

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**JURUSAN STATISTIKA**

Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111  
Telp. : 031-594 3352, 031-599 4251-55 Fax. : 031-592 2940 PABX: 1213, 1214  
<http://www.statistics.its.ac.id>

Nomor : 0293/IT2.1.I.3/PP.05.02/2016  
Lampiran : 1 set  
Perihal : Permohonan Untuk Menjadi Tim Penyanggah  
Dalam Sidang Terbuka Promosi Doktor  
an. Sdr. : Jonathan K. Wororomi/NRP. 1309 301 005

15 Februari 2016

Kepada Yth. Dr. Muhammad Mashuri, MT.  
Dr. Irhamah, M.Si.  
Dr. Agus Z. Arifin, M.Ikom.  
Dr. Purhadi, M.Sc.  
Prof. Nur Iriawan, M.Ikom., Ph.D.  
Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si.  
Dr. Ismaini Zain, M.Si.  
Prof. Dr. Rr. Dyah Erni Herwindiati, M.Si. (Jurusan Teknik Informatika -  
Fakultas Teknologi Informasi - Universitas Tarumanegara, Jakarta).

di  
Tempat.

Sehubungan dengan pelaksanaan Sidang Terbuka Promosi Doktor untuk  
Kandidat Doktor Program Studi Statistika an. Sdr. : Jonathan K. Wororomi /  
NRP.1309 301 005, yang akan dilaksanakan pada :

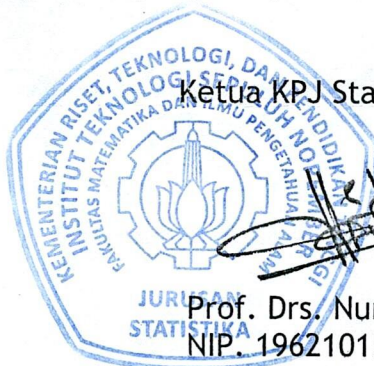
Hari : Kamis, 10 Maret 2016  
Pukul : 08.00 - 11.30 WIB.  
Tempat : Ruang Sidang Jurusan Statistika Gedung U. Lt. 4.  
Kampus ITS. Sukolilo Surabaya

bersama ini kami mohon dengan hormat kesediaan Bapak untuk menjadi  
Tim Penyanggah dalam kegiatan tersebut.

Selanjutnya, sebagai acuan kami sampaikan Pedoman Penyelenggaraan dan  
Petunjuk Pelaksanaan Sidang Terbuka Promosi Doktor seperti terlampir.

Demikian, atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami sampaikan terima kasih.

Ketua KPJ Statistika,



Prof. Drs. Nur Iriawan, M.Ikom., Ph.D.  
NIP. 19621015 198803 1 001

Tembusan Yth.:

1. Direktur PPs ITS
2. Ketua Jurusan Statistika ITS

## SURAT TUGAS

Nomor : 26 -DK/FTI-Untar/III/2016

### PERJALANAN DINAS

1	Pejabat yang berwenang memberi perintah	Dekan Fakultas Teknologi Informasi
2	Nama yang diperintahkan	Prof. Dr. Dyah Erny Herwindiati, M.Si
3	Pangkat dan Golongan	Guru Besar
4	Jabatan	Dekan
5	Maksud dan Tujuan	Sebagai Penguji Eksternal Terbuka Mahasiswa Program Doktor (S3) di ITS
6	Alat angkutan yang digunakan	Pesawat Udara
7	a. Tempat berangkat b. Tempat tujuan	Fakultas Teknologi Informasi Ruang Sidang Jurusan Statistika FMIPA ITS, Gedung U, Lt. 4 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
8	c. Tanggal berangkat d. Tanggal kembali	10 Maret 2016 10 Maret 2016
9	Pembebanan anggaran	-
10	Keterangan lain-lain	- Selesai melaksanakan tugas harap <ul style="list-style-type: none"> <li>• Buat Laporan tertulis (paling lama satu minggu setelah pelaksanaan)</li> <li>• Melakukan Presentasi (bila diperlukan)</li> </ul>

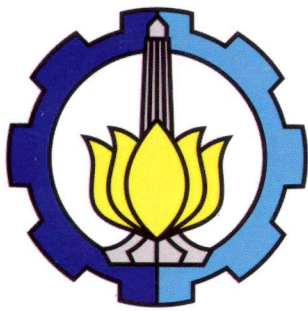
Jakarta, 3 Maret 2016  
Pudek I

  
Ir. Jeanny Pragantha, M.Eng

Tembusan :

