

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PROMOTOR .....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN TIM PENGUJI.....	iv
PERNYATAAN PROMOVENDUS .....	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	xix
ABSTRAK .....	xx
ABSTRACT.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	7
1.5 Batasan Masalah.....	7
1.6 Keaslian Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	14
2.1 Tinjauan Pustaka.....	14
2.1.1 <i>Bibliometric Analysis</i> pada IDS .....	14
2.1.2 <i>Systematic Literature Review</i> .....	17
2.1.2.1 <i>Research Question Formulation</i> .....	18
2.1.2.2 <i>Research Question</i> .....	19
2.1.2.3 <i>Conducting Review</i> .....	20
2.1.2.4 <i>Literature Search</i> .....	20
2.1.2.5 <i>Primary Studies Selection</i> .....	20
2.1.2.6 <i>Data Extraction</i> .....	22
2.1.2.7 <i>Study Quality Assessment and Data Synthesis</i> .....	22
2.1.3 Hasil <i>Systematic Literature Review</i> .....	23
2.1.3.1 (RQ1) Publikasi Terkait Topik IDS .....	23
2.1.3.2 (RQ2) Teknik <i>Machine Learning</i> pada IDS.....	25
2.1.3.3 (RQ3) Dataset yang Digunakan pada IDS.....	26
2.1.3.4 (RQ4) Metode yang Digunakan pada IDS.....	27
2.1.3.5 (RQ5) Metode yang Paling Banyak Digunakan pada IDS .....	28
2.1.3.6 (RQ6) Performansi Metode Terbaik pada IDS .....	29
2.1.3.7 (RQ7) Perbaikan Metode yang Diusulkan.....	30
2.2 Landasan Teori.....	31

2.2.1	<i>Intrusion</i> .....	31
2.2.1.1	<i>Denial of Service (DoS)</i> .....	31
2.2.1.2	<i>User to Root Attacks (U2R)</i> .....	31
2.2.1.3	<i>Remote to Local (R2L)</i> .....	31
2.2.1.4	<i>Probing</i> .....	31
2.2.2	<i>Network Security</i> .....	32
2.2.3	<i>Intrusion Detection System (IDS)</i> .....	33
2.2.3.1	<i>NIDS (Network based IDS)</i> .....	36
2.2.3.2	<i>HIDS (Host based IDS)</i> .....	36
2.2.3.3	<i>Hybrid (HIDS dan NIDS)</i> .....	37
2.2.4	<i>Intrusion Prevention System (IPS)</i> .....	37
2.2.5	<i>Data Mining</i> .....	38
2.2.5.1	<i>Peran Data Mining</i> .....	39
2.2.5.2	<i>Tipe Algoritma</i> .....	40
2.2.6	<i>Tahapan Data Mining</i> .....	41
2.2.6.1	<i>Data Selection</i> .....	41
2.2.6.2	<i>Pre-Processing</i> .....	41
2.2.6.3	<i>Transformation</i> .....	42
2.2.6.4	<i>Data Mining</i> .....	42
2.2.6.5	<i>Interpretation/Evaluation</i> .....	42
2.2.7	<i>Dataset</i> .....	43
2.2.8	<i>Fitur Dataset</i> .....	43
2.2.9	<i>Seleksi Fitur</i> .....	44
2.2.9.1	<i>Filter</i> .....	45
2.2.9.2	<i>Wrapper</i> .....	46
2.2.9.3	<i>Embedded</i> .....	47
2.2.10	<i>Recursive Feature Elimination (RFE)</i> .....	47
2.2.11	<i>Rough Set Theory (RST)</i> .....	47
2.2.11.1	<i>Sistem Informasi</i> .....	48
2.2.11.2	<i>Sistem Keputusan</i> .....	48
2.2.11.3	<i>Indiscernibility Relation</i> .....	49
2.2.11.4	<i>Set Approximation</i> .....	50
2.2.11.5	<i>Reduct</i> .....	50
2.2.11.6	<i>Tahapan Seleksi Fitur berbasis RST</i> .....	51
2.2.12	<i>Machine Learning</i> .....	52
2.2.13	<i>Classifier</i> .....	53
2.2.13.1	<i>Support Vector Machine</i> .....	53
