

**KLASIFIKASI *EMAIL PHISHING* MENGGUNAKAN METODE BERT
DENGAN *TEXT AUGMENTATION***

SKRIPSI



Oleh:

AHMAD ZAINI

NIM. 2010817310001

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARMASIN, DESEMBER 2024**

**KLASIFIKASI *EMAIL PHISHING* MENGGUNAKAN METODE BERT
DENGAN *TEXT AUGMENTATION***

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Sarjana Strata-1 Teknologi Informasi



Oleh:

AHMAD ZAINI

NIM. 2010817310001

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

BANJARMASIN, DESEMBER 2024

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Ahmad Zaini
NIM : 2010817310001
Fakultas : Teknik
Prodi : Teknologi Informasi
Judul Skripsi : Klasifikasi *Email Phishing* menggunakan metode BERT dengan *Text Augmentation*
Pembimbing Utama : Andreyan Rizky Baskara, S.Kom., M.Kom.

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar rujukan.

Banjarmasin, Desember 2024



Ahmad Zaini

NIM. 2010817310001

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI INFORMASI

Klasifikasi *Email Phishing* Menggunakan Metode BERT dengan *Text Augmentation*

Oleh
Ahmad Zaini (2010817310001)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 13 Desember 2024 dan dinyatakan

LULUS

Komite Penguji :
Ketua : Nurul Fathanah Mustamin, S.Pd., M.T
NIP. 199110252019032018
Anggota 1 : Eka Setya Wijaya, S.T., M.Kom
NIP. 198205082008011010
Anggota 2 : Muti'a Maulida, S.Kom., M.T.I
NIP. 198810272019032013
Pembimbing Utama : Andreyan Rizky Baskara, S.Kom., M.Kom
NIP. 199307032019031011


.....

.....

.....

.....

Banjarbaru, 27 DEC 2024

Diketahui dan disahkan oleh:

Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,

Koordinator Program Studi
S-1 Teknologi Informasi,



Dr. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 197401071998021001



Andreyan Rizky Baskara, S.Kom., M.Kom.
NIP. 199307032019031011

LEMBAR PERSETUJUAN

KLASIFIKASI EMAIL PHISHING MENGGUNAKAN METODE BERT DENGAN TEXT AUGMENTATION

OLEH
AHMAD ZAINI
NIM. 2010817310001

Telah diperiksa dan terpenuhi semua persyaratan akademik, administrasi
dan disetujui untuk dipertahankan di hadapan dewan penguji

Banjarmasin, Desember 2024

Pembimbing Utama,



Andreyan Rizky Baskara S.Kom., M.Kom.,
NIP. 199307032019031011

ABSTRAK

Maraknya serangan *phishing* melalui *email* menjadi ancaman serius dalam keamanan siber, mengakibatkan pencurian data pribadi dan kerugian finansial. Identifikasi dan klasifikasi *email phishing* menjadi sangat penting untuk melindungi pengguna dari ancaman tersebut. Diperlukan metode untuk mengklasifikasikan *text email* untuk mengurangi ancaman keamanan digital pada *email*. Dalam penelitian ini, metode *Natural Language Processing* (NLP) menjadi metode berguna untuk melakukan klasifikasi *text email*. *Bidirectional Encoder Representations from Transformers* (BERT) dipilih karena kemampuannya dalam memahami konteks bahasa secara mendalam. Penelitian ini menggunakan *dataset* dari *Kaggle* dan milik Jason Nazario yang terdiri dari 11.1264 *safe email* dan 2.161 *phishing email*, dengan distribusi tidak seimbang antara kelas *phishing* dan *safe email*. Ketidakseimbangan data menjadi masalah dalam penelitian ini karena model klasifikasi BERT cenderung bias terhadap kelas mayoritas, sehingga berpotensi mengabaikan atau salah mengklasifikasikan *email*. Untuk mengatasi ketidakseimbangan data, diterapkan teknik *augmentasi* teks seperti *Easy Data Augmentation* (EDA) *Synonym Replacement*, *Back-Translation*, dan *GPT-2*, yang menghasilkan variasi teks baru. *Dataset* dibagi menjadi data *training*, *validation*, dan *testing* dengan rasio 60:20:20. Setelah dilakukan pengujian pada *data test* sebelum dan sesudah *augmentasi* didapat model BERT dengan *Text Augmentation GPT-2* memberikan hasil terbaik dengan akurasi sebesar 99,75%, F1-score 99,75%, *recall* 99,78%, dan *precision* 99,73%. Selain itu, hasil rata-rata pengujian menggunakan teknik *K-Fold* dengan jumlah 5 *Fold* pada model terbaik menunjukkan akurasi sebesar 99,75%. Hasil evaluasi dari dua *dataset* luar penelitian ini menunjukkan bahwa model terbaik mampu mengklasifikasi *email phishing* dan *safe email* dengan nilai akurasi 80% pada *dataset* pertama dan akurasi 79% pada *dataset* kedua. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan NLP dengan BERT, didukung oleh *text augmentation*, menjadi pendekatan yang efektif dalam klasifikasi *email phishing*.

