



**ANALISIS *TRADE-OFF* PERFORMA DETEKSI DAN EFISIENSI
KOMPUTASI *LIGHTWEIGHT CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK*
MENGUNAKAN *DISCRETE WAVELET TRANSFORM* PADA
JARINGAN *INTERNET OF THINGS (IoT)***

TESIS

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

Effendi

55424110014

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA**

2026



**ANALISIS *TRADE-OFF* PERFORMA DETEKSI DAN EFISIENSI
KOMPUTASI *LIGHTWEIGHT CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK*
MENGUNAKAN *DISCRETE WAVELET TRANSFORM* PADA
JARINGAN *INTERNET OF THINGS (IoT)***

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program Pascasarjana
Program Magister Teknik Elektro

**Effendi
55424110014**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Effendi
NIM : 55424110014
Program Studi : Magister Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tesis berjudul:
“Analisis *Trade-Off* Performa Deteksi Dan Efisiensi
Komputasi *Lightweight Convolutional Neural Network*
Menggunakan *Discrete Wavelet Transform* Pada Jaringan
Internet of Things (IoT).” adalah hasil karya saya sendiri, tidak
mengandung unsur *plagiarisme*, pelanggaran hak cipta, atau
konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum
atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap
pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh
konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu
Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap
mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas
Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya
untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 17 September 2026.



The image shows a handwritten signature in blue ink over a yellow rectangular stamp that reads 'METERAN TEMPEL' and a green rectangular stamp that reads '10000'. Below the signature, the name 'Effendi' is printed in a small font.

NIM: 55424110014

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : Effendi
NIM : 55424110014
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **ANALISIS TRADE-OFF PERFORMA DETEKSI
DAN EFISIENSI KOMPUTASI
LIGHTWEIGHT CONVOLUTIONAL NEURAL
NETWORK MENGGUNAKAN DISCRETE
WAVELET TRANSFORM PADA JARINGAN
INTERNET OF THINGS (IoT)**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Rabu, 23 September 2026** dengan hasil presentase sebesar **11 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 23 September 2026

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

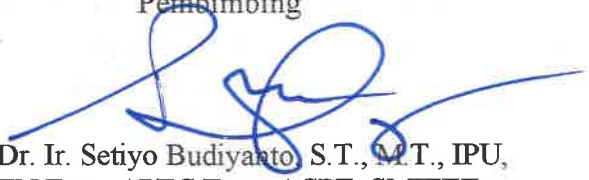
HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : EFFENDI
NIM : 55424110014
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : *ANALISIS TRADE-OFF PERFORMA DETEKSI DAN EFISIENSI KOMPUTASI LIGHTWEIGHT CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK MENGGUNAKAN DISCRETE WAVELET TRANSFORM PADA JARINGAN INTERNET OF THINGS (IoT)*

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 17 September 2026 di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:
Pembimbing



Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyo, S.T., M.T., IPU,
ASEN Eng., APEC Eng., ACPE, SMIEEE
NIDN/NUPTK: 0312118206

Jakarta, 17 September 2026
Mengetahui,

Dekan
Fakultas Teknik

Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro



Dr. Zulfa Fitri Ikatinasari, M. T.
NIDN/NUPTK: 030703702



Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyo, S.T.,
M.T., IPU, ASEN Eng., APEC Eng.,
ACPE, SMIEEE
NIDN/NUPTK: 0312118206

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Bismillahirrahmanirrahim. Segala puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya. Berkat izin dan pertolongan-Nya, laporan tesis ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Adapun tesis ini berjudul **“Analisis Trade-Off Performa Deteksi Dan Efisiensi Komputasi *Lightweight Convolutional Neural Network* Menggunakan *Discrete Wavelet Transform* Pada Jaringan *Internet of Things* (IoT)”**.

Laporan tesis ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan kelulusan Program Studi Pascasarjana (S2) Teknik Elektro di Universitas Mercu Buana. Selain itu, penulisan laporan ini juga bertujuan sebagai wadah untuk menerapkan pengetahuan dan keterampilan yang telah diperoleh selama masa studi. Proses penyusunan tesis ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyanto, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng., APEC Eng., ACPE, selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro
4. Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyanto, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng., APEC Eng., ACPE, selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini
5. Kepada Orang Tua Bapak M.Rusli dan Ibu Almh. Mardiana serta Zulfa, S.Pt., selaku istri yang selalu memberikan dukungan dan menemani dengan seduhan kopi dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Mercu Buana atas ilmu dan wawasan yang telah dibagikan.
7. Seluruh teman angkatan MTE35 atas diskusi dan bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.