2.2.13.2	<i>Decision Tree</i> .....	55
2.2.13.3	<i>Naïve Bayes</i> .....	56
2.2.14	<i>Ensemble Learning</i> .....	57
2.2.14.1	<i>Bagging</i> .....	58
2.2.14.2	<i>Boosting</i> .....	60

2.2.14.3	<i>Stacking</i> .....	61
2.2.15	<i>Training Model</i> .....	63
2.2.16	<i>Testing Model</i> .....	63
2.2.17	Evaluasi Model .....	64
2.2.18	Matrix Evaluasi Model .....	65
2.2.19	Uji Statistik .....	71
2.3	Penelitian Terkait .....	73
2.4	<i>Research Gap</i> .....	75
2.4.1	Hasil Deteksi yang Tidak Konsisten pada Klasifikasi Serangan .....	75
2.4.2	Pemilihan <i>Classifier</i> yang Kurang Tepat .....	75
2.5	Pertanyaan Penelitian .....	76
2.6	Hipotesis .....	76
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN .....	77
3.1	Lingkup Penelitian .....	77
3.2	Tahapan Penelitian .....	78
3.2.1	Studi Literatur .....	78
3.2.2	Penentuan Masalah Penelitian .....	79
3.2.3	Penentuan Tujuan Penelitian .....	80
3.2.4	Desain Topologi NIDS .....	80
3.2.5	Alat dan Bahan Penelitian .....	81
3.2.5.1	Alat Penelitian .....	81
3.2.5.2	Bahan Penelitian .....	82
3.2.6	<i>Pre-Processing</i> .....	83
3.2.7	Seleksi Fitur .....	85
3.2.7.1	Seleksi Fitur Berbasis RFE .....	86
3.2.7.2	Seleksi Fitur Berbasis RST .....	86
3.2.8	Desain Model ( <i>Proposed Method</i> ) .....	87
3.2.9	Desain Pengujian Model .....	87
3.2.10	Desain Evaluasi Model .....	87
3.2.11	Penyusunan Laporan .....	89
3.3	Usulan Metode ( <i>Novelty</i> ) .....	89
3.3.1	Usulan Metode (Bagging-SDN) .....	92
3.3.2	Usulan Metode (S-SDN) .....	93
3.3.3	Usulan Metode (B-DT) .....	93
3.4	Kontribusi Penelitian .....	95
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	96
4.1	Hasil Klasifikasi Berbasis <i>Single Classifier (Baseline Model)</i> .....	97
4.1.1	Hasil Klasifikasi pada Dataset NSL-KDD .....	97
4.1.2	Hasil Klasifikasi pada Dataset UNSW-NB15 .....	99
4.1.3	Hasil Klasifikasi pada Dataset CIC-IDS-2017 .....	102
4.1.4	Hasil Klasifikasi pada Dataset DoHBrw-2020 .....	104
4.1.5	Rangkuman Hasil Klasifikasi Berbasis <i>Single Classifier</i> .....	106

4.2	Hasil Usulan Metode (Bagging-SDN).....	110
4.2.1	Hasil Klasifikasi Bagging-SDN pada Dataset NSL-KDD.....	111
4.2.2	Hasil Klasifikasi Bagging-SDN pada Dataset UNSW-NB15.....	114
4.2.3	Hasil Klasifikasi Bagging-SDN pada Dataset CIC-IDS-2017 .....	118
4.2.4	Hasil Klasifikasi Bagging-SDN pada Dataset DoHBrw-2020 .....	122
4.2.5	Rangkuman Hasil Klasifikasi Berbasis Bagging-SDN.....	126
4.3	Hasil Usulan Metode (S-SDN).....	127
4.3.1	Hasil Klasifikasi S-SDN pada Dataset NSL-KDD .....	127
4.3.2	Hasil Klasifikasi S-SDN pada Dataset UNSW-NB15.....	129
4.3.3	Hasil Klasifikasi S-SDN pada Dataset CIC-IDS-2017 .....	132
4.3.4	Hasil Klasifikasi S-SDN pada Dataset DoHBrw-2020.....	134
4.3.5	Rangkuman Hasil Klasifikasi Berbasis S-SDN .....	136
4.4	Hasil Seleksi Fitur Berbasis RFE.....	136
4.4.1	Hasil Seleksi Fitur (RFE) pada Dataset NSL-KDD .....	137
4.4.2	Hasil Seleksi Fitur (RFE) pada Dataset UNSW-NB15 .....	138
