

Klasifikasi 17 Kategori SDG pada Judul Berita Berbahasa Indonesia Menggunakan Algoritma IndoBERT

Nabhan Nabilah, Gustian, M. Tegar Radiansyah, Cindy Pramudita, Ibnu Raihan
Universitas Negeri Semarang

Abstrak

Artikel ini membahas penerapan algoritma IndoBERT (*Indonesian Bidirectional Encoder Representations from Transformers*) dalam klasifikasi judul berita berbahasa Indonesia ke dalam 17 kategori yang terkait dengan *Sustainable Development Goals* (SDG). Fokus utama penelitian ini adalah eksplorasi model IndoBERT untuk klasifikasi judul berita dalam memahami konteks dan merepresentasikan kalimat secara holistik pada 17 tujuan SDG. Eksperimen dilakukan pada kumpulan data judul berita berbahasa Indonesia yang mencakup beragam topik terkait SDG. Data didapat dari dua sumber, yaitu sumber eksternal yang sudah memiliki label dan *crawling* periode tahun 2021 hingga 2022 sebanyak 117.934 *row*. Hasil *crawling* dilakukan *clustering* menggunakan *k-means* untuk pelabelan data. Desain eksperimen untuk menentukan model klasifikasi dilakukan dengan menyusun 8 skenario pada kombinasi variasi *batch size*, *learning rate*, dan *pooling layer*. Dilakukan modifikasi pada tahap tuning parameter dengan menyematkan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) dan menghasilkan peningkatan akurasi 15%. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa algoritma IndoBERT mampu memberikan tingkat akurasi yang signifikan sebesar 89% dengan *average pooling layer* pada *batch size* 64 dan *learning rate* sebesar $2e-5$. Penelitian ini memberikan wawasan tentang potensi penggunaan teknologi pemrosesan bahasa alami, khususnya algoritma IndoBERT, dalam mendukung pemahaman dan pemantauan kemajuan terkait SDG di media berbahasa Indonesia.

Kata Kunci: SDG, IndoBERT, klasifikasi teks, pemrosesan bahasa alami.

Pendahuluan

Latar Belakang

Sejak abad ke-20, tujuan pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDG) telah diusulkan sebagai strategi alternatif untuk mencegah penipisan dan krisis sumber daya (Meadows & Meadows, 2007). Pembangunan berkelanjutan memerlukan upaya bersama dari masyarakat sipil global, termasuk perubahan dalam proses pembangunan ekonomi, pembuatan kebijakan dan yang paling penting upaya untuk memenuhi meningkatnya permintaan akan tanggung jawab sosial perusahaan dan tanggung jawab lingkungan.

Laporan manajemen keberlanjutan perusahaan adalah metode komunikasi resmi untuk mengumumkan bagaimana perusahaan telah berkontribusi terhadap pembangunan berkelanjutan berdasarkan tujuan SDG Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB), yang menjadi agenda global (United

Nations Department of Economic and Social Affairs, 2015). Penting untuk membandingkan SDG yang dimiliki oleh agen tertentu dengan SDG PBB (sebagai kode etik internasional) untuk menentukan arah jangka panjang para pemangku kepentingan yang bertanggung jawab terhadap pembangunan berkelanjutan. SDG merupakan kerangka keberlanjutan yang populer bagi dunia usaha, pemerintah, dan masyarakat sipil. Hal tersebut berfungsi sebagai dasar untuk menetapkan visi manajemen keberlanjutan perusahaan.

Perkembangan teknologi pemrosesan bahasa alami telah menjadi tonggak penting dalam menghadapi tantangan analisis besar data teks dalam konteks berbahasa Indonesia. Salah satu algoritma yang menonjol dalam konteks ini adalah IndoBERT (*Indonesian Bidirectional Encoder Representations from Transformers*). Artikel ini membahas penerapan IndoBERT dalam suatu riset yang fokus pada klasifikasi judul berita berbahasa Indonesia ke dalam 17 kategori terkait *Sustainable Development Goals* (SDG).

SDG yang diusung oleh PBB menandakan komitmen global untuk mencapai perkembangan berkelanjutan. Dalam upaya memahami bagaimana media berbahasa Indonesia mencerminkan aspek-aspek yang terkait dengan SDG, penelitian ini mengeksplorasi potensi model IndoBERT untuk klasifikasi judul berita. Fokus utama penelitian ini terletak pada kemampuan model dalam memahami konteks dan merepresentasikan kalimat secara holistik pada masing-masing dari 17 tujuan SDG. Artikel ini bukan hanya memberikan kontribusi pada pemahaman potensi IndoBERT dalam konteks klasifikasi berita berbahasa Indonesia, tetapi juga memberikan wawasan tentang potensi penggunaan teknologi pemrosesan bahasa alami untuk mendukung pemantauan dan pemahaman kemajuan terkait SDG di media berbahasa Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini menjadi langkah signifikan dalam mendekatkan teknologi dan pembangunan berkelanjutan di konteks linguistik yang khusus.

