

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Penelitian.....	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.1.1 Pemodelan Normalitas Berbasis Rekonstruksi dan Prediksi	7
2.1.2 Pemodelan Normalitas Heterogen	7
2.1.3 Pemodelan Hubungan Antar-Channel	8
2.1.4 Pendekatan yang Menggabungkan Kedua Dimensi	8
2.1.5 Posisi Penelitian Ini	8
2.2 Landasan Teori	10
2.2.1 Deteksi Anomali pada <i>Multivariate time series</i> dan Pemodelan Normalitas	10
2.2.2 <i>Vibration-Based Condition Monitoring</i> pada Sistem Motor-Pompa	13
2.2.3 Heterogenitas Struktural dan Temporal pada <i>Multivariate time series</i>	16
2.2.4 <i>Mixture-of-Experts</i> untuk Pemodelan Normalitas Heterogen	20
2.2.5 <i>Heterogeneous Normality in time series Anomaly Detection</i> (HNAD).....	22
2.2.6 Pengukuran Hubungan Statistik dan <i>Channel Clustering</i>	25
2.2.7 Metrik Evaluasi.....	29
BAB III METODE PENELITIAN	35

3.1	Desain Penelitian	35
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	38
3.2.1	Alat Penelitian.....	38
3.2.2	Bahan Penelitian	38
3.3	Pra-pemrosesan dan Pembentukan Data Masukan	39
3.3.1	Data Mentah dan Pembersihan Awal.....	39
3.3.2	Penyaringan Status Operasional	40
3.3.3	Pembagian Data	41
3.3.4	Normalisasi Data.....	41
3.3.5	Pembentukan <i>Sliding Window</i>	41
3.4	<i>Channel Clustering</i>	42
3.4.1	Pengukuran Hubungan Antar- <i>Channel</i>	42
3.4.2	Pembentukan Matriks Jarak.....	43
3.4.3	<i>Hierarchical Clustering</i>	43
3.4.4	Penentuan Struktur Kelompok <i>Channel</i>	44
3.5	Perancangan Skema Pemodelan	45
3.5.1	HNAD-Global.....	46
3.5.2	HNAD- <i>Cluster</i>	46
3.5.3	Skema Pembandingan Lain	47
3.6	Implementasi HNAD sebagai Model Pemodelan Normalitas	48
3.6.1	Arsitektur HNAD.....	48
3.6.2	Proses Pelatihan HNAD.....	49
3.7	Proses Prediksi dan Deteksi Anomali	50
3.7.1	Proses Prediksi.....	50
3.7.2	Proses Deteksi Anomali.....	50
3.8	Desain Eksperimen pada Dataset Utama	52
3.8.1	Konfigurasi Eksperimen	52
3.8.2	Skenario Pembandingan	53
3.8.3	Prosedur Pengulangan Eksperimen	53
3.9	Analisis Keselarasan Temporal Antar- <i>Channel</i>	54
3.10	Validasi Metode yang Diusulkan pada Dataset SWaT.....	55
3.10.1	Alasan Pemilihan Dataset SWaT.....	55
3.10.2	Persiapan Dataset SWaT.....	56
3.10.3	Pembagian Data dan Konfigurasi Pelatihan data SWaT	57
3.10.4	Alur Pengujian Metode yang Diusulkan pada SWaT.....	57
3.11	Metrik Evaluasi dan Analisis Hasil	58
3.11.1	Evaluasi Pemodelan Normalitas	58
3.11.2	Evaluasi Deteksi Anomali	59
3.11.3	Analisis Statistik	60
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1	Gambaran Umum Hasil Penelitian	61
4.2	Karakteristik Dataset Getaran	61
4.2.1	Statistik Deskriptif Data.....	61
4.2.2	Pembagian Data	62



4.3	Hasil <i>Channel Clustering</i>	62
4.3.1	Hasil Korelasi Spearman	62
4.3.2	Hasil <i>Hierarchical Clustering</i>	63
4.3.3	Struktur Kelompok <i>Channel</i>	64
4.4	Hasil Pemodelan Normalitas pada Dataset Getaran	65
4.4.1	Konvergensi Pelatihan HNAD.....	65
4.4.2	Hasil Prediksi.....	66
4.4.3	Hasil MSE.....	67
4.5	Pengaruh Granularitas terhadap Pemodelan Normalitas	70
4.5.1	Perbandingan MSE Antar-Skema.....	71
4.5.2	Dasar Pemilihan Skema <i>Cluster</i>	72
4.6	Hasil dan Analisis Heterogenitas Temporal	73
4.6.1	Pengaruh Jumlah Kelas Laten (M)	73
4.6.2	Interpretasi Pola Temporal.....	74
4.7	Analisis Keselarasan Temporal Antar- <i>Channel</i> Berdasarkan NMI.....	74
4.7.1	Hasil NMI <i>Within-Cluster</i>	75
4.7.2	Hasil NMI <i>Between-Cluster</i>	75
4.7.3	Perbandingan <i>Within-Cluster</i> dan <i>Between-Cluster</i>	75
4.8	Hasil Validasi <i>Proposed Method</i> pada Dataset SWaT	75
4.8.1	Hasil <i>Channel Clustering</i> SWaT	76
4.8.2	Hasil MSE pada SWaT	76
4.8.3	Hasil Deteksi Anomali.....	77
4.8.4	Interpretasi Perbedaan Kinerja Pemodelan Normalitas dan Deteksi Anomali	78
4.9	Pembahasan	79
4.9.1	Heterogenitas Struktural pada Data Getaran	80
4.9.2	Pengaruh Struktur Kelompok <i>Channel</i> terhadap Pemodelan Normalitas ..	80
4.9.3	Heterogenitas Temporal dalam Pemodelan Normalitas	81
4.9.4	Keterkaitan Heterogenitas Struktural dan Temporal	81
4.9.5	Evaluasi <i>Structure-Aware Decomposition</i> pada Dataset SWaT	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		84
5.1	Kesimpulan	84
5.1.1	Kesimpulan RQ1.....	84
5.1.2	Kesimpulan RQ2.....	84
5.1.3	Kesimpulan RQ3.....	85
5.1.4	Kesimpulan RQ4.....	86
5.2	Implikasi Penelitian	87
5.2.1	Implikasi Teoretis	87
5.2.2	Implikasi Praktis	88
5.3	Keterbatasan Penelitian.....	88
5.4	Saran Penelitian Lanjutan	89
DAFTAR PUSTAKA		91
LAMPIRAN.....		99



Lampiran 1: Kode <i>Hierarchical Clustering</i>	99
Lampiran 2: Konfigurasi dan Pemanggilan Training HNAD.....	100
Lampiran 3: Kode Analisis Keselarasan Temporal (NMI).....	101
Lampiran 4: Kode Pembersihan Data SWaT.....	101
Lampiran 5: Kode Analisis Statistik.....	102