4.4.3	Hasil Seleksi Fitur (RFE) pada Dataset CIC-IDS-2017 .....	139
4.4.4	Hasil Seleksi Fitur (RFE) pada Dataset DoHBrw-2020 .....	140
4.4.5	Rangkuman Hasil Akhir Seleksi Fitur Berbasis RFE .....	141
4.5	Hasil Usulan Metode RFE+(B-DT).....	141
4.5.1	Hasil Klasifikasi RFE+(B-DT) pada NSL-KDD .....	141
4.5.2	Hasil Klasifikasi RFE+(B-DT) pada UNSW-NB15 .....	144
4.5.3	Hasil Klasifikasi RFE+(B-DT) pada CIC-IDS-2017 .....	146
4.5.4	Hasil Klasifikasi RFE+(B-DT) pada DoHBrw-2020 .....	148
4.5.5	Rangkuman Hasil Klasifikasi Berbasis RFE+B-DT .....	150
4.6	Hasil Seleksi Fitur Berbasis RST.....	151
4.7	Hasil Usulan Metode RST+(B-DT).....	152
4.7.1	Hasil Klasifikasi RST+(B-DT) pada NSL-KDD .....	152
4.7.2	Hasil Klasifikasi RST+(B-DT) pada UNSW-NB15 .....	154
4.7.3	Hasil Klasifikasi RST+(B-DT) pada CIC-IDS-2017 .....	155
4.7.4	Hasil Klasifikasi RST+(B-DT) pada DoHBrw-2020 .....	158
4.7.5	Rangkuman Hasil Klasifikasi Berbasis RST+B-DT .....	158
4.8	Hasil Perbandingan Performa Model .....	159
4.8.1	Hasil Uji Model pada Dataset NSL-KDD.....	159
4.8.2	Hasil Uji Model pada Dataset UNSW-NB15.....	162
4.8.3	Hasil Uji Model pada Dataset CIC-IDS-2017 .....	164
4.8.4	Hasil Uji Model pada Dataset DoHBrw-2020 .....	166
4.9	Hasil Uji Statistik.....	168
4.10	Hasil Analisis Performa Model .....	170
4.10.1	Hasil Analisis Model <i>Single Classifier (Baseline Model)</i> .....	170
4.10.2	Hasil Analisis Model Bagging-SDN ( <i>Proposed Model</i> ).....	170
4.10.3	Hasil Analisis Model S-SDN ( <i>Proposed Model</i> ) .....	171
4.10.4	Hasil Analisis Model RFE+B-DT ( <i>Proposed Model</i> ).....	171



4.10.5 Hasil Analisis Model RST+B-DT ( <i>Proposed Model</i> ) .....	171
4.11 Rangkuman Pembahasan .....	172
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	174
5.1 Kesimpulan .....	174
5.2 Saran.....	175
DAFTAR PUSTAKA .....	177
LAMPIRAN .....	L-1
Lampiran 1: Luaran Penelitian .....	L-1
Lampiran 2: Dataset.....	L-2
Lampiran 3: Hasil <i>Pre-Processing</i> .....	L-14

Tabel 1.1	Perbandingan Metode <i>Signature-based</i> dan <i>Anomaly-based</i> .....	3
Tabel 1.2	Penelitian Sebelumnya Terkait Topik IDS .....	11
Tabel 2.1	Strategi Pencarian yang Digunakan dalam Penelitian .....	15
Tabel 2.2	Hasil Klasterisasi Topik Penelitian Terkait IDS .....	17
Tabel 2.3	Kriteria PICOC .....	18
Tabel 2.4	Pertanyaan Penelitian .....	19
Tabel 2.5	Kriteria Inklusi dan Eksklusi.....	22
Tabel 2.6	Properti Ekstraksi Data.....	22
Tabel 2.7	Nilai Quartil Jurnal Terkait Topik IDS .....	24
Tabel 2.8	Algoritma yang paling sering digunakan pada IDS .....	29
Tabel 2.9	Tabel Sistem Informasi (dataset).....	48
Tabel 2.10	Tabel Sistem Keputusan (d=label).....	49
Tabel 2.11	Tabel Keputusan $T = (U, C, D)$ .....	51
Tabel 2.12	<i>Matrix of Discernibility</i> .....	51
Tabel 2.13	Kappa Coefficient Parameter.....	69
Tabel 2.14	Contoh Implementasi <i>Kappa Coefficient</i> .....	70