1. Pudek II
2. Ketua Program Studi TI
3. Kabag. Tata Usaha
4. Subag. Personalia





DISERTASI - SS143506

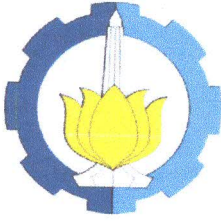
# **PENGEMBANGAN DIAGRAM KONTROL MEWMA BERBASIS MODEL UNTUK PENGAMATAN TAK RANDOM**

JONATHAN K. WOROROMI  
NRP. 1309 301 005

PROMOTOR/CO-PROMOTOR  
Dr. Muhammad Mashuri, M.T  
Dr. Irhamah, M.Si  
Dr. Agus Z. Arifin, M.Kom

PROGRAM DOKTOR  
JURUSAN STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016





**DISERTASI – SS143506**

**PENGEMBANGAN DIAGRAM KONTROL MEWMA BERBASIS MODEL  
UNTUK PENGAMATAN TAK RANDOM**

**Jonathan K. Wororomi**  
**NRP. 1309 301 005**

**PROMOTOR/CO-PROMOTOR**  
**Dr. Muhammad Mashuri, M.T**  
**Dr. Irhamah, M.Si**  
**Dr. Agus Z. Arifin, M.Kom**

**PROGRAM DOKTOR**  
**JURUSAN STATISTIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2016**



## Lembar Pengesahan Disertasi

Disertasi disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Doktor

di

Program Doktor Jurusan Statistika  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun Oleh:

Jonathan Kiwasi Wororomi  
NRP. 130930 1005

Tanggal Ujian : 11 Februari 2016

Periode Wisuda : Maret 2016

Disetujui Oleh:

Prof. Dr. Ir. Dyah Erny Herwindiati, M.Si.  
NIDN. 0306046301

.....  
Penguji (Eksternal)

Dr. Muhammad Mashuri, M.T  
NIP.19620408 198701 1 001

.....  
Promotor

Dr. Irhamah, S.Si., M.Si.  
NIP.19780406 200112 2 002

.....  
Co-Promotor

Dr. Agus Zainal Arifin, M.Kom  
NIP. 19720809 199512 1 001

.....  
Co-Promotor

Dr. Purhadi, M.Sc.  
NIP. 19620204 198701 1 001

.....  
Penguji

Prof. Drs. Nur Iriawan, M.IKomp., Ph.D  
NIP.19621015 198803 1 002

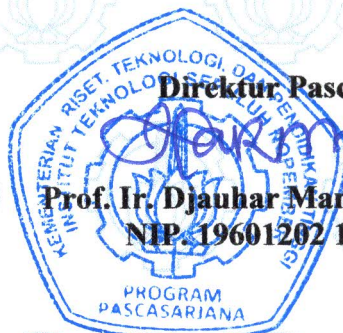
.....  
Penguji

Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si.  
NIP. 19631223 198803 2 001

.....  
Penguji

Direktur Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19601202 198701 1 001





## ABSTRAK

Proses produksi pada umumnya melibatkan lebih dari satu karakteristik kualitas (yang saling berkorelasi atau berautokorelasi). Karakteristik ini dikenali sebagai pola sistematis atau pola data tak random. Pola data tak random dalam proses multivariat tidak hanya berpengaruh pada penentuan sensitivitas batas kontrol yang bersesuaian dengan jenis diagram kontrol multivariat, tetapi juga pada kesalahan pendeteksian *outlier* atau *assignable cause* lainnya dalam proses multivariat. Diagram kontrol *Multivariate Exponential Weighted Moving Average* (MEWMA) konvensional pada umumnya mampu bekerja pada *shift-shift* kecil sampai moderat, dan tidak optimal bila bekerja pada suatu data yang bersifat tak random dengan pola sistematis. Sehingga diperlukan pengembangan suatu diagram kontrol MEWMA yang juga mampu bekerja optimal pada pola data tak random. Penelitian dalam disertasi ini bertujuan untuk mengembangkan suatu diagram kontrol MEWMA baru mampu meningkatkan sensitivitas diagram kontrol MEWMA konvensional terhadap efek pola data tak random.

Diagram kontrol MEWMA yang dikembangkan ini merupakan diagram kontrol MEWMA baru berbasis residual dari model Vektor Auto-Regresif (VAR) yang mengadopsi *Genetic Algorithm* (GA). GA tidak hanya memperbaiki kinerja diagram kontrol MEWMA dalam mendeteksi *outlier* pada kenaikan-kenaikan *shift* kecil dan moderat, tetapi juga bermanfaat dalam mendeteksi *outlier* pada kenaikan-kenaikan *shift* besar dalam proses vektor mean.