Permasalahan Penelitian

Permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana implementasi klasifikasi *multiclass* pada teks judul berita *online* menggunakan algoritma IndoBERT dan penentuan skenario untuk mendapatkan model terbaik untuk melakukan prediksi 17 kategori SDG?
2. Bagaimana evaluasi *hyperparameter* yang memengaruhi performa model secara signifikan untuk melakukan prediksi 17 kategori SDG?
3. Bagaimana hasil akurasi validasi dan prediksi model IndoBERT untuk klasifikasi 17 kategori SDG?

Manfaat dan Urgensi Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengembangkan alat analisis klasifikasi sehingga dapat digunakan untuk mengklasifikasi judul berita *online* ke dalam pengelompokan 17 kategori SDG.
2. Untuk mengembangkan model terbaik melalui eksperimen menggunakan model klasifikasi IndoBERT dalam pengelompokan 17 kategori SDG.
3. Untuk dapat melakukan prediksi terhadap perkembangan isu berita *online* terkait dengan progress tujuan pembangunan berkelanjutan bagi masyarakat, pemerintah, dan pengambil kebijakan. Fokus penelitian pada klasifikasi judul berita berdasarkan 17 kategori SDG menciptakan relevansi langsung dengan isu-isu pembangunan berkelanjutan. Hal ini memungkinkan pemahaman lebih baik tentang bagaimana media berbahasa Indonesia mencerminkan dan melibatkan diri dalam isu-isu SDG.

Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah judul berita pada situs berita *online* utama di Indonesia, detik.com periode tahun 2021 hingga 2022. Data tahun 2021 diperoleh dari Nugroho (2020) eksternal, sementara data tahun 2022 diperoleh melalui proses *crawling*.
2. Dalam penelitian ini, model yang dikembangkan tidak mencapai tahap implementasi sebagai *endpoint* dengan antarmuka pengguna, melainkan berupa pengembangan model terlatih yang dapat diimplementasikan untuk melakukan prediksi.

Kajian yang Relevan

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan

Tujuan pembangunan berkelanjutan berorientasi pada kemampuan untuk memenuhi kebutuhan generasi saat ini dan juga memenuhi kebutuhan generasi yang akan datang (Kuhlman & Farrington, 2010). Konsep keberlanjutan pertama kali muncul ketika berkurangnya sumber daya alam secara signifikan menjadi isu global. Ketika kekurangan sumber daya menyebabkan masalah ekonomi dan lingkungan, berbagai penelitian multidisiplin termasuk di bidang ekonomi, telah dilakukan (Wilderer, 2007). Sebagai pendekatan deklaratif dan praktis terhadap gerakan keberlanjutan, SDG pertama kali diusulkan pada KTT PBB 2015 di New York untuk memberikan rencana aksi dan pedoman bagi masa depan dunia pada tahun 2030. SDG terdiri dari 17 tujuan untuk menyelesaikan masalah lingkungan, sosial, dan ekonomi (Gupta & Vegelin, 2016). Karena masing-masing dari 17 target terdiri dari indikator-indikator yang dapat diukur, maka target-target tersebut dapat dengan mudah dimodifikasi dan diterapkan pada kondisi regional atau nasional (Meschede, 2020). Dengan demikian, SDG telah digunakan secara luas sebagai misi kewarganegaraan secara global.

SDG menekankan upaya kerja sama dari tiga sektor, yaitu: bisnis, pemerintah, dan masyarakat sipil. Analisis survei Salvia dkk., (2019) tentang tren penelitian SDG mengungkapkan bahwa banyak penelitian tentang SDG 4, 11, 13, dan 15 telah dilakukan di Amerika Serikat dan Asia. Namun, penelitian di Eropa cenderung lebih fokus pada TPB 4, 11, dan 12. Aspek sosial dari SDG 4 dan 11 merupakan hal yang umum di banyak negara. Analisis terhadap sekitar 2.000 artikel tentang pembangunan berkelanjutan lebih lanjut mengungkapkan bahwa “pembangunan perkotaan berkelanjutan”, “pengelolaan air”, “penilaian lingkungan”, dan “kebijakan publik” merupakan kata kunci populer yang digunakan oleh media besar di seluruh dunia, sementara kata kunci yang umum digunakan dalam literatur TPB adalah “negara berkembang”, “pelibatan”, “pelaporan”, “kebijakan”, dan “pendidikan” (Caputo dkk., 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, tren penelitian SDG berfokus pada sektor bisnis, termasuk peran perusahaan, penciptaan ide inovatif, produk/layanan, dan dampak pemangku kepentingan (Cordova & Celone, 2019). SDG memiliki dampak besar pada transformasi perusahaan dari model bisnis tradisional ke model bisnis yang inovatif.

