

PREDIKSI PENYALURAN OBAT KANDUNGAN MISOPROSTOL DENGAN METODE TEMPORAL CONVOLUTIONAL NETWORKS

Nurmalita Fitri Ramadani¹, Mohammad Idhom^{*2}, Trimono³

^{1,2,3}Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya

Email: ¹21083010067@student.upnjatim.ac.id, ^{*2}idhom@upnjatim.ac.id, ³trimono.stat@upnjatim.ac.id

^{*}Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 11 April 2025, diterima untuk diterbitkan: 16 Desember 2025)

Abstrak

Aborsi ilegal di Indonesia masih menjadi permasalahan serius, terutama dengan maraknya penggunaan misoprostol yang diperjualbelikan secara ilegal. Indonesia mencatat sekitar 1,7 juta kasus aborsi per tahun, dengan 42,5 dari setiap 1.000 wanita usia subur di Pulau Jawa terlibat dalam praktik ini. Berdasarkan laporan kasus, penyalahgunaan misoprostol dapat menyebabkan komplikasi serius seperti hipertermia, hipoksia, hingga kematian akibat kegagalan multiorgan. Selain itu, ditemukan bahwa 73% obat aborsi yang dijual online mengandung misoprostol, dan lebih dari 300.000 situs penjual obat ilegal telah diblokir oleh Kementerian Komunikasi dan Informasi. Salah satu celah yang mempermudah penyalahgunaan adalah belum adanya regulasi batas kuantitas penyaluran obat tersebut. Penelitian ini menerapkan model *Temporal Convolutional Networks* (TCN) untuk memprediksi pola penyaluran obat misoprostol menggunakan data primer dari BPOM dengan periode 2021-2024. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa TCN secara konsisten lebih unggul dibandingkan LSTM pada semua panjang input. TCN mencatat rata-rata penurunan NMAE sebesar 85% dan NMSE sebesar 68% dibandingkan LSTM. Pendekatan berbasis TCN ini diharapkan dapat membantu otoritas dalam meningkatkan pengawasan distribusi obat serta mendukung kebijakan pengendalian misoprostol agar tidak disalahgunakan.

Kata kunci: Misoprostol, Penyaluran Obat, Temporal Convolutional Networks (TCN), *Forecasting*

FORECASTING THE DISTRIBUTION OF MISOPROSTOL-CONTAINING DRUGS USING TEMPORAL CONVOLUTIONAL NETWORKS

Abstract

Illegal abortion in Indonesia remains a serious problem, especially with the widespread use of misoprostol, which is sold illegally. Indonesia records around 1.7 million abortion cases per year, with 42.5 out of every 1,000 women of childbearing age on the island of Java involved in this practice. According to case reports, the misuse of misoprostol can lead to serious complications such as hyperthermia, hypoxia, and even death due to multi-organ failure. Additionally, it was found that 73% of abortion drugs sold online contain misoprostol, and over 300,000 illegal drug-selling websites have been blocked by the Ministry of Communication and Information. One loophole that facilitates misuse is the lack of regulations on the quantity of the drug's distribution. This study applied the Temporal Convolutional Networks (TCN) model to predict the distribution patterns of misoprostol using primary data from the Indonesian Food and Drug Administration (BPOM) for the period 2021-2024. Evaluation results show that TCN consistently outperforms LSTM across all input lengths. TCN achieves an average reduction of 85% in NMAE and 68% in NMSE compared to LSTM. This TCN-based approach is expected to assist authorities in enhancing drug distribution oversight and supporting misoprostol control policies to prevent misuse.

Keywords: Misoprostol, Drug Distribution, Temporal Convolutional Networks (TCN), *Forecasting*

1. PENDAHULUAN

Aborsi merupakan salah satu isu kesehatan reproduksi yang tergolong kompleks dan sensitif, terutama di Indonesia. Kebijakan mengenai aborsi diatur dalam Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2023 tentang Kesehatan, yang menegaskan bahwa aborsi

dilarang kecuali dalam kondisi tertentu seperti kedaruratan medis atau kehamilan akibat perkosaan, sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2024. Meskipun peraturan tersebut berlaku, praktik aborsi ilegal masih marak terjadi di Indonesia. *World Health Organization* (WHO)