Hasil evaluasi terhadap kinerja diagram kontrol MEWMA berbasis model melalui GA dan penaksir *Least Squared* (LS) menunjukkan perbaikan kinerja diagram kontrol dalam penanganan efek non normalitas yang berasal dari observasi tak random. Secara analitik, ditunjukkan bahwa efek *shift* dalam vektor mean dan variabilitas yang terjadi dalam suatu proses dapat dikontrol dan dievaluasi melalui matriks koefisien. Secara numerik, matriks koefisien  $\hat{\mathbf{B}}_{GA}$  sebagai parameter utama model VAR( $p$ ) merepresentasikan kromosom terbaik dalam proses reproduksi melalui GA. Hasil taksiran kedua metode ini tidak hanya dapat dibandingkan dalam evaluasi diagram kontrol, tetapi juga dapat diaplikasikan dalam perbaikan kinerja pengendalian kualitas pada kasus multivariat.

Kata kunci: Diagram kontrol MEWMA; Vektor Auto-Regresif (VAR); Pola data tak random dan *Genetic Algorithm* (GA)



## ABSTRACT

Generally, a process of production involves more than one quality of characteristics (correlated or autocorrelated). These qualities of characteristics are known as systematic patterns or non random data patterns. Impact of a non random data patterns in the multivariable process is not affected by sensitivity of an associate control limits determination only, but also by fault detection of outlier or from other assignable causes in multivariate process. A conventional multivariate exponential weighed moving average (MEWMA) works on small shifts to moderate shifts level, but it does not optimally work on a non randomized data patterns with a systematic patterns. Therefore, it has been required to develop a new MEWMA control charts that can work optimally on non random data. The aim of the research in this dissertation is to develop a new MEWMA control charts in order to modify the conventional MEWMA due to its sensitivities to effect of the non random data patterns.

This new developed MEWMA control chart is MEWMA that based on residuals from a Vector Auto-Regressive (VAR) model with Genetic Algorithm (GA) as an unbiased estimator. The GA estimator was used to improve not only the MEWMA control charts for outliers detection on small to moderate shift increaments, but also large shift increaments in mean vector processes.

Due to the result of MEWMA control charts based model evaluations by using of GA and Least Squared (LS) estimator, the performances of the control charts were improved according to non-normality effects from non random observation. Analytically, the occurrence of the shift effects on mean vector and variability in a process were controllable and could be evaluated by a coefficient matrices. As the main parameter of VAR( $p$ ) models,  $\hat{\mathbf{B}}_{GA}$  represented the best chromosome on reproduction process according to GA so that could be compared to the result of LS estimator numerically. Moreover, both of these estimators are, not only comparable to the control charts evaluation but also can be applied in the development of monitoring schemes to improve a production quality control on multivariate cases.

Key words: MEWMA control charts; Vector Auto-Regressive (VAR); non randomized data patterns; and Genetic Algorithm (GA)



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan anugrahNya yang melimpah, hingga terselesaikan penyusunan disertasi dengan judul **Pengembangan Diagram Kontrol MEWMA untuk Pengamatan Tak Random**. Diharapkan tulisan ini bisa menjadi salah satu acuan atau referensi bagi peneliti berikutnya maupun para praktisi yang tertarik pada kajian pengontrolan kualitas statistika, khususnya dalam penanganan data berpola menggunakan penaksir kuadrat terkecil dan penaksir *genetic algorithm* melalui pendekatan model *vector auto-regressive*. Penyelesaian tulisan ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya dengan penghargaan yang sertiinggi-tingginya kepada :

1. Rektor Universitas Cenderawasih periode sebelumnya Prof. Dr. Beltazar Kambuaya, MBA, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melanjutkan studi ke jenjang pendidikan Program Doktor Statistika di ITS Surabaya, dan Rektor Universitas Cenderawasih periode ini Prof. Dr. Ones Sahuleka, M.Si;
2. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, M.T sebagai promotor, Bapak Dr. Agus Zainal Arifin, M.Kom, dan Ibu Dr. Irhamah, M.Si sebagai *co-promotor* yang dengan sabar dan tulus telah membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan dan penyelesaian disertasi ini;
3. Bapak Dr.Sony Sunaryo, M.Si dan Dr. Purhadi, M.Sc selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa memberi perhatian dalam proses belajar;
4. Ibu Prof. Dr. Dyah Erny Herwindiati, M.Si sebagai penguji eksternal dari Fakultas Teknik Informatika-Universitas Tarumanegara, yang telah memberikan saran dan masukan guna penyempurnaan disertasi ini;
5. Bapak Dr. Suhartono, M.Sc dan Dr.rer.pol. Dedy, D. Prastyo, M.Si sebagai tim validasi yang telah memberikan masukan serta perbaikan guna penyempurnaan disertasi ini;
6. Bapak Dr. Purhadi, M.Sc, Prof. Drs. H. Nur Iriawan, M.Ikom., Ph.D, dan Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si, sebagai tim penilai yang telah banyak memberikan saran dan masukan dalam perbaikan disertasi ini;
7. Bapak Dr. Suhartono, M.Sc, sebagai Ketua Jurusan Statistika, staf pengajar, staf tata usaha, dan karyawan di jurusan Statistika FMIPA ITS Surabaya, yang telah



memberikan kemudahan serta fasilitas kepada penulis selama menyelesaikan pendidikan Doktor;