Kata Kunci: BERT, Klasifikasi *Email Phishing*, *Natural Language Processing* (NLP), *Text Augmentation*

ABSTRACT

The increasing prevalence of phishing attacks via email poses a serious threat to cybersecurity, resulting in personal data theft and financial losses. Identifying and classifying phishing emails is crucial to protect users from such threats. A method for classifying email text is required to mitigate the digital security risks associated with emails. In this study, the Natural Language Processing (NLP) method is utilized as an effective approach for email text classification. Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) was chosen for its ability to deeply understand language context. This research uses datasets from Kaggle and Jason Nazario, comprising 111,264 safe emails and 2,161 phishing emails, with an imbalanced distribution between phishing and safe email classes. Data imbalance is a challenge in this study, as the BERT classification model tends to bias toward the majority class, potentially ignoring or misclassifying emails. To address data imbalance, text augmentation techniques such as Easy Data Augmentation (EDA) Synonym Replacement, Back-Translation, and GPT-2 were applied to generate new text variations. The dataset was divided into training, validation, and testing data with a ratio of 60:20:20. Testing on the dataset before and after augmentation revealed that the BERT model with GPT-2 Text Augmentation produced the best results, achieving 99.75% accuracy, an F1-score of 99.75%, recall of 99.78%, and precision of 99.73%. Moreover, the average testing results using the K-Fold technique with 5 folds on the best model demonstrated an accuracy of 99.75%. Evaluation results on two external datasets showed that the best model could classify phishing and safe emails with 80% accuracy on the first dataset and 79% accuracy on the second dataset. This study demonstrates that applying NLP with BERT, supported by text augmentation, is an effective approach to phishing email classification.

Keyword: BERT, Natural Language Processing (NLP), Phishing Email Classification, Text Augmentation

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibu, Ayah dan Kakak-kakak tercinta yang selalu menjadi penyemangat penulis, yang tiada hentinya selalu memberikan kasih sayang dan do'a, dengan penuh keikhlasan yang tak terhingga kepada penulis. Dan selalu memberikan semangat serta dukungan secara moral dan materi dalam keberlangsungan penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Andreyan Rizky Baskara S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Utama sekaligus Koordinator Program Studi Teknologi Informasi yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan dan dukungan kepada saya dengan penuh kesabaran agar skripsi ini dapat cepat terselesaikan.
3. Ibu Dr. Ir. Yuslena Sari, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis, yang telah bersedia membantu dan memberikan bimbingan terbaik selama masa perkuliahan dengan penuh kesabaran.
4. Annisa Mahfuzhah, Fariz Fadillah, Laily Rachmah, Muhammad Majdi, Muhammad Aulia Akbar, Muhammad Naufal Furqan, Muhammad Fadillah Hassan, Pramudia Fitriana Alvarisqi, Shendy Krisyohanda yang telah membantu dan menemani penulis serta memberikan motivasi dan dukungan selama masa perkuliahan hingga menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen beserta Staf Administrasi Program Studi Teknologi Informasi yang turut mengarahkan dan membantu selama menyelesaikan skripsi.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur tiada henti penulis ucapkan atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Penyayang yang telah memberikan kita berbagai macam nikmat dan rezeki, sehingga semua cita-cita serta harapan yang ingin kita capai menjadi lebih mudah dan bermanfaat untuk orang banyak. Sholawat dan salam tidak lupa penulis sampaikan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa kita ke jalan yang terang benderang. Selain itu, atas limpahan rahmat serta karunia dari Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan Judul “Klasifikasi *Email Phishing* Menggunakan Metode BERT dengan *Text Augmentation*”, skripsi ini membahas tentang klasifikasi *safe email* atau *phishing email* dengan model BERT dan menerapkan *Text Augmentation* untuk mengatasi data tidak seimbang. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar - besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, saran, serta dorongan yang membuat penulis dapat menyelesaikan laporan ini dengan sebaik-baiknya, terutama kepada:

1. Ibu, Ayah, Kakak-kakak tercinta yang telah memberikan motivasi, dukungan moral dan materi, dan senantiasa mendoakan penulis akan keberlangsungan penyelesaian skripsi ini. Ibu tercinta, sosok Wanita terhebat yang selalu mendo'akan, menyayangi penulis. Ayah sosok pria terhebat yang selalu merawat, menyayangi, dan memberikan dukungan material kepada penulis. Kakak perempuan dan laki-laki, sosok terhebat yang selalu memberikan dukungan emosional dan material selama proses pengerjaan skripsi.
2. Bapak Andreyan Rizky Baskara S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Utama sekaligus Koordinator Program Studi Teknologi Informasi yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan dan dukungan kepada saya dengan penuh kesabaran agar skripsi ini dapat cepat terselesaikan.
3. Ibu Dr. Ir. Yuslena Sari, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Akademik penulis, yang telah bersedia membantu dan memberikan bimbingan terbaik selama masa perkuliahan dengan penuh kesabaran.

6. Seluruh teman perjuangan saat perkuliahan dan skripsi Annisa, Akbar, Fariz, Fadil, Laily, Majdi, Naufal, Pram, Shendy dan juga semua teman-teman angkatan 2020 Program Studi Teknologi Informasi, kakak tingkat, dan anggota HMTI periode 2021-2022 yang telah berbagi kebersamaan, suka, duka, dan canda tawa selama perkuliahan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang turut berperan dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Meskipun skripsi ini telah disusun dengan baik berkat banyak bantuan, namun penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis siap menerima saran serta kritikan yang membangun dari semua pihak agar laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat, terutama kepada para pembaca.

Banjarmasin, Desember 2024



Ahmad Zaini

NIM. 2010817310001

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL LUAR.....	i
HALAMAN SAMPUL DALAM	ii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.1.1 Klasifikasi <i>Email Phishing</i> Menggunakan Algoritma <i>K-Nearest Neighbor</i>	7
2.1.2 <i>Phishing Email Detection Model Using Deep Learning</i>	8
2.1.3 <i>Spam Email Detection Using Deep Learning Techniques</i>	8
2.1.4 <i>Spam Detection Using BERT</i>	9
2.1.5 <i>Text Data Augmentation: Towards better detection of spear-phishing emails</i>	10
2.1.6 <i>IndoBERT Based Data Augmentation for Indonesian Text Classification</i>	11
2.1.7 <i>Data Augmentation For Chinese Text Classification Using Back-Translation</i>	12

2.1.8	Penerapan <i>Text Augmentation</i> Untuk Mengatasi Data Yang Tidak Seimbang Pada Klasifikasi Teks Berbahasa Indonesia Studi Kasus: Deteksi Judul <i>Clickbait</i> Dan Komentar <i>Hate Speech</i> Pada Berita <i>Online</i>	13
2.1.9	<i>AugGPT: Leveraging ChatGPT for Text Data Augmentation</i>	13
2.2	Landasan Teori.....	19
2.2.1	<i>Phishing</i>	19
2.2.2	<i>Phishing Detection</i>	19
2.2.3	<i>Natural Language Processing</i>	20
2.2.4	<i>Text Classification</i>	21
2.2.5	<i>Text Data Augmentation</i>	22
2.2.6	<i>Deep Learning</i>	23
2.2.7	<i>Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT)</i>	24
2.2.8	<i>Text Pre-Processing</i>	25
2.2.9	<i>Performance Evaluation Metrics</i>	27
2.3	Kerangka Pemikiran	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		30
3.1	Alat dan Bahan Penelitian	30
3.1.1	Alat Penelitian.....	30
3.1.2	Bahan Penelitian	31
3.2	Alur Penelitian.....	31
3.2.1	Identifikasi Masalah.....	31
3.2.2	Studi Literatur	32
3.2.3	Pengumpulan Data	32
3.2.4	Melakukan Eksperimen	32
3.2.5	Evaluasi Performa	36
3.2.6	Implementasi Hasil	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Pengumpulan Data	39
4.2	<i>Text-Preprocessing</i>	40
4.2.1	<i>Lowercasing</i>	40
4.2.2	<i>Noise Removal</i>	40
4.2.3	<i>Tokenizing</i>	41
4.2.4	<i>Lemmatization</i>	42