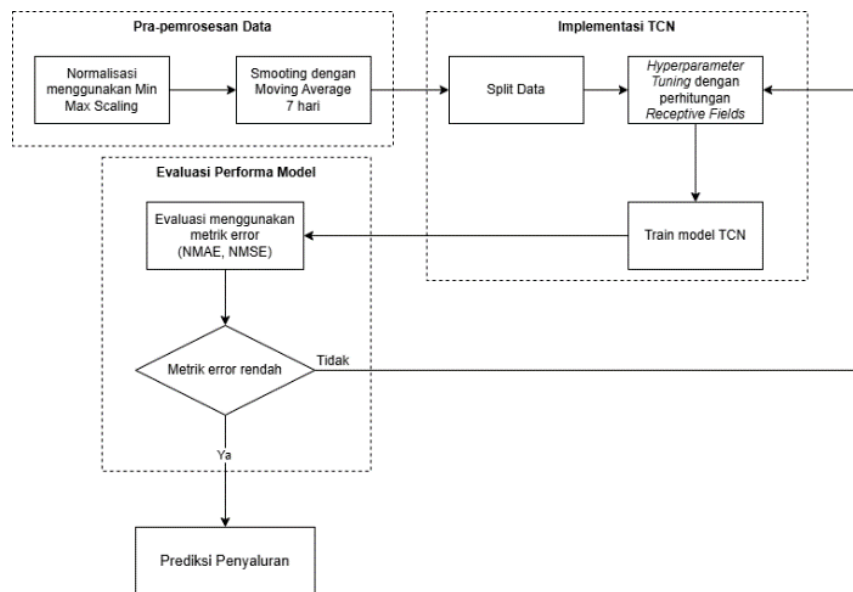
mencatat bahwa sekitar 73 juta tindakan aborsi terjadi di seluruh dunia setiap tahunnya, dengan 29% di antaranya berakhir dengan aborsi (WHO, 2024). Berdasarkan data *Abortion Rates by Country 2025* dari *World Population Review* menunjukkan bahwa Indonesia berada pada wilayah Negara dengan tingkat aborsi yang relatif tinggi (World Population Review, 2025). Kasus aborsi di Indonesia diperkirakan terjadi sekitar 1,7 juta kasus pada setiap tahunnya dengan Pulau Jawa menjadi daerah yang mendominasi dengan sekitar 42,5 kasus per 1.000 wanita usia subur atau usia 15-49 tahun (Giorgio, et al., 2020). Praktik aborsi di Indonesia yang marak dilakukan adalah dengan menggunakan jasa penggugur kandungan secara online, menggunakan obat-obatan golongan Misoprostol. Studi oleh Moore et al. (2020) menemukan bahwa 73% paket obat aborsi yang dijual secara online di Indonesia mengandung Misoprostol, meskipun penjual sering memberikan informasi yang tidak lengkap dan tidak sesuai standar medis. Selain itu, Kementerian Komunikasi dan Informasi telah memblokir lebih dari 300.000 situs yang menjual obat ilegal, termasuk Misoprostol, namun pasar gelap tetap berkembang dengan munculnya situs-situs baru (Moore, et al., 2020).

Misoprostol merupakan obat yang biasa dikonsumsi untuk mencegah tukak lambung yang disebabkan oleh obat-obatan anti-inflamasi non-steroid (NSAID), seperti aspirin, ibuprofen, naproxen, dan lain-lain (Krugh, et al., 2019). Penyalahgunaan dalam praktik aborsi ilegal ini memiliki resiko yang tinggi, termasuk hiperstimulasi uterus, laserasi serviks, ruptur uteri, perdarahan vagina berat, syok, hingga menyebabkan kematian ibu atau janin (Ocviyanti, et al., 2018). Sebuah laporan kasus mendapatkan, penyalahgunaan misoprostol yang terjadi oleh remaja berusia 17 tahun untuk induksi aborsi tanpa pengawasan medis berujung pada kematian akibat toksisitas obat yang menyebabkan hipertermia, hipoksia, dan kegagalan multiorgan (Adhelia, 2023). Selain risiko fisik atau kesehatan, penggunaan misoprostol secara ilegal juga membawa dampak sosial. Sebuah studi oleh Primananda & Rastika (2021) mengungkap bahwa stigmatisasi dan pembatasan ketat terhadap praktik aborsi di Indonesia mendorong perempuan, terutama remaja, untuk mencari alternatif aborsi secara mandiri melalui pembelian misoprostol ilegal di media sosial, yang kerap dipasarkan dengan pendekatan personal oleh pelaku penjual. Oleh karena itu, tidak sedikit individu yang beralih ke Misoprostol sebagai alternatif tindakan aborsi mandiri karena akses yang mudah, murah dan cepat. Akses mendapatkan obat yang memiliki kandungan Misoprostol ini menjadi mudah karena adanya indikasi jual beli yang dilakukan untuk kepentingan pribadi. Sebuah penelitian menyatakan bahwa penyaluran obat yang memiliki pengawasan lebih ketat adalah apotek. Sedangkan, situasi yang berbeda terjadi di beberapa