Data Mining untuk Analisis Teks

Analisis penambangan teks adalah metode untuk secara otomatis mengekstraksi informasi tersembunyi dari sejumlah besar data. Fungsi inti dari penambangan teks adalah untuk mengekstrak fakta yang bermakna dari data dalam jumlah besar dan membuat hipotesis dengan menghubungkan informasi yang diekstraksi secara efektif (Gaikwad dkk., 2014; Inzalkar & Sharma, 2015). Studi tentang pemodelan dan analisis data tidak terstruktur telah meningkat, sehingga mempercepat pengembangan alat baru untuk menangani dokumen tidak terstruktur.

Selama beberapa tahun terakhir, berbagai teknik text mining telah aktif digunakan dalam penelitian SDG. Sebestyén dkk., (2020) melakukan analisis komparatif tinjauan nasional terhadap pembangunan berkelanjutan dengan menggunakan n-gram, analisis jaringan, dan pendekatan clustering. Dengan menerapkan beberapa teknik penambahan teks, mereka bertujuan untuk mengidentifikasi tema spesifik dari strategi berkelanjutan di setiap negara dan kelompok negara yang menghadapi masalah serupa. Tema dan kesenjangan penelitian, khususnya dalam SDG 6, telah diidentifikasi menggunakan jaringan kerja sama, jaringan tema, dan analisis kluster. Saat ini terdapat kerangka konseptual SDG 6 dan klasifikasi hubungan antara lingkungan, ekonomi, dan masyarakat (Roy dkk., 2022).

Polychronopoulos dkk., (2021) menggunakan analisis pemodelan topik alokasi Dirichlet (LDA) laten untuk memperoleh wawasan tentang keterlibatan wirausaha dalam SDG. Dalam pemodelan topik, keseluruhan dataset dianalisis dengan menyimpulkan karakteristik setiap topik berdasarkan hasil ekstraksi kata kunci (Alghamdi & Alfalqi, 2015). Term Frequency - Inverse Document Frequency (TF-IDF) banyak digunakan dalam analisis penambahan teks sebagai alat untuk menguji relevansi kata. Aiba dkk. (2020) menggunakan algoritma TF-IDF sebagai latar belakang metode penilaian ESG yang mereka sarankan, dan Taleb dkk. (2020) menggunakannya untuk membandingkan secara langsung nilai-nilai ESG dan SDG.

Klasifikasi Teks dengan IndoBERT

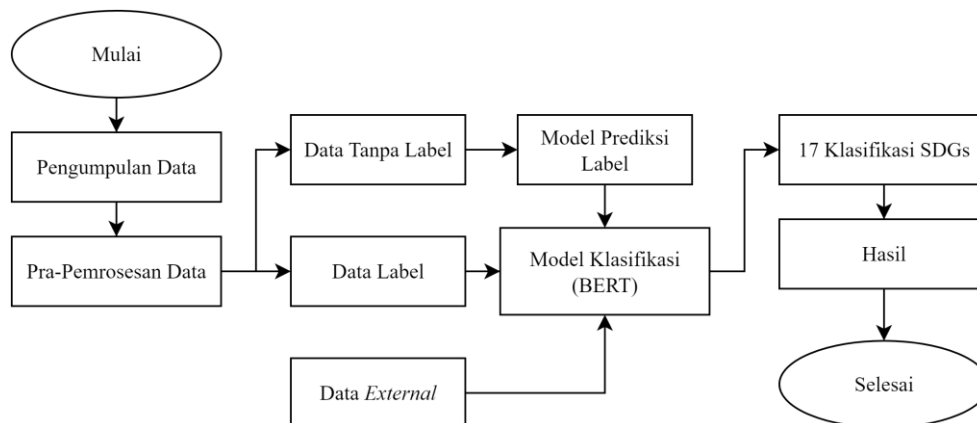
Bidirectional encoder representations from transformers (BERT) pertama kali diperkenalkan pada tahun 2018 oleh tim peneliti yang dipimpin oleh Devlin dari Google AI Language. Sesuai dengan namanya, BERT menggunakan Transformer, suatu mekanisme yang mempelajari hubungan kontekstual antara kata-kata dalam teks dengan memanfaatkan mekanisme pertahanan diri (*self-attention*) (Vaswani dkk., 2017). Mekanisme *self-attention* memungkinkan input untuk berinteraksi satu sama lain (*self*) dan menentukan siapa yang perlu mendapatkan perhatian lebih (*attention*). Representasi urutan kata dalam suatu kalimat dihitung dengan menghubungkan kata-kata yang berbeda dalam urutan yang sama menggunakan mekanisme encoder dan decoder. BERT berarsitektur transformer, yakni arsitektur jaringan syaraf tiruan yang besar dengan jumlah parameter yang sangat banyak, yang dapat berkisar dari 100 juta hingga lebih dari 300 juta. Beberapa hasil penelitian terbaru telah mempelajari lebih lanjut dan meningkatkan tujuan dan arsitektur BERT dan menggunakannya untuk tujuan yang berbeda. Beberapa hasil penelitian diantaranya menerapkan pada klasifikasi teks (Devlin dkk., 2019).