4.3	Pembagian Dataset	42
4.4	<i>Text Augmentation</i>	43
4.5	Membangun dan Eksperimen Model	47
4.5.1	Membangun Model.....	47
4.5.2	Eksperimen Model BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>	48
4.5.3	Eksperimen Model BERT dengan EDA (<i>Synonym Replacement</i>) .	52
4.5.4	Eksperimen Model BERT dengan <i>Text Augmentation</i> GPT-2	57
4.5.5	Eksperimen Model BERT dengan <i>Text Augmentation</i> <i>Backtranslation</i>	61
4.6	Hasil Eksperimen	67
4.7	Pengujian Model	68
4.7.1	Pengujian Model BERT	68
4.7.2	Pengujian Model BERT dengan <i>Text Augmentation</i> EDA (<i>Synonym Replacement</i>)	71
4.7.3	Pengujian Model BERT dengan <i>Text Augmentation</i> GPT-2	75
4.7.4	Pengujian Model BERT dengan <i>Text Augmentation</i> <i>BackTranslation</i>	79
4.8	Evaluasi Model Terbaik	84
4.9	Pembahasan	85
4.10	Implementasi Sistem	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA		92
LAMPIRAN.....		98

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data serangan phishing kuartal kedua pada tahun 2023	2
Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terkait	15
Tabel 3.1 Alat Penelitian.....	30
Tabel 4.1 Contoh hasil <i>Lowercasing</i>	40
Tabel 4.2 Contoh hasil <i>Noise Removal</i>	41
Tabel 4.3 Contoh hasil <i>Tokenizing</i>	41
Tabel 4.4 Contoh hasil <i>lemmatization</i>	42
Tabel 4.5 Pembagian data rasio 50:50	43
Tabel 4.6 Pembagian data rasio 60:40	43
Tabel 4.7 Pembagian data rasio 70:30	43
Tabel 4.8 Pembagian data rasio 80:20	43
Tabel 4.9 Contoh Hasil <i>Text Augmentation</i>	45
Tabel 4.10 Jumlah <i>Dataset</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Pada Pembagian Data Rasio 50:50	46
Tabel 4.11 Jumlah <i>Dataset</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Pada Pembagian Data Rasio 60:40	47
Tabel 4.12 Jumlah <i>Dataset</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Pada Pembagian Data Rasio 70:30	47
Tabel 4.13 Jumlah <i>Dataset</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Pada Pembagian Data Rasio 80:20	47
Tabel 4.14 Konfigurasi Model <i>Train</i> BERT.....	47
Tabel 4.15 Hasil Eksperimen Pertama Dengan Model BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>	48
Tabel 4.16 Hasil Eksperimen Kedua Dengan Model BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>	49
Tabel 4.17 Hasil Eksperimen Ketiga Dengan Model BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>	50
Tabel 4.18 Hasil Eksperimen Keempat Dengan Model BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>	51