Tabel 2.15	Hasil Evaluasi <i>Framework</i> IG-PCA Ensemble .....	74
Tabel 2.16	Perbandingan Evaluasi IG-PCA dan PSOGSARFC.....	75
Tabel 3.1	Dataset yang digunakan pada penelitian ini .....	82
Tabel 3.2	Desain Evaluasi Model .....	88
Tabel 4.1	Hasil Klasifikasi <i>Single Classifier</i> pada NSL-KDD .....	98
Tabel 4.2	Hasil Klasifikasi <i>Single Classifier</i> pada UNSW-NB15 .....	101
Tabel 4.3	Hasil Klasifikasi <i>Single Classifier</i> pada CIC-IDS-2017 .....	103
Tabel 4.4	Hasil Klasifikasi <i>Single Classifier</i> pada DoHBrw-2020.....	105
Tabel 4.5	Hasil Akurasi dan Presisi berbasis <i>Single Classifier</i> .....	106
Tabel 4.6	Hasil Recall dan F1-Score berbasis <i>Single Classifier</i> .....	107
Tabel 4.7	Hasil Kappa Score dan <i>Testing Time</i> berbasis <i>Single Classifier</i> .....	107
Tabel 4.8	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada NSL-KDD.....	113
Tabel 4.9	Perbandingan Performa ( <i>Single</i> vs Bagging-SDN) pada NSL-KDD... ..	114
Tabel 4.10	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada UNSW-NB15.....	117
Tabel 4.11	Perbandingan Performa ( <i>Single</i> vs Bagging-SDN) pada UNSW-NB15.....	118
Tabel 4.12	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada CIC-IDS-2017.....	121
Tabel 4.13	Perbandingan Performa ( <i>Single</i> vs Bagging-SDN) pada IDS-2017 ....	122
Tabel 4.14	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada DoHBrw-2020 .....	125
Tabel 4.15	Perbandingan ( <i>Single</i> vs Bagging-SDN) pada DoHBrw-2020 .....	126
Tabel 4.16	Hasil Akurasi dan Presisi berbasis ( <i>Single</i> vs Bagging-SDN) .....	127
Tabel 4.17	Hasil Recall dan F1-Score berbasis ( <i>Single</i> vs Bagging-SDN) .....	127
Tabel 4.18	Hasil Kappa Score dan <i>Testing Time</i> ( <i>Single</i> vs Bagging-SDN) .....	127
Tabel 4.19	Hasil Perbandingan Klasifikasi ( <i>Single</i> vs S-SDN) pada NSL-KDD ..	129
Tabel 4.20	Hasil Perbandingan Klasifikasi ( <i>Single</i> vs S-SDN) pada UNSW-NB15.....	131

Tabel 4.21	Hasil Perbandingan Klasifikasi ( <i>Single vs S-SDN</i> ) pada IDS-2017 ....	133
Tabel 4.22	Hasil Perbandingan Klasifikasi ( <i>Single vs S-SDN</i> ) DoHBrw-2020 ....	135
Tabel 4.23	Hasil Akurasi dan Presisi berbasis ( <i>Single vs S-SDN</i> ) .....	136
Tabel 4.24	Hasil Recall dan F1-Score berbasis ( <i>Single vs S-SDN</i> ) .....	136
Tabel 4.25	Hasil Kappa Score dan <i>Testing Time</i> berbasis ( <i>Single vs S-SDN</i> ) .....	136
Tabel 4.26	Rangkuman Hasil Seleksi Fitur berbasis RFE .....	141
Tabel 4.27	Hasil Perbandingan <i>Single vs</i> (RFE+B-DT) pada NSL-KDD .....	143
Tabel 4.28	Hasil Perbandingan <i>Single vs</i> (RFE+B-DT) pada UNSW-NB15 .....	145
Tabel 4.29	Hasil Perbandingan <i>Single vs</i> (RFE+B-DT) pada CIC-IDS-2017 .....	147
Tabel 4.30	Hasil Perbandingan <i>Single vs</i> (RFE+B-DT) pada DoHBrw-2020 .....	149
Tabel 4.31	Hasil Akurasi dan Presisi berbasis ( <i>Single vs RFE+B-DT</i> ) .....	150
Tabel 4.32	Hasil Recall dan F1-Score berbasis ( <i>Single vs RFE+B-DT</i> ) .....	150