IndoBERT mewakili terobosan terkini dalam menganalisis teks dengan menggunakan bahasa Indonesia (Juarto & Yulianto, 2023). Arsitektur yang dibangun menggunakan model transformer pada BERT, yang pada umumnya diarahkan untuk bahasa Inggris. Sama seperti BERT, metode ini memanfaatkan 12 *hidden layers* di mana setiap *hidden layer* memiliki batasan pada dimensi 786, dan menggunakan 12 *attention head*. IndoBERT dikembangkan dengan memanfaatkan kosakata bahasa Indonesia yang luas, mencakup lebih dari 222 juta kata. Sumber kosakata berasal dari berbagai sumber berbahasa Indonesia yang bermutu, seperti koran-koran *online*, Indonesian Web Corpus, dan sumber-sumber lainnya. Proses *pre-training* IndoBERT melibatkan 2,4 juta langkah atau setara dengan 180 epoch, memerlukan waktu pelatihan selama dua bulan. Hasilnya, IndoBERT menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam berbagai tugas *Natural Language Processing* (NLP). Saat diuji pada dataset IndoLEM, IndoBERT mengungguli MalayBERT dengan hasil yang lebih baik (Juarto & Yulianto, 2023).

Metode Penelitian

Deskripsi Umum Model

Dalam konteks penelitian ini, kami mengusulkan pengembangan model klasifikasi teks berbasis *multiclass classification* untuk melakukan analisis terhadap data judul berita. Setiap judul berita telah diberikan label mulai dari SDG0 hingga SDG17, di mana SDG0 mencakup kategori judul berita yang tidak relevan dengan *Sustainable Development Goals* (SDG), sementara SDG1-17 merepresentasikan 17 goal SDG. Pendekatan menggabungkan model pre-trained IndoBERT dengan salah satu arsitektur *Recurrent Neural Network* (RNN), yakni *Long Short-Term Memory* (LSTM). Proses pengembangan model melibatkan beberapa langkah utama, termasuk pembuatan dataset, text preprocessing, pembuatan arsitektur model, pelatihan, dan evaluasi model. Model yang dikembangkan akan dibandingkan performanya dengan baseline model yang telah di *fine-tuned* menggunakan IndoBERT. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pemahaman klasifikasi teks berbasis SDG dalam konteks judul berita, dengan potensi penerapan yang luas dalam analisis berita untuk mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.