Tabel 4.19 Hasil Eksperimen Pertama Dengan Model BERT dengan <i>EDA</i> (<i>Synonym Replacement</i>)	52
Tabel 4.20 Hasil Eksperimen Kedua Dengan Model BERT dengan <i>EDA</i> (<i>Synonym Replacement</i>)	54
Tabel 4.21 Hasil Eksperimen Ketiga Dengan Model BERT dengan <i>EDA</i> (<i>Synonym Replacement</i>)	55
Tabel 4.22 Hasil Eksperimen Keempat Dengan Model BERT dengan <i>EDA</i> (<i>Synonym Replacement</i>)	56
Tabel 4.23 Hasil Eksperimen Pertama Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation GPT-2</i>	57
Tabel 4.24 Hasil Eksperimen Kedua Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation GPT-2</i>	58
Tabel 4.25 Hasil Eksperimen Ketiga Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation GPT-2</i>	59
Tabel 4.26 Hasil Eksperimen Keempat Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation GPT-2</i>	60
Tabel 4.27 Hasil Eksperimen Pertama Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation BackTranslation</i>	62
Tabel 4.28 Hasil Eksperimen Kedua Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation BackTranslation</i>	63
Tabel 4.29 Hasil Eksperimen Ketiga Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation BackTranslation</i>	64
Tabel 4.30 Hasil Eksperimen Keempat Dengan Model BERT dengan <i>Text</i> <i>Augmentation BackTranslation</i>	66
Tabel 4.31 Hasil Eksperimen	67
Tabel 4.32 Hasil Pengujian Model BERT	68
Tabel 4.33 Hasil Pengujian <i>K-Fold</i> Pada Model BERT Tanpa <i>Augmentation</i>	69
Tabel 4.34 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>K-Fold</i> Pada Model BERT Tanpa <i>Augmentation</i>	70
Tabel 4.35 Hasil Pengujian Pertama Dengan <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Pada Model BERT + <i>EDA</i> (<i>Synonym Replacement</i>)	71

Tabel 4.36 Hasil Pengujian Kedua Dengan <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Pada Model BERT + <i>EDA (Synonym Replacement)</i>	71
Tabel 4.37 Hasil Pengujian <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Dengan <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>EDA (Synonym Replacement)</i>	72
Tabel 4.38 Hasil Pengujian <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Dengan <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>EDA (Synonym Replacement)</i>	73
Tabel 4.39 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augemntasi</i> Dengan Teknik <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>EDA (Synonym Replacement)</i>	74
Tabel 4.40 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Dengan Teknik <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>EDA (Synonym Replacement)</i>	74
Tabel 4.41 Hasil Pengujian Pertama Dengan <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Pada Model BERT + <i>GPT-2</i>	75
Tabel 4.42 Hasil Pengujian Kedua Dengan <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Pada Model BERT + <i>GPT-2</i>	75
Tabel 4.43 Hasil Pengujian <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Dengan <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>GPT-2</i>	76
Tabel 4.44 Hasil Pengujian <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Dengan <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>GPT-2</i>	77
Tabel 4.45 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Dengan Teknik <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>GPT-2</i>	78
Tabel 4.46 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Dengan Teknik <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>GPT-2</i>	78
Tabel 4.47 Hasil Pengujian Pertama Dengan <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Pada Model BERT + <i>BackTranslation</i>	79
Tabel 4.48 Hasil Pengujian Kedua Dengan <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Pada Model BERT + <i>BackTranslation</i>	80
Tabel 4.49 Hasil Pengujian <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Dengan <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>BackTranslation</i>	81
Tabel 4.50 Hasil Pengujian <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Dengan <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>BackTranslation</i>	82
Tabel 4.51 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Data Test</i> Sebelum <i>Augmentasi</i> Dengan Teknik <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>BackTranslation</i>	82