Tabel 4.33	Hasil Kappa Score dan <i>Testing Time</i> berbasis ( <i>Single vs RFE+B-DT</i> )	150
Tabel 4.34	Rangkuman Hasil Seleksi Fitur berbasis RST .....	151
Tabel 4.35	Nama Fitur Terpilih berbasis RST .....	151
Tabel 4.36	Hasil Perbandingan <i>Single vs</i> (RST+B-DT) pada NSL-KDD .....	153
Tabel 4.37	Hasil Perbandingan <i>Single vs</i> (RST+B-DT) pada UNSW-NB15 .....	155
Tabel 4.38	Hasil Perbandingan <i>Single vs</i> (RST+B-DT) pada CIC-IDS-2017 .....	157
Tabel 4.39	Hasil Akurasi dan Presisi berbasis ( <i>Single vs RST+B-DT</i> ) .....	158
Tabel 4.40	Hasil Recall dan F1-Score berbasis ( <i>Single vs RST+B-DT</i> ) .....	158
Tabel 4.41	Hasil Kappa Score dan <i>Testing Time</i> berbasis ( <i>Single vs RST+B-DT</i> )	158
Tabel 4.42	Hasil Perbandingan Performa Model pada NSL-KDD .....	159
Tabel 4.43	Hasil Perbandingan Performa Model pada UNSW-NB15 .....	162
Tabel 4.44	Hasil Perbandingan Performa Model pada CIC-IDS-2017 .....	164
Tabel 4.45	Hasil Perbandingan Performa Model pada DoHBrw-2020 .....	166
Tabel 4.46	Hasil Uji McNemar .....	169
Tabel 5.1	Capaian Publikasi.....	L-1
Tabel 5.2	Dataset yang digunakan pada penelitian ini .....	L-2
Tabel 5.3	Nama Class pada setiap Dataset.....	L-2
Tabel 5.4	Sumber Dataset.....	L-3
Tabel 5.5	Klasterisasi Nama Class Dataset NSL-KDD .....	L-4
Tabel 5.6	Distribusi Class Data Training dan Testing NSL-KDD (Final).....	L-5
Tabel 5.7	Jumlah Data Tiap Class Dataset UNSW-NB15 (Original).....	L-7
Tabel 5.8	Jumlah Data Train dan Test UNSW-NB15 (Final) .....	L-8
Tabel 5.9	Jumlah Data Tiap Class Dataset CIC-IDS-2017 (Original) .....	L-10
Tabel 5.10	Distribusi Data Class Dataset CIC-IDS-2017 (Final) .....	L-10
Tabel 5.11	Jumlah Data Tiap Class Dataset DoHBrw-2020 (Original) .....	L-12
Tabel 5.12	Distribusi Data Class Dataset DoHBrw-2020 (Final).....	L-13
Tabel 5.13	Hasil <i>Pre-Processing</i> Tanpa Seleksi Fitur .....	L-14
Tabel 5.14	Komposisi Dataset Hasil <i>Pre-Processing</i> .....	L-14

Gambar 1.1	Grafik Trafik Anomali Tahun 2020.....	1
Gambar 1.2	Taksonomi Klasifikasi IDS .....	2
Gambar 1.3	Topologi IDS Secara Umum .....	2
Gambar 1.4	Teknik <i>Machine Learning</i> pada IDS .....	4
Gambar 1.5	Diagram <i>Fishbone State-of-the-Art</i> Terkait IDS.....	13
Gambar 2.1	<i>Network Visualization</i> .....	16
Gambar 2.2	Tahapan SLR .....	18
Gambar 2.3	<i>Conducting Review</i> .....	21
Gambar 2.4	Distribusi Publikasi Topik IDS Tahun 2016-2023 .....	23
Gambar 2.5	Nama-Nama Jurnal yang Menerbitkan Artikel dengan Topik IDS .	25
Gambar 2.6	Distribusi Teknik <i>Machine Learning</i> pada IDS .....	26
Gambar 2.7	Distribusi Dataset yang Digunakan pada IDS .....	26
Gambar 2.8	Perbandingan Jumlah <i>Public Dataset</i> dan <i>Private Dataset</i> .....	27
Gambar 2.9	Distribusi <i>Public Dataset</i> dan <i>Private Dataset</i> tahun 2016-2020...	27
Gambar 2.10	Algoritma yang digunakan pada IDS .....	28