Saya menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih banyak terdapat

kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun akan penulis terima dengan senang hati, akhir kata penulis berharap agar tesis ini bermanfaat khususnya bagi penulis maupun pihak-pihak yang berkepentingan.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Jakarta, 17 September 2026.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Effendi', with a stylized, cursive script.

Effendi

55424110014

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA
ILMIAH DI
REPOSITORI UMB**

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : EFFENDI
NIM : 55424110014
Fakultas/Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Analisis *Trade-Off* Performa Deteksi dan Efisiensi Komputasi *Lightweight Convolutional Neural Network* Menggunakan *Discrete Wavelet Transform* pada Jaringan *Internet of Things* (IoT).

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 17 September 2026.


Effendi
55424110014



ABSTRAK

Nama : EFFENDI
NIM : 55424110014
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : *Analisis Trade-Off Performa Deteksi dan Efisiensi Komputasi Lightweight Convolutional Neural Network Menggunakan Discrete Wavelet Transform pada Jaringan Internet of Things (IoT)*
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyo, S.T., M.T., I.P.U.,

Perkembangan Internet of Things (IoT) meningkatkan konektivitas perangkat dan volume lalu lintas jaringan, namun juga memperluas permukaan serangan sehingga diperlukan mekanisme deteksi anomali yang akurat dan efisien. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan Discrete Wavelet Transform (DWT) dan pemilihan basis wavelet terhadap performa deteksi anomali jaringan IoT serta kompleksitas komputasi Lightweight Convolutional Neural Network (CNN).

Evaluasi dilakukan menggunakan tiga benchmark dataset, yaitu BoT-IoT, UNSW-NB15, dan N-BaIoT. Setiap network record direpresentasikan sebagai vektor fitur numerik, distandardisasi menggunakan StandardScaler, diseimbangkan dengan SMOTE hanya pada core training set, kemudian di-zero-padding hingga 136 elemen. Lima konfigurasi diuji, yaitu baseline tanpa DWT serta db4, db6, bior3.5, dan bior6.8 dengan dekomposisi level 3. Seluruh konfigurasi diproses menggunakan arsitektur Lightweight CNN berbasis SeparableConv1D yang identik. Performa dievaluasi menggunakan Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, Matthews Correlation Coefficient (MCC), dan AUC, sedangkan kompleksitas komputasi dievaluasi berdasarkan jumlah parameter dan FLOPs.

Hasil menunjukkan bahwa pada BoT-IoT, bior6.8 menghasilkan MCC $0,605 \pm 0,092$ dan AUC $0,902 \pm 0,020$, meningkat sekitar 20,3% dan 15,1% dibandingkan baseline. Pada UNSW-NB15, baseline menghasilkan MCC $0,797 \pm 0,032$ dan AUC $0,968 \pm 0,010$ dengan 2.999.857 FLOPs, sekitar 26,0% lebih rendah daripada bior6.8. Pada N-BaIoT, db6 dan bior6.8 menghasilkan MCC sekitar 0,9987, sedangkan baseline 0,9983 dengan selisih hanya sekitar 0,04%; baseline membutuhkan FLOPs 18,5% lebih rendah daripada db6 dan 26,0% lebih rendah daripada bior6.8. Secara keseluruhan, FLOPs meningkat 35,1% dari baseline ke bior6.8, sementara seluruh konfigurasi tetap memiliki 20.004 parameter. Dengan demikian, manfaat DWT bersifat dataset-dependent dan tambahan kompleksitas tidak selalu meningkatkan performa.

Kata Kunci: deteksi anomali IoT, Discrete Wavelet Transform, Lightweight CNN, MCC, FLOPs

ABSTRACT

Name : EFFENDI
NIM : 55424110014
Study : Master of Electrical Engineering
Program :
Thesis Title : *Trade-Off Analysis of Detection Performance and Computational Efficiency of a Lightweight Convolutional Neural Network Using Discrete Wavelet Transform for IoT Networks*
Counselloer : Prof. Dr. Ir. Setiyo Budiyo, S.T., M.T., I.P.U.,

The growth of the Internet of Things (IoT) has increased device connectivity and network traffic volume, while also expanding the attack surface, thereby creating a need for accurate and efficient anomaly detection mechanisms. This study aims to analyze the effect of Discrete Wavelet Transform (DWT) and wavelet basis selection on IoT network anomaly detection performance and the computational complexity of a Lightweight Convolutional Neural Network (CNN).