Tabel 4.52 Hasil Rata-Rata Pengujian <i>Data Test</i> Setelah <i>Augmentasi</i> Dengan Teknik <i>K-Fold</i> Pada Model BERT + <i>BackTranslation</i>	83
Tabel 4.53 Konfigurasi Model Terbaik.....	84
Tabel 4.54 Hasil Klasifikasi Dengan <i>Test Set</i> Pada Model Terbaik	85
Tabel 4.55 Data Yang Diklasifikasikan Salah	85
Tabel 4.56 Hasil Klasifikasi Dengan <i>Dataset</i> Pertama.....	87
Tabel 4.57 Hasil Klasifikasi Dengan <i>Dataset</i> Kedua	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi Url	20
Gambar 2.2 Proses <i>pre-training</i> dan <i>fine-tuning</i> pada model BERT [41].....	25
Gambar 2.3 Kerangka Pemikiran.....	29
Gambar 3.1 Alur Penelitian	31
Gambar 3.2 Tahapan Eksperimen.....	33
Gambar 3.3 Contoh Implementasi Sistem	38
Gambar 4.1 Grafik Eksperimen Pertama (BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	48
Gambar 4.2 Grafik Eksperimen Kedua (BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	49
Gambar 4.3 Grafik Eksperimen Ketiga (BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	50
Gambar 4.4 Grafik Eksperimen Keempat (BERT Tanpa <i>Text Augmentation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	51
Gambar 4.5 Grafik Eksperimen Pertama (BERT dengan <i>EDA (synonym replacement)</i>) (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	53
Gambar 4.6 Grafik Eksperimen Kedua (BERT dengan <i>EDA (synonym replacement)</i>), (a) grafik <i>loss</i> , (b) grafik <i>accuracy</i>	54
Gambar 4.7 Grafik Eksperimen Ketiga (BERT dengan <i>EDA (synonym replacement)</i>), (a) grafik <i>loss</i> , (b) grafik <i>accuracy</i>	55
Gambar 4.8 Grafik Eksperimen Keempat (BERT dengan <i>EDA (synonym replacement)</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	56
Gambar 4.9 Grafik Eksperimen Pertama (BERT dengan <i>Text Augmentation GPT-2</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	57
Gambar 4.10 Grafik Eksperimen Kedua (BERT dengan <i>Text Augmentation GPT-2</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	59
Gambar 4.11 Grafik Eksperimen Ketiga (BERT dengan <i>Text Augmentation GPT-2</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	60
Gambar 4.12 Grafik Eksperimen Keempat (BERT dengan <i>Text Augmentation GPT-2</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	61

Gambar 4.13 Grafik Eksperimen Pertama (BERT dengan <i>Text Augmentation Backtranslation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	62
Gambar 4.14 Grafik Eksperimen Kedua (BERT dengan <i>Text Augmentation Backtranslation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	63
Gambar 4.15 Grafik Eksperimen Ketiga (BERT dengan <i>Text Augmentation Backtranslation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	65
Gambar 4.16 Grafik Eksperimen Keempat (BERT dengan <i>Text Augmentation Backtranslation</i>), (a) grafik <i>loss</i> (b) grafik <i>accuracy</i>	66
Gambar 4.17 <i>Confusion Matrix</i> Performa Terbaik Pada Model BERT Tanpa <i>Augmentation</i> Pada Pengujian <i>K-Fold</i>	70
Gambar 4.18 <i>Confusion Matrix</i> Performa Terbaik Pada Model BERT Dengan <i>Text Augmentation EDA (Synonym Replacement)</i> Pada Pengujian <i>K-Fold</i>	75
Gambar 4.19 <i>Confusion Matrix</i> Performa Terbaik Pada Model BERT Dengan <i>Text Augmentation GPT-2</i> Pada Pengujian <i>K-Fold</i>	79
Gambar 4.20 <i>Confusion Matrix</i> Performa Terbaik Pada Model BERT Dengan <i>Text Augmentation BackTranslation</i> Pada Pengujian <i>K-Fold</i>	83
Gambar 4.21 <i>Confussion Matrix</i> Model Terbaik.....	84
Gambar 4.22 <i>Confussion Matrix</i> Evaluasi Model <i>Dataset</i> Pertama	86
Gambar 4.23 <i>Confussion Matrix</i> Evaluasi Model <i>Dataset</i> Kedua.....	87
Gambar 4.24 Tampilan Antarmuka Sistem.....	89
Gambar 4.25 Contoh Masukkan Yang Berupa <i>Safe Email</i>	89
Gambar 4.26 Contoh Masukkan Yang Berupa <i>Phishing Email</i>	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode Mengambil <i>filetype</i> 'text/plain' dari .mbox	98
Lampiran 2. Kode Menggabungkan <i>Dataset</i>	99
Lampiran 3. Kode <i>Text Pre-Processing Dataset</i>	100
Lampiran 4. Kode Pembagian <i>Dataset</i>	103
Lampiran 5. Kode <i>Text Augmentation GPT-2</i>	104
Lampiran 6. Kode <i>Text Augmentation EDA (Synonym Replacement)</i>	108
Lampiran 7. Kode <i>Text Augmentation BackTranslation</i>	110
Lampiran 8. Kode Pengujian Menggunakan Teknik <i>K-Fold</i>	113
Lampiran 9. Lembar Konsultasi	117