rumah sakit swasta. Pengawasan yang lemah di rumah sakit swasta menciptakan peluang terjadinya kebocoran obat yang diawasi, termasuk Misoprostol, ke lingkungan yang tidak diatur (Hasnida, et al., 2021). Situasi ini membuka peluang terjadinya penyalahgunaan obat melalui pasar gelap. Di samping itu, distribusi ilegal juga dapat berlangsung melalui jalur tidak resmi. Oleh karena itu, pemantauan terhadap distribusi Misoprostol menjadi hal yang krusial untuk mencegah penyalahgunaannya. Ketidakpastian dalam distribusi obat tidak hanya berdampak pada manajemen stok, tetapi juga berpotensi memicu penyalahgunaan, berbeda dengan sektor retail dimana kesalahan prediksi hanya berakibat pada kerugian finansial (Idhom & Huda, 2017). Hal ini mempertegas urgensi penggunaan metode prediksi yang lebih canggih seperti TCN dalam konteks farmasi.

Pemilihan metode untuk melakukan analisis harus berdasarkan dengan kecocokan dengan pola dan karakteristik data itu sendiri (Fahrudin, et al., 2021). Dalam konteks ini, TCN dipilih karena kemampuannya menangkap pola non-linear. Namun, terdapat beberapa model seperti SVR dan XGBoost yang telah terbukti efektif untuk data non-linear (Damaliana, et al., 2024). TCN dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya menangkap dependensi jangka panjang (*long-term dependencies*) yang kritis dalam pola penyaluran obat. Beberapa penelitian menemukan adanya keunggulan model *Temporal Convolutional Networks* (TCN) dalam melakukan analisis prediksi *time-series*. Melakukan analisis menggunakan time-series sering kali menggunakan MAPE seperti pada penelitian (Idhom, et al., 2023) dimana Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang diperoleh dalam penelitian ini adalah 3.5%. Nilai ini menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam prediksi nilai oleh sistem *Automated Essay Scoring* (AES) dibandingkan dengan hasil penilaian oleh *human rater*. Penelitian oleh (Saepudin, et al., 2024) menunjukkan bahwa TCN mampu mampu memberikan performa prediksi yang unggul dalam memodelkan kenaikan permukaan air laut dengan nilai R^2 sebesar 0,9950 dan RMSE sebesar 0,0487.

Dibandingkan dengan model Transformers dan RNN, TCN menunjukkan keunggulan sekitar 2,26% hingga 2,69% pada nilai R^2 , serta mampu menurunkan RMSE sekitar 57% hingga 60%. Hal ini menunjukkan peningkatan performa yang signifikan, terutama dalam hal akurasi prediksi berdasarkan nilai RMSE. Selain itu pada bidang hidrologi, penelitian oleh (Fajou & McCarren, 2021) menemukan bahwa TCN mengungguli CNN-LSTM dan LSTM dalam prediksi harga emas. Dalam hal performa, TCN memiliki RMSE yang 35% lebih rendah dari CNN-LSTM dan 44% lebih rendah dari LSTM. Untuk MAE, TCN lebih unggul dengan nilai 31% lebih kecil dibandingkan CNN-LSTM dan 35% lebih kecil dibandingkan LSTM.



Gambar 1. Diagram Alir Pengembangan Model

Selain itu, TCN juga mencatat nilai R^2 tertinggi sebesar 0,9594, menunjukkan kemampuannya dalam menjelaskan variabilitas data lebih baik daripada dua model lainnya.