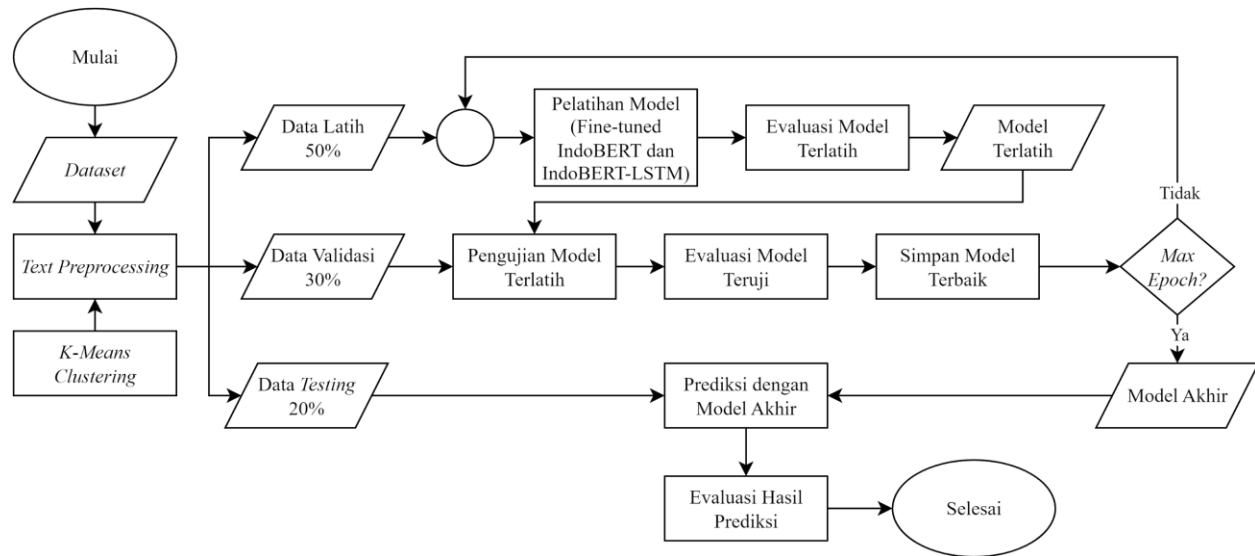
Dataset

Dalam tahap pengumpulan data (*crawling*), data diperoleh dari dataset bulan November tahun 2021 yang merupakan hasil dari penelitian sebelumnya dengan jumlah data sebesar 4.806 judul berita yang telah dilabeli Nugroho (2020). Selanjutnya, sumber data diperluas melibatkan platform berita detik.com selama rentang waktu tahun 2022, dimulai dari bulan Januari hingga Desember. Proses pengambilan data ini menggunakan metode *web scraping* dengan menggunakan *library* python BeautifulSoup versi ke-4 Nugroho (2020). Dalam implementasinya, pendekatan ini melibatkan ekstraksi judul berita secara terstruktur melalui penelusuran (*parsing*) struktur dokumen HTML atau XML dari detik.com yang memungkinkan untuk mengekstrak data dengan cara yang sistematis dan terorganisir. Setelah melakukan pengambilan data (*crawling*) pada platform detik.com, ditemukan sebanyak 113.128 judul berita dari bulan Januari hingga Desember pada tahun 2022 sebagai hasil dari proses pengambilan data tersebut.

Pengelompokan dan *labeling* data yang telah dikumpulkan dilakukan melalui penerapan model *k-means clustering*, sebagaimana dibahas dalam Zhou dkk. (2014), disebutkan bahwa *k-means clustering* adalah suatu teknik analisis data atau metode penambangan data yang melibatkan proses pemodelan tanpa *supervisi* (*unsupervised*) dan termasuk dalam kategori metode yang mempartisi pengelompokan data. Metode *k-means clustering* berusaha mengelompokkan data dalam beberapa karakteristik yang sama satu sama lainnya dan memiliki karakteristik yang berbeda dengan data dari kelompok lainnya.

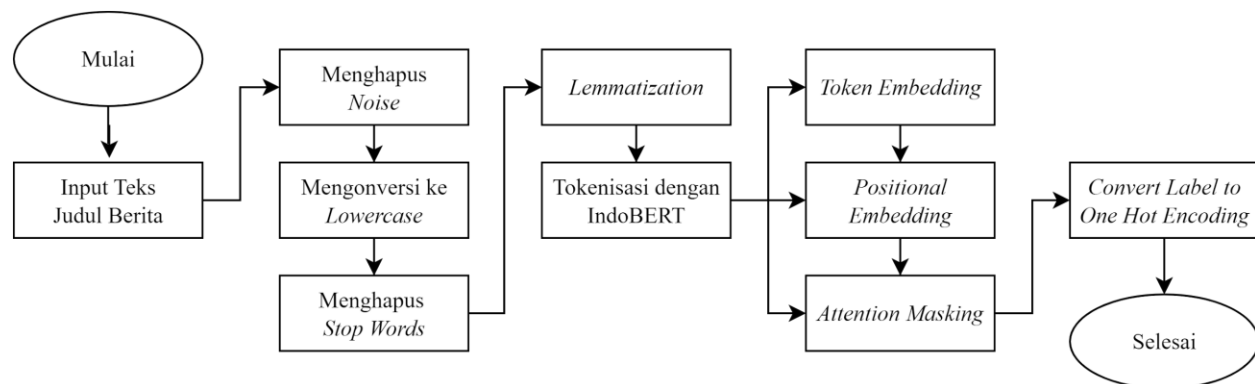
Rancangan Model Klasifikasi Teks

Dalam penelitian ini, kami mengusulkan sebuah model klasifikasi teks yang disebut IndoBERT-LSTM untuk menangani tugas klasifikasi judul berita berbahasa Indonesia. Model ini dikembangkan oleh Putra dkk. (2022) dan kami mengadopsi pendekatan yang serupa dengan memadukan keunggulan IndoBERT dan LSTM. Secara keseluruhan, alur rancangan model klasifikasi teks akan terlihat seperti berikut:



Text Preprocessing

Setelah dataset didapatkan, selanjutnya dilakukan *preprocessing* pada dataset. *Text preprocessing* menjadi tahap kritis dalam mempersiapkan data, dimana tujuannya adalah membersihkan *noise* dan menghilangkan fitur yang tidak relevan agar data teks menjadi lebih terstruktur dan siap digunakan pada proses analisis berikutnya. Perlu dicatat bahwa proses *text preprocessing* untuk model BERT memiliki perbedaan signifikan dengan model *word embedding* lainnya. Hal ini disebabkan oleh penggunaan metode *WordPiece tokenizer* dan kebutuhan untuk membuat representasi input yang sesuai dengan format yang dapat diterima oleh model BERT. Secara umum, tahapan *text preprocessing* melibatkan serangkaian langkah untuk memastikan data teks siap digunakan dan optimal dalam konteks model BERT.