8. Bapak Dr. Suhartono, M.Sc dan Bapak Dr. Purhadi, M.Sc selaku Kepala Program Studi dan Sekretaris Program Studi Pascasarjana, jurusan Statistika, FMIPA-ITS, yang telah berupaya mengevaluasi kemajuan belajar secara periodik;
9. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DIKTI) Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan beasiswa BPPS, dan Universitas Cenderawasih yang telah memberikan kesempatan belajar dan bantuan dana penelitian;
10. Ketua Jurusan Matematika FMIPA Uncen, bapak Alvian M. Sroyer, M.Si dan tenaga pengajar di jurusan Matematika Universitas Cenderawasih untuk semua *support* yang telah diberikan dengan sukacita;
11. Bapak dan mama terkasih, Jeheskiel Wororomi dan Dominggas Suweni, keluarga besar Wororomi-Waramori-Suweni-Wakdomi, keluarga besar ibu Marto Suwito, keluarga besar bapak A. Wayangkau/Borai, kakak A.Y. Imbenai/Korwa, dan kerukunan keluarga besar Mambui-Paradoi di Manokwari, yang dengan setia memberikan dukungan doa demi terselesaikannya disertasi ini;
12. Istri dan anak-anak terkasih, Debora Sugiani dan Diva-Omi-Eki-Meki, yang selalu mendoakan, memberikan semangat dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan disertasi ini;
13. Segenap rekan mahasiswa Program Doktor Statistika ITS angkatan 2006-2014 yang telah memberikan dukungan semangat pada penulis. Khususnya rekan seangkatan 2009 yang selalu saling menyemangati hingga akhirnya tulisan ini terselesaikan.

Akhirnya penulis berharap semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat dan sumbangan keilmuan bagi para pembaca. Meskipun demikian, penulis juga menyadari bahwa tulisan ini tentu masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis terbuka menerima kritik dan saran konstruktif.

Surabaya, 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi

### BAB I. PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	9
1.3	Tujuan Penelitian	9
1.4	Manfaat Penelitian	9
1.5	Kontribusi Penelitian	10
1.6	Batasan Masalah	10
1.7	Orisinilitas Penelitian	10

### BAB II. LANDASAN TEORI

2.1	Diagram Kontrol MEWMA	13
2.2	Konsep Analisis Multivariat untuk Pengembangan Diagram Kontrol MEWMA	19
2.2.1	Kriteria Kecukupan Suatu Estimator	20
2.2.2	Analisis Matriks <i>Generalized A</i>	22



2.3	Model Deret Waktu Multivariat	27
2.3.1	Konsep Dasar Deret Waktu Multivariat	28
2.3.2	Model Vektor <i>Auto-Regresive Moving Average</i> (VARMA)	30
2.3.3	Model Vektor <i>Auto-Regressive</i> (VAR)	31
2.4	Algoritma Genetika	35
2.4.1	Pindah Silang dan Aplikasinya dalam Prosedur VARGA	37
2.4.2	Optimasi Parameter MEWMA berbasis Model Melalui Pendekatan GA	40
2.4.3	Penentuan Parameter Optimum VAR Melalui Pendekatan GA	42

### BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Pengembangan Diagram Kontrol MEWMA Berbasis Model	43
3.2	Efek Parameter Pembobot R terhadap Distribusi MEWMA	45

### BAB IV. DIAGRAM KONTROL MEWMA BERBASIS MODEL

4.1	Asumsi Awal dalam Pengujian Hipotesis	48
4.2	Pengembangan MEWMA Berbasis Model dengan Penaksir LS	49
4.3	Pengembangan MEWMA Berbasis Model melalui GA	52
4.4	Prosedur Penentuan Efek Non-Normalitas pada Distribusi MEWMA	57
4.5	Evaluasi Kinerja Diagram Kontrol MEWMA Berbasis Model	58
4.6	Implementasi GA: Kompleksitas dan Skalabilitas Implementasi	60