Meskipun penelitian sebelumnya telah menerapkan TCN dalam berbagai bidang, belum ada studi yang secara spesifik menggunakan metode ini untuk memantau distribusi obat, terutama dalam konteks penyaluran Misoprostol dan potensi penyalahgunaannya. TCN memiliki relevansi yang signifikan dengan penelitian oleh Küçük et al. (2025) dimana TCN dievaluasi dalam peramalan stok farmasi dalam manajemen rantai pasokan kesehatan, menunjukkan potensinya bersama dengan arsitektur *deep learning* lainnya untuk perencanaan stok yang dapat diprediksi. Dengan demikian, penelitian ini mengisi celah dengan menerapkan TCN dalam memprediksi pola penyaluran obat Misoprostol, yang diharapkan dapat menjadi alat bantu bagi otoritas dalam mengawasi distribusi serta mendeteksi anomali yang berpotensi menjadi indikasi penyalahgunaan obat ini. Dengan melakukan prediksi penyaluran obat, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih akurat mengenai tren distribusi obat dengan kandungan misoprostol, sekaligus menjadi bahan pertimbangan bagi instansi terkait dalam hal pengaturan regulasi lebih sesuai terhadap penyaluran obat yang berpotensi disalahgunakan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data dari BPOM dengan periode 2021-2024. Variabel pada dataset meliputi Jenis Transaksi, Tujuan Penyaluran, Alamat Tujuan, Nama Kota/Kab Tujuan, Nama Provinsi Tujuan, Nama Zat Aktif, Nama Obat Jadi, Produsen

Obat Jadi, Nama PBF, Provinsi, Kabupaten/Kota, No. Faktur, Tanggal Penyaluran, Batch, Jumlah, Satuan, Tanggal Kedaluwarsa dan Keterangan. Penelitian ini berfokus pada analisis penyaluran obat yang terjadi sehingga beberapa kolom yang tidak dibutuhkan dihapus. Untuk menjaga konsistensi data, tanggal yang tidak ada atau tidak terjadi penyaluran pada saat itu dimasukkan nilai 0 pada kolom jumlah. Kemudian, pada tanggal yang terjadi lebih dari satu penyaluran dilakukan agregasi sehingga didapatkan data yang terlihat pada Tabel 1

Tabel 1. Data Jumlah Penyaluran Obat

Tanggal	Jumlah
2021-01-01	0
2021-01-02	9
2021-01-03	0
2021-01-04	39
2021-01-05	56
...	...
2024-12-29	0
2024-12-30	858
2024-12-31	399

2.2. Metode Pengembangan Model

Langkah yang dilakukan dalam pengembangan model yaitu dimulai dengan Pra-pemrosesan data, di mana data dinormalisasi menggunakan *Min-Max Scaling* dan dilakukan smoothing dengan *Moving Average 7* hari untuk mengurangi fluktuasi. Selanjutnya, data dibagi menjadi train dan test set sebelum masuk ke tahap implementasi TCN. Pada tahap ini, dilakukan tuning hyperparameter dengan menggunakan perhitungan receptive fields untuk

menentukan angka parameter yang akan digunakan, kemudian model dilatih menggunakan data yang telah disiapkan. Setelah pelatihan, model dievaluasi menggunakan metrik *error* seperti NMAE, NMSE. Jika nilai *error* masih tinggi, proses tuning dan pelatihan model diulang sampai didapatkan model paling optimal yang akan digunakan untuk kemudian melakukan prediksi.

2.2.1. Pra-pemrosesan Data

Dalam penelitian ini, dilakukan proses normalisasi data sebelum pembagian dataset guna memastikan bahwa seluruh fitur memiliki skala yang seragam, sehingga model dapat beroperasi secara optimal tanpa bias terhadap nilai yang lebih besar. Dataset dibagi menjadi dua subset, yaitu data latih yang mencakup periode tahun 2022 hingga Juni 2024 dan data uji yang mencakup periode Agustus 2024. Normalisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Min-Max Scaler*, sebuah metode transformasi yang memetakan nilai data asli ke dalam rentang tertentu, biasanya antara 0 dan 1. Teknik ini bertujuan untuk menghindari dominasi fitur dengan skala nilai yang lebih besar, yang dapat menyebabkan model cenderung lebih berat terhadap variabel tersebut. *Min-Max Scaler* bekerja dengan menggunakan persamaan (1)

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

Keterangan:

X' = nilai hasil normalisasi

X = nilai asli data

X_{min} = nilai terkecil fitur X

X_{max} = nilai terbesar fitur X

Dalam industri farmasi, tingkat fluktuasi permintaan yang tinggi merupakan fenomena yang umum terjadi. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor eksternal, seperti perubahan regulasi, dinamika politik, masuknya produk baru dengan formulasi serupa, perkembangan teknologi, serta preferensi dokter dan apoteker terhadap merek tertentu (Siddiqui, et al., 2022). Ketidakpastian ini mengakibatkan fungsi permintaan yang bersifat non-linear, sehingga sering terjadi kondisi kekurangan stok maupun kelebihan inventaris akibat kesalahan peramalan. Untuk mengatasi volatilitas ekstrem dalam data penyaluran obat, diterapkan metode *Smoothing Moving Average* dengan periode 7 hari. Teknik ini berfungsi untuk mereduksi fluktuasi jangka pendek dengan cara menghitung rata-rata pergerakan data dalam periode waktu tertentu, sehingga pola utama dalam data lebih mudah diidentifikasi oleh model. Persamaan *Smoothing Moving Average* adalah:

$$MA_t = \frac{1}{7} \sum_{i=t-6}^t X_i \quad (2)$$

Keterangan:

MA_t = Nilai Moving Average pada waktu t

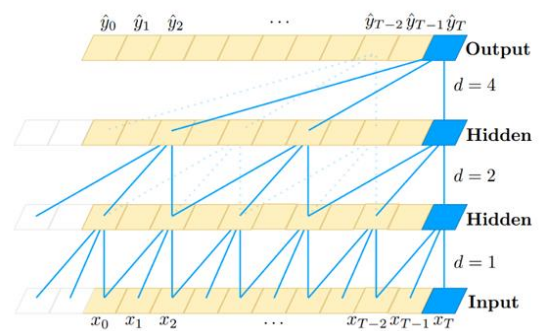
X_i = Nilai observasi pada waktu i

i = Waktu saat perhitungan dilakukan

$\sum_{i=t-6}^t X_i$ = Penjumlahan nilai observasi

$\frac{1}{7}$ = Faktor pembagi menghitung rata-rata 7 hari

2.2.2. Implementasi TCN



Gambar 2. Lapisan Konvolusi Dilasi TCN (Bai, et al., 2018)

Temporal Convolutional Networks (TCN) adalah arsitektur berbasis jaringan saraf konvolusional yang dirancang untuk menangani data sekuensial dan deret waktu (Lea, et al., 2017). Tidak seperti *Recurrent Neural Networks* (RNN) yang bersifat rekursif, TCN menggunakan konvolusi kausal dengan dilasi untuk menangkap dependensi jangka panjang dalam data deret waktu tanpa mengalami permasalahan *vanishing gradient* (Liu, et al., 2019). Selain itu, jika dibandingkan dengan model ARIMA seperti pada penelitian (Idhom, et al., 2023) yang memerlukan pemodelan residual secara terpisah, TCN secara otomatis menangkap dependensi temporal melalui dilated convolutions, untuk menangkap dependensi jangka panjang dalam data deret waktu secara efisien. Pendekatan ini memungkinkan TCN untuk memiliki receptive field yang besar, yang sangat penting untuk memahami pola kompleks dalam deret waktu, sambil mempertahankan efisiensi komputasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan arsitektur lain seperti *Recurrent Neural Networks* (RNN) atau model berbasis Transformer (Luo & Wang, 2024). Dalam konteks model *deep learning*, TCN telah terbukti sangat efektif dalam peramalan deret waktu di berbagai domain. Model ini mampu mempelajari pola non-linier dan non-stasioner yang sering ditemukan dalam data dunia nyata, menghasilkan prediksi yang akurat (Casolaro, et al., 2023).

Ditunjukkan pada Gambar 2, arsitektur TCN terdiri dari beberapa lapisan konvolusi dengan dilasi yang meningkat secara eksponensial di setiap tingkat.



Gambar 3. Grafik Penyaluran Obat Kandungan Misoprostol

Lapisan pertama menerima input berupa data deret waktu, kemudian melewati beberapa lapisan tersembunyi sebelum menghasilkan output akhir yang merupakan hasil prediksi.

Pada setiap lapisan konvolusi, operasi yang digunakan adalah *dilated causal convolution*, di mana setiap neuron hanya menerima informasi dari masa lalu untuk memastikan kausalitas tetap terjaga. Operasi ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$F(s) = \sum_{k=0}^{s-1} W(k) \cdot x(s - d \cdot k) \quad (3)$$

Keterangan;

$F(s)$ = Hasil konvolusi pada titik waktu s

$W(k)$ = Nilai dari weight pada posisi k

k = nilai Kernel

$x(s - d \cdot k)$ = Nilai input pada posisi $s - d \cdot k$

Untuk meningkatkan non-linearitas dalam model, TCN menggunakan fungsi aktivasi *Rectified Linear Unit* (ReLU) setelah setiap operasi konvolusi. Fungsi aktivasi ReLU dipilih karena kemampuannya mengatasi masalah vanishing gradient dan sifat komputasi yang efisien. Untuk menentukan parameter optimal dari model TCN, dilakukan eksperimen dengan perhitungan *receptive fields*. Pendekatan ini tidak dilakukan secara trial-and-error semata, melainkan mengikuti prinsip perancangan arsitektur yang mempertimbangkan cakupan *receptive field* terhadap panjang *input sequence*, sebagaimana diterapkan dalam penelitian Lara-Benitez et al. (2020) Dengan demikian, kombinasi parameter seperti kernel size, jumlah blok, dan faktor dilasi dipilih secara sistematis agar model dapat merepresentasikan pola temporal secara optimal.