Hasil dan Pembahasan

Crawling Dataset

K-means clustering dilakukan pada data judul berita tahun 2022 yang diperoleh dari *web scraping* pada setiap judul berita yang telah diperoleh. Berikut tahapan-tahapan kunci dalam pelaksanaan metode *k-means clustering*.

1. Menentukan nilai *k* yang menyatakan banyak *cluster* yang akan dibentuk. Dalam penelitian ini digunakan 18 *cluster*.
2. Menginisialisasi *k* sebagai *centroid* yang dihasilkan dari data tahun 2021 yang telah diberi label.
3. Menghitung jarak antara setiap data dan setiap *centroid* menggunakan persamaan *Euclidean Distance*.
4. Mengelompokkan setiap data berdasarkan jarak terdekat antara data dan *centroid*.
5. Menentukan posisi *centroid* baru (*k*).
6. Kembali ke langkah ke-3 apabila posisi *centroid* baru tidak sama dengan posisi *centroid* sebelumnya.

Hasil Klasifikasi *Multiclass* Dengan IndoBERT

Proses pelatihan model IndoBERT dilakukan sesuai dengan skenario pelatihan yang telah dirancang sebelumnya. Terdapat 8 skenario pelatihan yang merupakan kombinasi dari 3 *hyperparameter* yang di-*tuning* yaitu *batch size* sebesar 16 dan 32, *learning rate* sebesar $2e-5$ dan $2e-3$, serta *pooling layer* menggunakan *average pooling* dan *max pooling*. Hal ini dilakukan untuk menguji pengaruh dari setiap *hyperparameter* tersebut dalam menghasilkan model BERT terbaik.

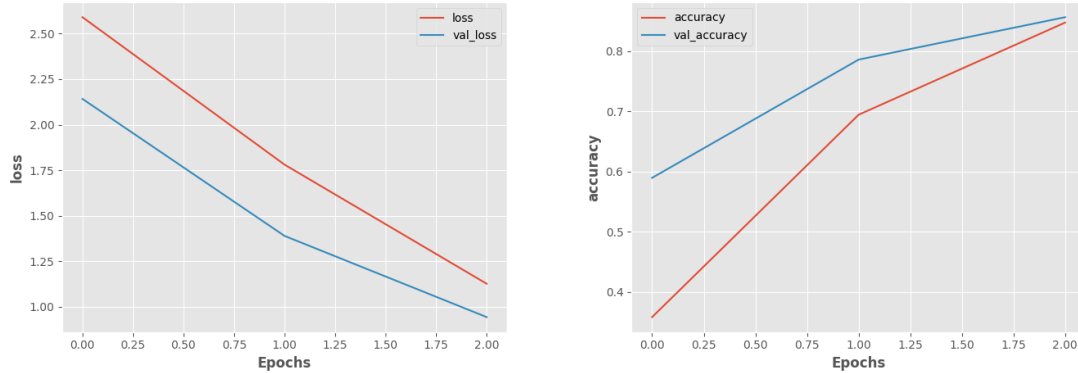
	Batch Size	Learning Rate	Pooling Layer	Accuracy	Val Accuracy
0	32	0.00002	average	0.893642	0.862428
1	32	0.00002	max	0.963006	0.887861
2	32	0.00005	average	0.965607	0.842775
3	32	0.00005	max	0.971965	0.857803
4	64	0.00002	average	0.995376	0.891329
5	64	0.00002	max	0.996821	0.889017
6	64	0.00005	average	0.985260	0.882081
7	64	0.00005	max	0.988150	0.862428

Pada skenario pelatihan awal menggunakan *fine-tuned* IndoBERT nilai akurasi pada data validasi hanya mencapai berkisar 70%. Oleh karena itu dilakukan modifikasi dengan menambahkan *layer* LSTM seperti dilakukan oleh Putra dkk. (2022) dan diperoleh peningkatan akurasi sekitar 15% menjadi rata-rata 87,197%. Dalam skenario keempat IndoBERT-LSTM dengan *batch size* 64, *learning rate* $2e-5$, dan menggunakan metode *pooling average*, model menunjukkan performa yang sangat baik dengan akurasi mencapai 89%. Perbandingan dengan skenario lainnya mengungkapkan bahwa skenario keempat ini mencapai akurasi tertinggi