### BAB V. EVALUASI KINERJA DIAGRAM KONTROL MEWMA BERBASIS RESIDUAL DAN APLIKASINYA

5.1	Identifikasi dan Estimasi Parameter Model Vektor Auto-Regresif order $p$	64
5.1.1	Model VAR(1) dengan <i>Additive Outlier</i>	65
5.1.2	Prosedur Simulasi	67

5.1.3	Hasil Simulasi	69
5.1.4	Interpretasi Hasil Identifikasi Model VAR(1) Berdasarkan Jenis AO	72
5.1.5	Hasil Evaluasi Model VAR(1) Berbasis Simulasi Melalui GA	73
5.2	Penentuan Batas Atas Kontrol dan Evaluasi Kinerja Diagram Kontrol	78
5.2.1	Evaluasi Kinerja Diagram Kontrol $T^2$ Hotelling Berbasis Residual	78
5.2.2	Evaluasi Kinerja Diagram Kontrol MEWMA Berbasis Residual	81
5.3	Aplikasi pada Data Riil	83
5.3.1	Kasus 1. Aplikasi pada Produksi Pakaian (Data Holmes dan Mergen, 1993)	83
5.3.2	Kasus 2. Aplikasi pada Data Produksi Kayu (Data Woodmod, 2009)	99
5.3.3	Interpretasi Hasil Evaluasi Pengontrolan	110

## BAB VI. SIMPULAN DAN SARAN

6.1	Simpulan	111
6.1.1	Pengembangan Diagram Kontrol MEWMA Berbasis Model	111
6.1.2	Hasil Studi Evaluasi Diagram Kontrol MEWMA Berbasis Model dan Aplikasinya	112
6.2	Saran	112

DAFTAR PUSTAKA	113
----------------	-----

BIODATA PENULIS	117
-----------------	-----



## DAFTAR LAMPIRAN

A.1	Penelusuran Pustaka	Lampiran A 1
A.2	Landasan Teori dalam Pengembangan Diagram Kontrol MEWMA	Lampiran A 9
B.1	Data dan Tabulasi Numerik pada Aplikasi	Lampiran B 27
B.2	Hasil Simulasi pada Contoh 2 (lanjutan) dan Contoh 3	Lampiran B 51
B.3	Hasil Identifikasi dan Estimasi Parameter Model pada Aplikasi	Lampiran B 57

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

NOTASI

AO	: Additive Outlier
ARL	: Average Run Length
ARL <sub>0</sub>	: in control Average Run Length
ARL <sub>1</sub>	: out of control Average Run Length
GA	: Genetic Algorithm
LS	: Least Squared
MEWMA	: Multivariate Exponentially Weight Moving Average
MSE	: Mean Square Error
MSE <sub>B*</sub>	: Mean Square Error Model VAR(1) Melalui GA
SSE	: Sum Square Error
UCL <sub>B</sub>	: Upper Limit Control of Beta distribution
UCL <sub>F</sub>	: Upper Limit Control of F distribution
UCL <sub>χ<sup>2</sup></sub>	: Upper Limit Control of Chi-Square distribution
VAR	: Vector Auto-Regressive
VAR(p)	: Vector Auto-Regressive orde-p
VAR-GA	: Vector Auto-Regressive Genetic Algorithm
VARMA	: Vector Auto-Regressive Moving Average



## SIMBOL

$\alpha$	: Nilai peluang <i>false alarm</i>
$\widehat{\beta}$	: Taksiran koefisien model
$\mathbf{A}$	: Matriks <i>generalized</i>
$\widehat{\mathbf{B}}_{GA}$	: Matriks koefisien yang ditaksir melalui GA
$\widehat{\mathbf{B}}_{LS}$	: Matriks koefisien yang ditaksir melalui LS
$\mathbf{B}_{LS}^{(1)}$	: Matriks koefisien yang diberikan melalui LS
$\widehat{\beta}$	: Kromosom dari penaksir LS
$\widehat{\beta}^*$	: Kromosom dari penaksir GA
$\Delta \widehat{\beta}_i^*$	: Selisih vektor-vektor taksiran yang bebas linier melalui GA
$\gamma$	: Elemen dari matriks varians-kovarians
$\Gamma$	: Matriks varians-kovarians
$\rho$	: Elemen dari matriks korelasi
$\mu$	: Vektor mean
$\Sigma$	: Matriks kovarians
$\phi$	: Koefisien auto-regresif
$\Phi$	: Matriks koefisien auto-regresif
$\mathbf{D}_i$	: Matriks barisan dari model VARMA
$h$	: Batas atas kontrol dari statistik MEWMA (skalar positif)
$\mathbf{I}_m$	: Matriks identitas berukuran $m \times m$
$\mathbf{M}_n(\mathcal{R})$	: Matriks normal bernilai riil dengan ukuran $n$
$\mathbf{M}_{n,2}(\mathcal{R})$	: Matriks normal bernilai riil dengan ukuran $2 \times n$
$\delta$	: Parameter non-sentralitas
$\delta_1$	: <i>Shift</i> mean jenis-1 (delta-1)
$\delta_2$	: <i>Shift</i> mean jenis-2 (delta-2)

