabil diperlukan dalam bentuk sebuah skema pengendalian. Pada artikel ini diperlihatkan bahwa skema yang demikian efektif untuk proses ramp.

Lebih jauh, skema pengendalian proses tak stabil dengan integrasi EPC-SPC menghasilkan variasi proses yang lebih kecil

dibandingkan skema pengendalian yang hanya menggunakan EPC.

### Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada HEDS' SDPF Program FY 1999/2000, atas dukungan dana bagi terlaksanannya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Box, GEP And Luceno, A (1997) Discrete Proportional-Integral Adjustment And Statistical Process Control", *Journal Of Quality Technology*, Vol.29 No. 3, Pp.248-260
- Jensen, KL. And Vardeman, SB(1993). "Optimal Adjustment In The Presence Of Deterministic Process Drift And Random Adjustment Error", *Technometrics*, Vol.35 No.3, Pp. 376-389

Luceno A.Gonzalez, Fj And Puigpey, J(1996).”Computing Optimal Adjustment Schemes For The General Tool – Wear Problem”, Journal Of Statical Computation And Simulation, 54 Pp.87-1132

Montgomery, DC., Keats, WS (1994)”Integrating Statical Process Control And Engineering Process Control”, Journal Of Quality Technology, Vol.26 No.2, Pp.79-87.

Nelson, Ls(1999)”Notes On The Shewhart Control Chart”, Technical Aids, Journal Of Quality Technology, Vol.31 No.1, Pp.124-126.

Rungthusanatham, M., Anderson, J.C. And Dooley, KJ(1999)”Towards Measuring The ‘SPC Implementation/Practice’ Construct. Some Evidence Of Measurement Quality”, Int. J.Of Quality And Reliability Management, Vol.16 No.4, Pp.301-320.

Sullivan, JH. And Woodall, WH(1996)”A Comparison Of Multivariate Charts For Individual Observation”, Journal Of Quality Technologi, Vol.28 No.4, Pp 398-408