2.2.3. Evaluasi Metrik Error

Evaluasi performa model dilakukan dengan menggunakan metrik error yang sesuai untuk mengukur akurasi prediksi dalam kondisi data yang memiliki fluktuasi tinggi dan skala yang bervariasi. Dalam penelitian ini, digunakan *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) dan *Normalized Mean Squared Error* (NMSE) untuk memastikan bahwa evaluasi performa model tetap representatif meskipun skala data bervariasi (Zhu, et al., 2021). NMAE adalah metrik error yang dinormalisasi dari *Mean Absolute Error* (MAE). Dimana, pada perhitungan

metrik ini mempertimbangkan skala data sehingga lebih adil dalam membandingkan performa model. Nilai NMAE yang lebih rendah menunjukkan model memiliki error yang lebih kecil relatif terhadap skala data. Persamaan dari metrik NMAE adalah:

$$NMAE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |y_t - \hat{y}_t|}{\max(y) - \min(y)} \quad (4)$$

Sementara itu, NMSE adalah bentuk normalisasi dari *Mean Squared Error* (MSE), yang memungkinkan perbandingan error dalam berbagai skala data. NMSE memberikan penalti lebih besar untuk kesalahan yang lebih besar dibandingkan dengan NMAE karena menggunakan nilai kuadrat dari selisih prediksi dan nilai aktual. Rumus NMSE adalah:

Di mana y_t adalah nilai aktual pada waktu ke- t ,

$$NMSE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - \hat{y}_t)^2}{\max(y) - \min(y)} \quad (5)$$

$\hat{y}_t$ adalah nilai prediksi pada waktu ke- t , N adalah jumlah total data yang dievaluasi lalu $\max(y)$ dan $\min(y)$ adalah nilai maksimum dan minimum pada data.

Mengingat dalam penelitian ini, data yang digunakan memiliki fluktuasi yang tinggi dan rentang nilai yang cukup luas. Metrik seperti *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) tidak cocok digunakan karena memiliki kelemahan ketika terdapat nilai nol dalam data, yang menyebabkan hasil evaluasi menjadi tidak valid (Muhaimin, et al., 2021). Oleh karena itu, NMAE dan NMSE dipilih karena mampu menangani variasi skala data serta memberikan evaluasi yang lebih representatif dalam konteks prediksi penyaluran obat ini.

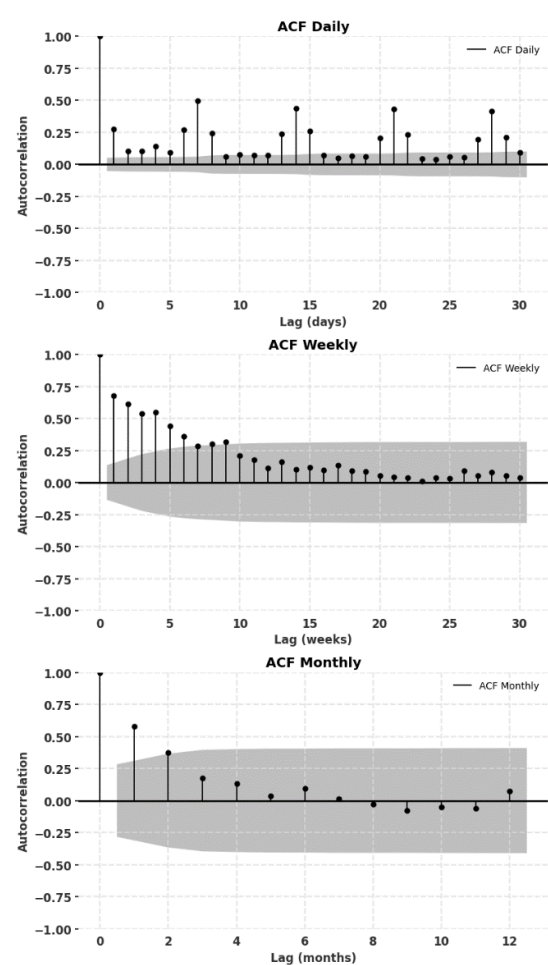
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Eksplorasi Data