The evaluation was conducted using three benchmark datasets, namely BoT-IoT, UNSW-NB15, and N-BaIoT. Each network record was represented as a numerical feature vector, standardized using StandardScaler, balanced using SMOTE only on the core training set, and then zero-padded to 136 elements. Five configurations were evaluated: a baseline without DWT and four level-3 DWT configurations using db4, db6, bior3.5, and bior6.8. All configurations were processed using the same SeparableConv1D-based Lightweight CNN architecture. Detection performance was evaluated using Accuracy, Precision, Recall, F1-Score, Matthews Correlation Coefficient (MCC), and AUC, while computational complexity was evaluated based on the number of parameters and FLOPs.

The results show that on BoT-IoT, bior6.8 achieved an MCC of 0.605 ± 0.092 and an AUC of 0.902 ± 0.020 , representing improvements of approximately 20.3% and 15.1%, respectively, compared with the baseline. On UNSW-NB15, the baseline achieved an MCC of 0.797 ± 0.032 and an AUC of 0.968 ± 0.010 with 2,999,857 FLOPs, approximately 26.0% lower than bior6.8. On N-BaIoT, db6 and bior6.8 achieved MCC values of approximately 0.9987, while the baseline achieved 0.9983, a difference of only about 0.04%; the baseline required 18.5% fewer FLOPs than db6 and 26.0% fewer FLOPs than bior6.8. Overall, FLOPs increased by 35.1% from the baseline to bior6.8, while all configurations retained the same 20,004 parameters. These results indicate that the benefits of DWT are dataset-dependent and that increased computational complexity does not necessarily lead to improved detection performance.

Keywords: *IoT anomaly detection, Discrete Wavelet Transform, Lightweight CNN, MCC, FLOPs*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN (dari TU).....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH DI REPOSITORI UMB.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR RUMUS.....	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Deteksi Anomali pada Lalu Lintas Jaringan IoT	7
2.2 <i>Lightweight Convolutional Neural Network</i> (CNN) untuk Deteksi Anomali9	
2.2.1 Prinsip dan Dasar Matematis <i>Lightweight CNN</i>	11
2.3 Representasi Fitur dan Transformasi Wavelet pada Lalu Lintas Jaringan...13	
2.4 Teori Dasar dan Karakteristik Basis Wavelet.....14	
2.4.1 Fungsi Induk, Penskalaan, dan Pergeseran Wavelet.....14	
2.4.2 Implementasi DWT dan Rasionalisasi Pemilihan Basis	14
2.5 Efisiensi Komputasi dan Strategi Pendukung Deteksi Intrusi IoT	15

2.6 Diagram Venn.....	16
2.7 Metrik Evaluasi Kinerja Deteksi	21
2.7.1 Presisi (<i>Precision</i>).....	22
2.7.2 Recall (<i>Sensitivity</i>)	22
2.7.3 Akurasi (<i>Accuracy</i>)	23
2.7.4 F1-Score.....	23
2.7.5 Matthews Correlation Coefficient (MCC)	24
2.7.6 Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC).....	25
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Dataset dan Pra-pemrosesan Data	31
3.1.1 Sumber dan Deskripsi Benchmark Dataset.....	32
3.1.2 Format Data Mentah dan Representasi Per-Record.....	35
3.1.3 Langkah-langkah Pra-pemrosesan	36
3.1.4 Masukan, Keluaran dan Alur Data Sistem.....	38
3.2 Ekstraksi Fitur Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit (DWT)	39
3.3 Desain Arsitektur Lightweight Convolutional Neural Network (CNN).....	40
3.3.1 Pembentukan Representasi Masukan CNN	41
3.3.2 Konfigurasi Pelatihan Model	42
3.4 Metodologi Evaluasi Model.....	43
3.4.1 Lingkungan Eksperimen dan Perangkat Lunak.....	44
3.5 Metode Analisis Data	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Pra-pemrosesan Data dan Ekstraksi Fitur	47
4.2 Evaluasi Kinerja Model	48
4.3 Analisis <i>Trade-off</i> dan Pembahasan	52
4.3.1 Analisis Dataset BoT-IoT.....	53
4.3.2 Analisis Dataset UNSW-NB15.....	54
4.3.3 Analisis Dataset N-BaIoT.....	54
4.3.4 Analisis Komparatif Antar Dataset	55
4.3.5 Interpretasi Hasil dan Keterbatasan Eksperimen.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	62