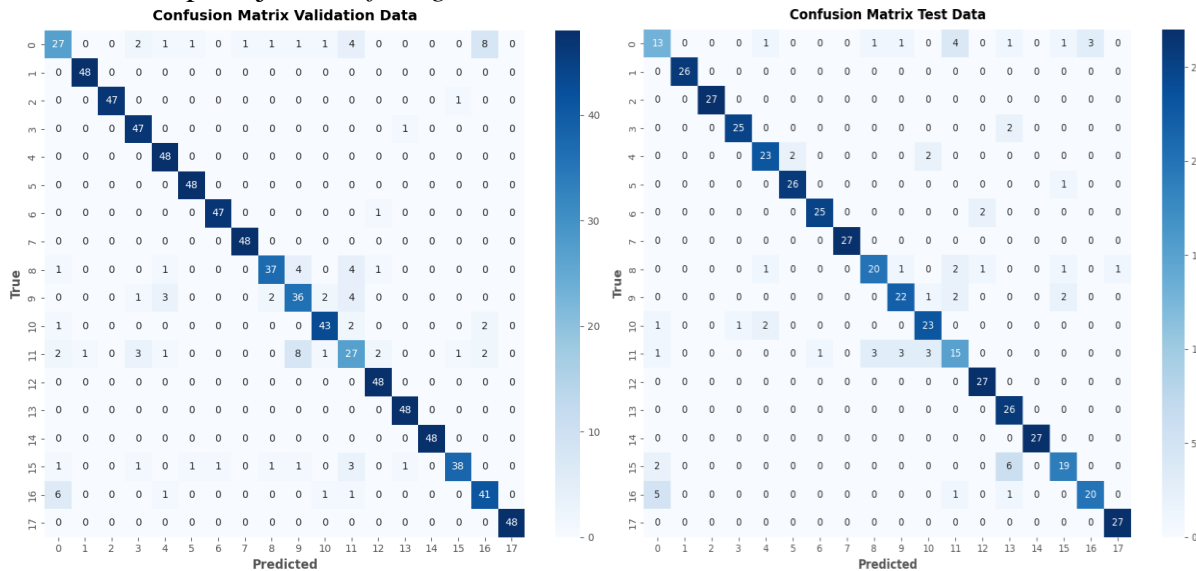
dibandingkan dengan kombinasi *batch size* dan *learning rate* lainnya. Skenario ini menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam akurasi baik pada data pelatihan maupun data validasi.

Dalam perbandingan, skenario keenam dengan *batch size* 64 dan *learning rate* 5e-5, meskipun memiliki akurasi tinggi pada data pelatihan (98.5%), namun menunjukkan kinerja yang sedikit lebih rendah pada data validasi (88.2%). Begitu juga dengan skenario kedelapan dengan *batch size* 64, *learning rate* 5e-5, dan metode *pooling max* yang meskipun memiliki akurasi yang baik pada data pelatihan (98.8%), menunjukkan penurunan pada data validasi (86.2%).

Secara keseluruhan, skenario keempat dengan *batch size* 64, *learning rate* 0.00002, dan metode *pooling average* dapat dianggap sebagai pilihan terbaik berdasarkan akurasi yang konsisten dan tinggi pada kedua set data pelatihan dan validasi.



Dalam pelatihan model IndoBERT-LSTM dengan skenario terbaik, pencapaian puncak akurasi terjadi pada epoch ke-3. Pemilihan jumlah maksimum epoch sebanyak 3 dilakukan dengan pertimbangan untuk menghindari *overfitting*, khususnya karena model menggunakan pendekatan BERT dan ukuran dataset yang relatif kecil. Pada epoch ke-3, terlihat bahwa *train accuracy* dan *validation accuracy* sudah berdekatan, menunjukkan bahwa model telah mencapai keseimbangan yang baik antara pembelajaran pada data pelatihan dan kemampuan generalisasi pada data validasi. Hal ini mengindikasikan kesuksesan model dalam menangani dataset dengan ukuran yang tidak terlalu besar tanpa terjadi *overfitting*.



Model yang telah dilatih dengan IndoBERT-LSTM menunjukkan kinerja yang baik pada data validasi, dengan nilai presisi rata-rata (*macro-average*), *recall*, dan F1-Score sebesar 89%.

Pada data uji, model tetap mempertahankan kinerja baik dengan presisi rata-rata, recall, dan F1-Score sebesar 87%, menunjukkan efektivitas model dalam mengklasifikasikan dataset uji.

Kesimpulan

Penelitian ini membahas penerapan model klasifikasi teks berbasis *multiclass classification* menggunakan algoritma IndoBERT pada judul berita berbahasa Indonesia dengan kesimpulan sebagai berikut.

1. Model klasifikasi teks IndoBERT menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengklasifikasikan judul berita ke dalam 17 kategori terkait *Sustainable Development Goals* (SDG). Performa tertinggi dicapai pada skenario pelatihan keempat dengan *batch size* 64, *learning rate* 2e-5, dan metode *pooling average*, menghasilkan akurasi sebesar 89%.
2. Pemilihan *hyperparameter* seperti *batch size*, *learning rate*, dan metode *pooling* memengaruhi performa model secara signifikan. Skenario pelatihan keempat dengan kombinasi *hyperparameter* tertentu menunjukkan konsistensi dan akurasi tinggi pada kedua set data pelatihan dan validasi.
3. Model yang telah dilatih dengan IndoBERT-LSTM menunjukkan efektivitas yang baik pada data validasi, dengan nilai presisi rata-rata, recall, dan F1-Score sebesar 89%. Meskipun terdapat penurunan performa pada data uji, model ini masih berhasil mempertahankan kinerja yang baik dengan presisi rata-rata, *recall*, dan F1-Score sebesar 87%.