Eksplorasi data yang dilakukan adalah melihat pola penyaluran pada data. Pada Gambar 3 pola penyaluran obat misoprostol dalam periode tertentu, menunjukkan adanya fluktuasi jumlah distribusi dari tahun 2021 hingga 2024 dengan pola yang cukup variatif. Terlihat adanya kenaikan bertahap dalam jumlah penyaluran, meskipun tidak sepenuhnya linear. Beberapa lonjakan ekstrem juga terjadi pada periode tertentu, terutama pada sekitar awal tahun 2022 dan beberapa kali setelahnya, dimana hal ini

bisa menjadi tanda adanya indikasi peningkatan permintaan. Selain itu, ada pola berulang yang mungkin mencerminkan faktor musiman atau eksternal yang mempengaruhi distribusi obat.

Selanjutnya adalah melihat *Autocorrelation Function* (ACF) yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara nilai-nilai dalam deret waktu pada berbagai lag. Gambar 4 merupakan grafik ACF yang dilihat secara harian, mingguan dan bulanan. ACF harian menunjukkan adanya ketergantungan yang kuat pada data jangka pendek. Autokorelasi mingguan lebih terstruktur dengan ketergantungan yang cukup konsisten, mengindikasikan adanya pola musiman dalam data. Sementara pada autokorelasi bulanan, terlihat ketergantungan pada beberapa lag awal, terutama kelipatan satu bulan. Namun, autokorelasi pada skala bulanan cenderung lemah dengan pengaruh yang lebih rendah daripada pola mingguan. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada pola musiman bulanan, tetapi dengan tingkat pengaruh yang lebih rendah.



Gambar 4. Grafik ACF Penyaluran Obat Kandungan Misoprostol

Hasil analisis ACF harian menunjukkan adanya pola yang konsisten dan signifikan pada lag ke-7, 14, 21, dan 28. Ini menunjukkan bahwa terdapat

pengaruh yang cukup kuat dari nilai data pada satu hingga empat minggu sebelumnya. Korelasi tersebut mengindikasikan adanya siklus mingguan dalam pola penyaluran obat, sehingga pengambilan input sepanjang kelipatan 7 hari dinilai tepat untuk menangkap dinamika tersebut secara efektif.

Untuk melihat musiman data dilakukan *Seasonal Decomposition* yang menampilkan hasil penguraian deret waktu distribusi obat menjadi tiga komponen yaitu tren, musiman, dan residu seperti yang disajikan pada Gambar 5. Pada komponen tren terlihat adanya perubahan jangka panjang dalam pola, yang mengindikasikan dinamika permintaan. Komponen musiman menunjukkan pola yang konsisten, menunjukkan siklus yang berulang dalam distribusi obat. Hal ini didukung oleh hasil fungsi autokorelasi (ACF). Kemudian untuk komponen residual, grafik yang terlihat mewakili variabilitas acak dalam data setelah menghilangkan tren dan efek musiman, yang mengindikasikan faktor-faktor lain yang mempengaruhi distribusi obat.