DAFTAR LAMPIRAN	66
-----------------------	----



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Pendekatan yang Diusulkan dengan Metode Terdahulu	8
Tabel 2.2 Perbandingan CNN Konvensional dan <i>Lightweight</i> CNN	10
Tabel 3.1 Ringkasan Dataset Setelah Pra-pemrosesan	37
Tabel 3.2 Arsitektur <i>Lightweight</i> CNN yang Digunakan	41
Tabel 3.3 Perangkat Lunak yang Digunakan dalam Eksperimen.....	44
Tabel 4.1 Ringkasan Dataset Setelah Pra-pemrosesan	48
Tabel 4.2 Hasil Evaluasi pada Dataset BoT-IoT	49
Tabel 4.3 Hasil Evaluasi pada Dataset UNSW-NB15.....	50
Tabel 4.4 Hasil Evaluasi pada Dataset N-BaIoT	51
Tabel 4.5 Ringkasan Trade-off Performa dan Efisiensi Komputasi	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur Lightweight CNN untuk Klasifikasi Representasi Fitur Satu Dimensi	11
Gambar 2.2 Diagram Venn Posisi Penelitian	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	29
Gambar 3.2 Halaman Sumber Dataset BoT-IoT	33
Gambar 3.3 Halaman Sumber Dataset UNSW-NB15.....	34
Gambar 3.4 Halaman Sumber Dataset N-BaIoT	34
Gambar 3.5 Alur Data Sistem Deteksi Anomali yang Diusulkan.....	39
Gambar 4.1 Hubungan antara MCC dan FLOPs pada Tiga Benchmark Dataset ...	56



DAFTAR RUMUS

Rumus (2.1) Kompleksitas Konvolusi Standar	12
Rumus (2.2) Kompleksitas Depthwise Separable Convolution	12
Rumus (2.3) Rasio Kompleksitas Separable terhadap Konvolusi Standar	12
Rumus (2.4) Fungsi Keluarga Wavelet	14
Rumus (2.5) Precision	22
Rumus (2.6) Recall	23
Rumus (2.7) Accuracy	23
Rumus (2.8) F1-Score	24
Rumus (2.9) Matthews Correlation Coefficient (MCC)	24
Rumus (2.10) True Positive Rate (TPR)	25
Rumus (2.11) False Positive Rate (FPR)	26
Rumus (2.12) Area Under the ROC Curve (AUC)	26
Rumus (3.1) Representasi Vektor Fitur Per-Record	36



DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
AUC	Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve, ukuran kemampuan model membedakan kelas normal dan anomali pada berbagai nilai threshold
C_{in}	Jumlah channel masukan pada operasi konvolusi
C_{out}	Jumlah channel keluaran pada operasi konvolusi
$C_{standard}$	Kompleksitas operasi konvolusi standar
$C_{separable}$	Kompleksitas operasi depthwise separable convolution
FN	False Negative, jumlah data anomali yang salah diprediksi sebagai normal
FP	False Positive, jumlah data normal yang salah diprediksi sebagai anomali
FPR	False Positive Rate, proporsi data normal yang salah diklasifikasikan sebagai anomali
K	Ukuran kernel konvolusi
L	Panjang keluaran hasil operasi konvolusi
MCC	Matthews Correlation Coefficient, ukuran korelasi antara kelas aktual dan hasil prediksi
n	Jumlah fitur numerik dalam satu network record setelah proses pembersihan
s	Parameter skala (<i>scaling</i>) pada fungsi wavelet
t	Variabel posisi pada fungsi wavelet; dalam penelitian ini penerapan DWT dilakukan pada vektor fitur terurut per-record, bukan pada deret waktu antar-record
TN	True Negative, jumlah data normal yang diprediksi dengan benar sebagai normal
TP	True Positive, jumlah data anomali yang diprediksi dengan benar sebagai anomali
TPR	True Positive Rate, proporsi data anomali yang berhasil dideteksi dengan benar
X	Vektor fitur numerik yang merepresentasikan satu network record
X^i	Nilai fitur ke-ii pada vektor XX
τ	Parameter pergeseran (<i>translation</i>) pada fungsi wavelet
$\psi(t)$	Fungsi induk (<i>mother wavelet</i>)
$\psi_{s,t}(t)$	Fungsi wavelet yang diperoleh dari penskalaan ss dan pergeseran τ terhadap fungsi induk

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
AUC	<i>Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
DDoS	<i>Distributed Denial of Service</i>
DWT	<i>Discrete Wavelet Transform</i>
FLOPs	<i>Floating-Point Operations</i>
IDS	<i>Intrusion Detection System</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
MCC	<i>Matthews Correlation Coefficient</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ReLU	<i>Rectified Linear Unit</i>
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
SMOTE	<i>Synthetic Minority Over-sampling Technique</i>