$\lambda$	: Parameter pemulus/eksponen (skalar)
$P_m$	: Nilai peluang permutasi
$P_c$	: Nilai peluang kawin silang
$Q$	: Statistik MEWMA
$q_t$	: Statistik MEWMA pada saat $t$ (skalar)
$\mathbf{R}$	: Matriks pembobot MEWMA
$r$	: Parameter pembobot (skalar)
$\mathbf{R}_r$	: Matriks pembobot dengan besaran skalar
$\mathbf{R}_{r_p}$	: Matriks pembobot dengan barisan skalar
$\bar{S}(\hat{\beta})$	: Fungsi yang meminimumkan $\hat{\beta}$
$\bar{S}(\hat{\beta}^*)$	: Fungsi yang meminimumkan $\hat{\beta}^*$
$T^2$	: Diagram kontrol Hotelling atau Shewhart
$T_i^2$	: Diagram kontrol Hotelling dengan indeks waktu $i$
$T_{u_t}^2$	: Diagram kontrol Hotelling untuk residual pada saat $t$
$\mathbf{u}_t$	: Vektor residual
$\mathbf{U}$	: Matriks residual
$\mathbf{W}$	: Matriks diagonal yang memuat sub-matriks pembobot $\mathbf{R}$
$\mathbf{x}_t$	: Data <i>time series</i> saat $t$
$\mathbf{x}_i$	: Data <i>time series</i> dengan indeks waktu $i$
$\mathbf{x}_{t-1}$	: Data <i>time series</i> saat $t - 1$
$\mathbf{y}_t$	: Model VAR saat $t$
$\mathbf{Y}$	: Matriks dari model VAR
$\mathbf{z}_i$	: Model <i>time series</i> dengan indeks waktu $i$
$\mathbf{z}_{t-1}$	: Model <i>time series</i> saat $t - 1$
$\mathbf{z}_t$	: Model <i>time series</i> saat $t$



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Road map</i> orisinalitas penelitian	11
Gambar 2.2	Representasi kromosom pada model VARGA	42
Gambar 3.1	Prosedur penentuan distribusi MEWMA	44
Gambar 3.3	Diagram alir dalam implementasi GA	45
Gambar 5.1a	<i>Time series plot</i> untuk $n=100$ dengan 1 titik AO di $x_{25,1}$	70
Gambar 5.1b	Matriks plot untuk $n=100$ dengan 1 titik AO	71
Gambar 5.2a	<i>Time series plot</i> untuk $n=100$ data bangkitan untuk 2 titik AO	71
Gambar 5.2b	Matriks plot $(x_{t,1}, x_{t,2}, x_{t,3}, x_{t,4})$ dengan 2 titik AO untuk $n=100$	71
Gambar 5.3a	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> dari 500 generasi tanpa AO	74
Gambar 5.3b	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> dari 1000 generasi tanpa AO	75
Gambar 5.4a	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> dari 500 generasi dengan 1 titik AO	76
Gambar 5.4b	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> dari 1000 generasi dengan 1 titik AO	76
Gambar 5.5a	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> dari 500 generasi dengan 2 titik AO	79
Gambar 5.5b	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> dari 1000 generasi dengan 2 titik AO	80
Gambar 5.6a	Profil ARL dari diagram kontrol $T_u^2$ pada $\delta_1$	79
Gambar 5.6b	Profil ARL dari diagram kontrol $T_u^2$ pada $\delta_2$	81
Gambar 5.7a	Profil ARL dari diagram kontrol MEWMA melalui penaksir LS	82
Gambar 5.7b	Profil ARL dari diagram kontrol MEWMA melalui penaksir GA	82
Gambar 5.8	<i>Time series</i> plot dari data HM ( <i>raw data</i> )	83
Gambar 5.9a	<i>Matrix plot</i> dari data HM ( <i>raw data</i> )	84
Gambar 5.9b	Plot fungsi korelasi silang dari data HM ( <i>raw data</i> )	84
Gambar 5.10a	ACF dari variabel produksi $x_1$ dan $x_2$	85
Gambar 5.10b	PACF dari variabel produksi $x_1$ dan $x_2$	85
Gambar 5.11a	<i>Time series</i> plot dari data HM hasil pembakuan	86