Referensi

- Aiba, Y., Ito, T., & Ibe, Y. (2020). Network Structure in ESG Ratings Suggests New Corporate Strategies: Evolving AI Technology to Quantify Qualitative Data. *Security Analysts Journal*, 16, 3–15.
- Alghamdi, R., & Alfalqi, K. (2015). A Survey of Topic Modeling in Text Mining. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (Ijacs)*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2015.060121>
- Caputo, F., Ligorio, L., & Pizzi, S. (2021). The Contribution of Higher Education Institutions to the SDGs—An Evaluation of Sustainability Reporting Practices. *Administrative Sciences*, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/admsci11030097>
- Cordova, M. F., & Celone, A. (2019). SDGs and Innovation in the Business Context Literature Review. *Sustainability*, 11(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/su11247043>
- Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. (2019). BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Dalam J. Burstein, C. Doran, & T. Solorio (Ed.), *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)* (hlm. 4171–4186). Association for Computational Linguistics. <https://doi.org/10.18653/v1/N19-1423>
- Gaikwad, S. V., Chaugule, A., & Patil, P. (2014). Text Mining Methods and Techniques. *International Journal of Computer Applications*, 85(17), 42–45. <https://doi.org/10.5120/14937-3507>
- Gupta, J., & Vegelin, C. (2016). Sustainable development goals and inclusive development. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 16(3), 433–448. <https://doi.org/10.1007/s10784-016-9323-z>
- Inzalkar, S. M., & Sharma, J. (2015). A Survey on Text Mining- techniques and application. *International Journal of Research In Science & Engineering*, 24, 1–14.

- Juarto, B., & Yulianto. (2023). Indonesian News Classification Using IndoBert. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 11(2), 454–460.
- Kuhlman, T., & Farrington, J. (2010). What is Sustainability? *Sustainability*, 2(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su2113436>
- Meadows, D. H., & Meadows, D. (2007). The history and conclusions of The Limits to Growth. *System Dynamics Review*, 23(2–3), 191–197. <https://doi.org/10.1002/sdr.371>
- Meschede, C. (2020). The Sustainable Development Goals in Scientific Literature: A Bibliometric Overview at the Meta-Level. *Sustainability*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su12114461>
- Nugroho, A. (2020). *Penerapan sistem terdistribusi untuk klasifikasi kategori sustainable development goals pada judul berita berbahasa indonesia menggunakan algoritme naive bayes* [Universitas Gadjah Mada]. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/188931>
- Polychronopoulos, D., Dahle, Y., & Reuther, K. (2021). Exploring the Core Values of Entrepreneurs: A Comparison to the United Nations 17 Sustainable Development Goals. *2021 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC52061.2021.9570254>
- Putra, T. I. Z. M., Suprpto, S., & Bukhori, A. F. (2022). Model Klasifikasi Berbasis Multiclass Classification dengan Kombinasi Indobert Embedding dan Long Short-Term Memory untuk Tweet Berbahasa Indonesia. *Jurnal Ilmu Siber Dan Teknologi Digital*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.35912/jisted.v1i1.1509>
- Roy, A., Basu, A., Su, Y., Li, Y., & Dong, X. (2022). Understanding Recent Trends in Global Sustainable Development Goal 6 Research: Scientometric, Text Mining and an Improved Framework for Future Research. *Sustainability*, 14(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/su14042208>
- Salvia, A. L., Leal Filho, W., Brandli, L. L., & Griebeler, J. S. (2019). Assessing research trends related to Sustainable Development Goals: Local and global issues. *Journal of Cleaner Production*, 208, 841–849. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.242>
- Sebestyén, V., Domokos, E., & Abonyi, J. (2020). Focal points for sustainable development strategies—Text mining-based comparative analysis of voluntary national reviews. *Journal of Environmental Management*, 263, 110414. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110414>
- Taleb, W., Le Guenedal, T., Lepetit, F., Mortier, V., Sekine, T., & Stagnol, L. (2020). *Corporate ESG News and The Stock Market* (SSRN Scholarly Paper 3723799). <https://doi.org/10.2139/ssrn.3723799>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is All you Need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30. https://papers.nips.cc/paper_files/paper/2017/hash/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Abstract.html
- Wilderer, P. A. (2007). Sustainable water resource management: The science behind the scene. *Sustainability Science*, 2(1), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s11625-007-0022-0>
- Zhou, X., Hu, Y., & Guo, L. (2014). Text Categorization based on Clustering Feature Selection. *Procedia Computer Science*, 31, 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.283>