Gambar 2.11	Algoritma yang paling sering digunakan pada IDS .....	29
Gambar 2.12	Blok Diagram Cara Kerja IDS berbasis Rule .....	33
Gambar 2.13	Arsitektur SNORT IDS.....	34
Gambar 2.14	Arsitektur NIDS dalam Sebuah Jaringan .....	36
Gambar 2.15	Arsitektur HIDS dalam Sebuah Jaringan .....	37
Gambar 2.16	Arsitektur <i>Hybrid</i> IDS dalam Sebuah Jaringan.....	37
Gambar 2.17	Perbedaan IDS dan IPS Ditinjau dari Penempatannya .....	38
Gambar 2.18	Tahapan <i>Data Mining</i> .....	41
Gambar 2.19	Hirarki Tipe Fitur.....	44
Gambar 2.20	Taksonomi Metode Seleksi Fitur.....	45
Gambar 2.21	Blok Diagram Metode Filter .....	46
Gambar 2.22	Blok Diagram Metode Wrapper.....	46
Gambar 2.23	Ilustrasi Rough Set ( <i>lower</i> dan <i>upper approximation</i> ).....	50
Gambar 2.24	Algoritma pada <i>Machine Learning</i> .....	53
Gambar 2.25	Ilustrasi Hyperplane SVM.....	54
Gambar 2.26	Struktur Umum Algoritma Decision Tree .....	55
Gambar 2.27	<i>Ensemble Learning Methods</i> .....	57
Gambar 2.28	Ilustrasi Cara Kerja Bagging .....	59
Gambar 2.29	Ilustrasi Cara Kerja <i>AdaBoost</i> .....	61
Gambar 2.30	Ilustrasi Cara Kerja <i>Stacking</i> .....	62
Gambar 2.31	Ilustrasi Penerapan <i>Train-Test-Split Validation</i> .....	64
Gambar 2.32	<i>Confusion Matrix Binary Class Classification</i> .....	65
Gambar 2.33	Matrix <i>Kappa Coefficient Multy-Class Classification</i> .....	69
Gambar 2.34	Tabel Contingency.....	71
Gambar 2.35	Tabel Contingency Hasil Eksperimen .....	72

Gambar 2.36	Blok Diagram <i>Framework</i> IG-PCA Ensemble .....	73
Gambar 2.37	Blok Diagram <i>Framework</i> PSOGSARFC .....	74
Gambar 3.1	Lingkup Penelitian .....	77
Gambar 3.2	Tahapan Penelitian .....	78
Gambar 3.3	Topologi NIDS .....	80
Gambar 3.4	Blok Diagram Alur Seleksi Fitur Berbasis RST .....	86
Gambar 3.5	Blok Diagram Perbandingan <i>Framework Existing</i> dan <i>Proposed</i> ...	89
Gambar 3.6	Blok Diagram Proses Pengembangan Model IDS ( <i>Proposed</i> ).....	91
Gambar 3.7	Blok Diagram Bagging-SDN ( <i>Proposed</i> ).....	92
Gambar 3.8	Blok Diagram S-SDN ( <i>Proposed</i> ).....	93
Gambar 3.9	Blok Diagram B-DT ( <i>Proposed</i> ).....	95
Gambar 4.1	<i>Confusion Matrix</i> Hasil <i>Testing Single Classifier</i> .....	97
Gambar 4.2	Perbandingan Performa <i>Single Classifier</i> pada NSL-KDD.....	99
Gambar 4.3	<i>Confusion Matrix</i> Hasil <i>Testing Single Classifier</i> .....	100
Gambar 4.4	Perbandingan Performa <i>Single Classifier</i> pada UNSW-NB15.....	101
Gambar 4.5	<i>Confusion Matrix</i> Hasil <i>Testing Single Classifier</i> .....	102
Gambar 4.6	Perbandingan Performa <i>Single Classifier</i> pada Dataset IDS-2017 .	103
Gambar 4.7	<i>Confusion Matrix</i> Hasil <i>Testing Single Classifier</i> .....	104
Gambar 4.8	Perbandingan Performa <i>Classifier</i> pada Dataset DoHBrw-2020....	106
Gambar 4.9	Perbandingan Nilai Akurasi Tertinggi pada Empat Dataset .....	107
Gambar 4.10	Perbandingan Nilai Presisi Tertinggi pada Empat Dataset.....	108