Gambar 5.11b	<i>Matrix plot</i> dari data HM hasil pembakuan	86
Gambar 5.12	Plot fungsi korelasi silang dari data HM (baku)	87
Gambar 5.13a	Diagram kontrol $T^2$ Hotelling model VAR(1) dengan penaksir LS	91
Gambar 5.13b	Diagram kontrol $T^2$ Hotelling model VAR(1) dengan $\delta_2 = 0, 0.1, 0.5$ , dan $1.0$	93
Gambar 5.14a	Diagram kontrol $T^2$ Hotelling model VAR(1) dengan penaksir GA	92
Gambar 5.14b	Diagram kontrol $T^2$ Hotelling model VAR(1) dengan $\delta_2 = 0, 0.1, 0.5$ , dan $1.0$	92
Gambar 5.15	Diagram kontrol MEWMA menggunakan penaksir LS dengan $r=0.1$ dan $\alpha = 0.05$	95
Gambar 5.16	Diagram kontrol MEWMA menggunakan penaksir GA dengan $r=0.1$ dan $\alpha = 0.05$	95
Gambar 5.17a	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> setelah generasi ke 59	97
Gambar 5.17b	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> setelah generasi ke 322	97
Gambar 5.18a	<i>Time series plot of Woodmod dataset (raw data)</i>	99
Gambar 5.18b	<i>Matrix plot of Woodmod dataset (raw data)</i>	101
Gambar 5.19a	$T^2$ for Woodmod dataset case using LS with $\alpha=0.2$	103
Gambar 5.19b	$T^2$ for Woodmod dataset case using GA with $\alpha=0.2$	104
Gambar 5.20a	$T^2$ for Woodmod dataset case using LS with $\alpha=0.1$	104
Gambar 5.20b	$T^2$ for Woodmod dataset case using GA with $\alpha=0.1$	105
Gambar 5.21a	MEWMA for Woodmod dataset case using LS ( $r=0.3$ )	106
Gambar 5.21b	MEWMA for Woodmod dataset case using GA ( $r=0.3$ )	106
Gambar 5.22a	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> setelah generasi ke 95	108
Gambar 5.22b	Konvergensi fungsi <i>fitness</i> setelah generasi ke 276	108



Gambar B.1a	<i>Time series plot</i> untuk $n=200$ dengan 1 titik AO	Lampiran B 49
Gambar B.1b	Matriks plot untuk $n=200$ dengan 1 titik AO	Lampiran B 49
Gambar B.2a	<i>Time series plot</i> untuk $n=200$ dengan 2 titik AO	Lampiran B 50
Gambar B.2b	Matriks plot untuk $n=200$ dengan 2 titik AO	Lampiran B 50
Gambar B.3a	<i>Time series plot</i> untuk $n=100$ dengan 1 titik AO	Lampiran B 51
Gambar B.3b	Matriks plot untuk $n=100$ dengan 1 titik AO	Lampiran B 51
Gambar B.4a	<i>Time series plot</i> untuk $n=100$ dengan 2 titik AO	Lampiran B 52
Gambar B.4b	Matriks plot untuk $n=100$ dengan 2 titik AO	Lampiran B 52
Gambar B.4c	<i>Time series plot</i> untuk $n=100$ dengan 2 titik AO	Lampiran B 53
Gambar B.4d	Matriks plot untuk $n=200$ dengan 1 titik AO	Lampiran B 53
Gambar B.4e	<i>Time series plot</i> untuk $n=200$ dengan 1 titik AO	Lampiran B 54
Gambar B.4f	Matriks plot untuk $n=200$ dengan 1 titik AO	Lampiran B 54
Gambar B.5a	Plot Box-Cox dari komponen $x_1$	Lampiran B 55
Gambar B.5b	Plot Box-Cox dari komponen $x_2$	Lampiran B 55
Gambar B.6a	<i>Time series plot</i> data Woodmod hasil pembakuan	Lampiran B 56
Gambar B.6b	Matriks plot dari data Woodmod hasil pembakuan	Lampiran B 56

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor dan level parameter uji GA	37
Tabel 4.1	Simulasi pada diagram kontrol MEWMA berbasis model	60
Tabel 5.1	Hasil simulasi model VAR(1) berdasarkan jenis AO	69
Tabel 5.2	Parameter hasil simulasi algoritma genetika tanpa AO	74
Tabel 5.3	Parameter hasil simulasi algoritma genetika dengan 1 titik AO	75
Tabel 5.4	Parameter hasil simulasi algoritma genetika dengan 2 titik AO	77
Tabel 5.5	Hasil simulasi ARL pada diagram kontrol $T_u^2$	79
Tabel 5.6	Hasil simulasi ARL pada diagram kontrol MEWMA	81
Tabel 5.7a	Statistik deskriptif dari data HM asli	83
Tabel 5.7b	Skema representasi korelasi dari data HM (data asli)	84
Tabel 5.8a	Skema representasi korelasi model VAR(1) dari data HM (baku)	87
Tabel 5.8b	Skema representasi korelasi sebelum restriksi	87
Tabel 5.8c	Skema representasi korelasi parsial sebelum restriksi	88
Tabel 5.9	Hasil estimasi parameter model VAR(1) sebelum restriksi	88
Tabel 5.10a	Hasil estimasi parameter model VAR(1) setelah restriksi	88
Tabel 5.10b	Hasil restriksi parameter AR(1,1,2)	88
Tabel 5.11a	Skema representasi korelasi model dengan restriksi	88
Tabel 5.11b	Skema representasi autokorelasi model dengan restriksi	89
Tabel 5.12a	Hasil taksiran matriks koefisien regresi	89
Tabel 5.12b	Matriks kovarians residual	89
Tabel 5.12c	Statistik deskriptif untuk residual	89
Tabel 5.13	Skema representasi korelasi silang dari residual	89
Tabel 5.14	Batas atas kontrol pada kasus data HM	90
Tabel 5.15	Perbandingan kinerja diagram kontrol $T^2$	93

Tabel 5.16a	Perbandingan kinerja diagram kontrol MEWMA melalui penaksir LS dan GA pada data HM	96
Tabel 5.16b	Batas atas kontrol pada kasus data Woodmod dan data HM	96
Tabel 5.17	Parameter uji GA untuk kasus data HM	96
Tabel 5.18	Parameter hasil simulasi algoritma genetika pada kasus data HM	97
Tabel 5.19	Kriteria AIC untuk model AR	99
Tabel 5.20a	Skema representasi korelasi dari data Woodmod baku	100
Tabel 5.20b	Skema representasi autokorelasi parsial	100
Tabel 5.21a	Hasil estimasi parameter model VAR(1) dengan restriksi	101
Tabel 5.21b	Pengujian parameter setelah restriksi	101
Tabel 5.22	Representasi korelasi silang residual dari data Woodmod	102
Tabel 5.23	Hasil estimasi matriks koefisien model VAR(1) melalui penaksir LS dan GA pada data HM	102
Tabel 5.24	Hasil perbandingan kinerja diagram kontrol MEWMA melalui penaksir LS dan GA pada data Woodmod	107
Tabel 5.25	Parameter hasil simulasi algoritma genetika pada kasus data Woodmod	107
Tabel A.1	Deskripsi penelusuran perkembangan pengontrolan & diagram kontrol EWMA	Lampiran A 1
Tabel A.2	Deskripsi metode pendekatan dalam pengontrolan kualitas pada observasi tak-random	Lampiran A 3
Tabel B.1	Data Holmes dan Mergen (Montgomery, 2005)	Lampiran B 19
Tabel B.2	Data Woodmod (Stefatos dan Hamza, 2009)	Lampiran B 20
Tabel B.3	Hasil penaksiran parameter model VAR(1)-GA pada data Woodmod untuk 100 generasi	Lampiran B 22
Tabel B.4	Hasil penaksiran parameter model VAR(1)-GA pada data Woodmod untuk 500 generasi	Lampiran B 25



Tabel B.5	Hasil penaksiran parameter model VAR(1)-GA pada data HM untuk 100 generasi	Lampiran B 32
Tabel B.6	Hasil penaksiran parameter model VAR(1)-GA pada data HM untuk 500 generasi	Lampiran B 34
Tabel B.7	Deskripsi Statistik dari model VAR(1) dari data Woodmod sebelum direstriksi	Lampiran B 59
Tabel B.8	Estimasi parameter model VAR(1) dari data Woodmod sebelum restriksi nol	Lampiran B 60
Tabel B.9	Estimasi parameter model VAR(1) dari data Woodmod setelah restriksi nol pada elemen AR(1,3,4)	Lampiran B 60
Tabel B.10	Estimasi parameter model VAR(1) dari data Woodmod setelah restriksi nol pada elemen AR(1,3,4) dan AR(1,5,4)	Lampiran B 61
Tabel B.11a	Hasil Estimasi Matriks koefisien regresif setelah direstriksi nol	Lampiran B 62
Tabel B.11b	Hasil Estimasi Matriks Kovarians residual hasil restriksi	Lampiran B 62
Tabel B.11c	Statistik Deskriptif residual dari data Woodmod hasil restriksi	Lampiran B 62