Gambar 4.11	Perbandingan Nilai Recall Tertinggi pada Empat Dataset .....	108
Gambar 4.12	Perbandingan Nilai F1-Score Tertinggi pada Empat Dataset .....	109
Gambar 4.13	Perbandingan Nilai Kappa-Score Tertinggi pada Empat Dataset ...	109
Gambar 4.14	<i>Confusion Matrix</i> Testing Bagging-SDN .....	112
Gambar 4.15	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada NSL-KDD.....	113
Gambar 4.16	<i>Confusion Matrix</i> Testing Bagging-SDN .....	116
Gambar 4.17	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada UNSW-NB15.....	117
Gambar 4.18	<i>Confusion Matrix</i> Testing Bagging-SDN .....	120
Gambar 4.19	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada CIC-IDS-2017 .....	121
Gambar 4.20	<i>Confusion Matrix</i> Hasil <i>Testing Bagging-SDN</i> .....	124
Gambar 4.21	Perbandingan Performa Bagging-SDN pada DoHBrw-2020 .....	125
Gambar 4.22	Struktur Model S-SDN pada NSL-KDD .....	128
Gambar 4.23	<i>Confusion Matrix</i> Hasil <i>Testing S-SDN</i> pada NSL-KDD.....	128
Gambar 4.24	Perbandingan Akurasi ( <i>Single</i> vs S-SDN) pada NSL-KDD.....	129
Gambar 4.25	Struktur Model S-SDN pada UNSW-NB15 .....	130
Gambar 4.26	<i>Confusion Matrix</i> Testing S-SDN pada UNSW-NB15 .....	130
Gambar 4.27	Perbandingan Akurasi ( <i>Single</i> vs S-SDN) pada UNSW-NB15.....	131
Gambar 4.28	Struktur Model S-SDN pada CIC-IDS-2017.....	132
Gambar 4.29	<i>Confusion Matrix</i> Testing S-SDN pada CIC-IDS-2017 .....	132
Gambar 4.30	Perbandingan Akurasi ( <i>Single</i> vs S-SDN) pada CIC-IDS-2017.....	133
Gambar 4.31	Struktur Model S-SDN pada Dataset DoHBrw-2020.....	134

Gambar 4.32	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> S-SDN pada DoHBrw-2020 .....	134
Gambar 4.33	Perbandingan Akurasi ( <i>Single</i> vs S-SDN) pada IDS-2020 .....	135
Gambar 4.34	Proses Seleksi Fitur Berbasis RFE pada NSL-KDD .....	137
Gambar 4.35	Daftar Fitur Terpilih pada NSL-KDD .....	138
Gambar 4.36	Proses Seleksi Fitur Berbasis RFE pada UNSW-NB15 .....	138
Gambar 4.37	Daftar Fitur Terpilih pada UNSW-NB15 .....	139
Gambar 4.38	Proses Seleksi Fitur Berbasis RFE pada CIC-IDS-2017 .....	139
Gambar 4.39	Daftar Fitur Terpilih pada CIC-IDS-2017 .....	140
Gambar 4.40	Proses Seleksi Fitur Berbasis RFE pada DoHBrw-2020 .....	140
Gambar 4.41	Daftar Fitur Terpilih pada DoHBrw-2020 .....	141
Gambar 4.42	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> (RFE+B-DT) pada NSL-KDD.....	142
Gambar 4.43	Perbandingan <i>Single</i> vs (RFE+B-DT) pada NSL-KDD .....	144
Gambar 4.44	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> (RFE+B-DT) pada UNSW-NB15.	144
Gambar 4.45	Perbandingan <i>Single</i> vs (RFE+B-DT) pada UNSW-NB15 .....	146
Gambar 4.46	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> (RFE+B-DT) pada CIC-IDS-2017	146
Gambar 4.47	Perbandingan <i>Single</i> vs (RFE+B-DT) pada CIC-IDS-2017 .....	148
Gambar 4.48	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> (RFE+B-DT) pada DoHBrw-2020	148
Gambar 4.49	Perbandingan <i>Single</i> vs (RFE+B-DT) pada DoHBrw-2020.....	150
Gambar 4.50	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> (RST+B-DT) pada NSL-KDD.....	152
Gambar 4.51	Perbandingan <i>Single</i> vs (RST+B-DT) pada NSL-KDD .....	153
Gambar 4.52	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> (RST+B-DT) pada UNSW-NB15.	154
Gambar 4.53	Perbandingan <i>Single</i> vs (RST+B-DT) pada UNSW-NB15 .....	155
Gambar 4.54	<i>Confusion Matrix Hasil Testing</i> (RST+B-DT) pada CIC-IDS-2017	156
Gambar 4.55	Perbandingan <i>Single</i> vs (RST+B-DT) pada CIC-IDS-2017 .....	157
Gambar 4.56	<i>Heatmap</i> Performa Model pada NSL-KDD.....	160
Gambar 4.57	Perbandingan Akurasi dan <i>Testing Time</i> pada NSL-KDD .....	161
Gambar 4.58	<i>Heatmap</i> Performa Model pada UNSW-NB15 .....	163
Gambar 4.59	Perbandingan Akurasi dan <i>Testing Time</i> pada UNSW-NB15 .....	163
Gambar 4.60	<i>Heatmap</i> Performa Model pada CIC-IDS-2017.....	165
Gambar 4.61	Perbandingan Akurasi dan <i>Testing Time</i> pada CIC-IDS-2017 .....	165
Gambar 4.62	<i>Heatmap</i> Performa Model pada DoHBrw-2020 .....	167
Gambar 4.63	Perbandingan Akurasi dan <i>Testing Time</i> pada DoHBrw-2020.....	168
Gambar 5.1	Perbandingan Original Dataset Berdasarkan Jumlah Record .....	L-2
Gambar 5.2	Perbandingan Original Dataset Berdasarkan Jumlah Fitur dan Class	L-3
Gambar 5.3	Sequence Dataset NSL-KDD .....	L-4
Gambar 5.4	Nama Fitur dan Tipe Data NSL-KDD .....	L-4
Gambar 5.5	Distribusi Class Dataset NSL-KDD (Training vs Testing) (Final)..	L-5
Gambar 5.6	Sequence Dataset UNSW-NB15 .....	L-6
Gambar 5.7	Daftar Fitur dan Tipe Data UNSW-NB15 .....	L-6
Gambar 5.8	Distribusi Data Class UNSW-NB15 (Original) .....	L-7
Gambar 5.9	Distribusi Data Class Train dan Test UNSW-NB15 (Final) .....	L-8
Gambar 5.10	Sequence Dataset CIC-IDS-2017.....	L-9



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**Ensemble Classifier pada Intrusion Detection System Menggunakan Teknik Bagging-SDN, S-SDN, dan B-DT**

**Berbasis Bagging dan Stacking**

Amarudin, Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM. ; Widyawan, S.T., M.Sc., Ph.D.

Universitas Gadjah Mada, 2024 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Gambar 5.11	Daftar Fitur dan Tipe Data CIC-IDS-2017 .....	L-9
Gambar 5.12	Perbandingan Distribusi Data Class CIC-IDS-2017 (Original).....	L-10
Gambar 5.13	Perbandingan Distribusi Data Class CIC-IDS-2017 (Final).....	L-11
Gambar 5.14	Sequence Dataset CIRA-CIC-DoHBrw2020 .....	L-11
Gambar 5.15	Daftar Fitur dan Tipe Data CIRA-CIC-DoHBrw2020.....	L-12
Gambar 5.16	Distribusi Data Class DoHBrw-2020 (Original) .....	L-13
Gambar 5.17	Distribusi Data Class Train dan Test IDS-2020 (Final) .....	L-13
Gambar 5.18	Perbandingan Dataset Berdasarkan Jumlah <i>Record</i> (Final) .....	L-15
Gambar 5.19	Perbandingan Dataset Berdasarkan Jumlah Fitur dan <i>Class</i> (Final).....	L-15