3.2. Implementasi TCN

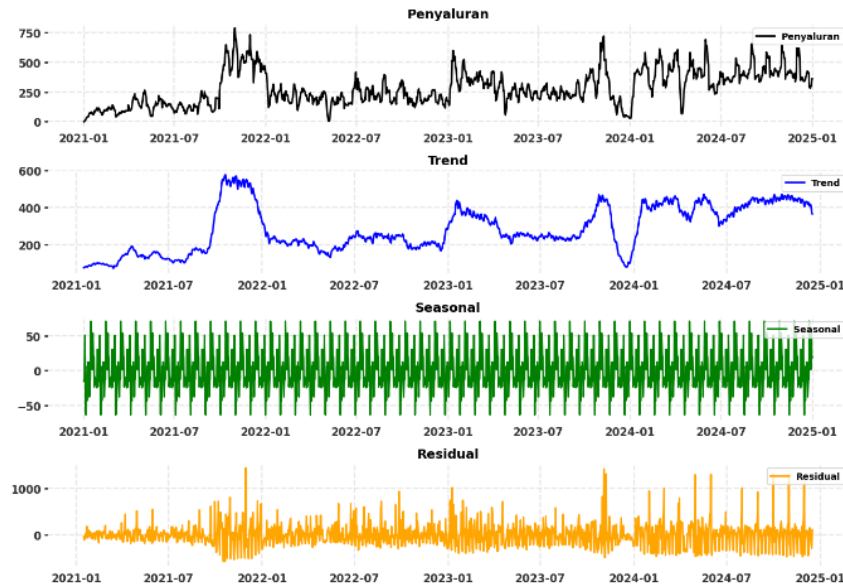
3.2.1. Optimalisasi Model TCN

Pada penelitian ini, untuk mencari model dengan akurasi paling optimal yang sesuai dengan data, dilakukan beberapa percobaan kombinasi parameter. Parameter ini mencakup ukuran kernel, dilasi, jumlah *block*, ukuran *batch*, dan juga *epoch*. Pemilihan kombinasi parameter ini dilakukan menggunakan perhitungan *receptive fields* dimana persamaannya adalah:

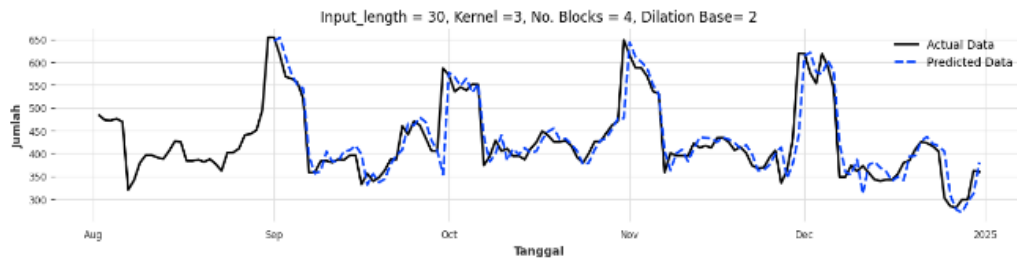
$$RF = 1 + (kernel\ size - 1) \sum_{i=0}^{num\ layers - 1} dilation_i \tag{6}$$

Pada Tabel 2, kombinasi parameter ini dipilih dengan hasil *receptive fields* yang sama dengan atau paling mendekati dengan *input length* yang akan diuji coba. Dimana dapat dilihat bahwa ketika jumlah lapisan konvolusi meningkat, maka diperlukan lebih sedikit tingkat dilasi untuk mencapai *receptive field* yang mencakup seluruh *input sequence*. Sebaliknya, jika jumlah lapisan lebih sedikit, *dilation base* yang lebih besar dapat digunakan untuk memastikan cakupan *receptive field* yang optimal terhadap *input sequence*.

Tabel 2. Parameter Research TCN Model Parameter			
Input Length	Kernel Size	No. Blocks	Dilation Base
7	3	2	2
	2	3	2
	2	3	3
14	3	3	2
	2	4	2
21	4	3	2
	3	3	3
30	3	4	2



Gambar 5. Grafik Seasonal Data Penyaluran



Gambar 6. Grafik Perbandingan Data Aktual dan Data Prediksi

3.2.2. Evaluasi Model

Setelah melakukan beberapa kali percobaan dengan parameter-parameter seperti yang tertera pada Tabel 2. Nilai NMAE terendah adalah 0,056 pada beberapa kombinasi parameter yang diuji coba. Oleh karena itu, metrik NMSE akan menjadi penentu dalam nilai paling optimal dari percobaan model. Dapat dilihat pada Tabel 3, kombinasi parameter model TCN dengan NMSE paling rendah yaitu 0.223. Dimana parameter yang digunakan adalah Input Length 30, Kernel Size 3, No.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Performa Parameter Model TCN
TCN Model Parameter

Input Length	Kernel Size	No. Blocks	Dilation Base	NMAE	NMSE
7	3	2	2	0.0665	0.3439
	2	3	2	0.0634	0.3348
	2	3	3	0.0582	0.2590
14	3	3	2	0.0614	0.2562
	2	4	2	0.0627	0.2665
21	4	3	2	0.0648	0.2731
	3	3	3	0.0622	0.2651
30	3	4	2	0.0569	0.2230

Blocks 4, Dilation Base 2. Nilai ini menunjukkan bahwa model dengan parameter tersebut memiliki prediksi yang lebih akurat dengan kesalahan yang lebih rendah. Visualisasi diperlukan untuk menggambarkan seberapa akurat peramalan yang dilakukan parameter tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 6.

Hasil model yang paling optimal kemudian akan diimplementasikan untuk melakukan peramalan masa mendatang. Berdasarkan Panjang input paling optimal dari parameter yang telah diuji, kita akan menggunakan analisis peramalan periode mingguan. Hal ini dikarenakan agar model dapat bekerja secara optimal sehingga dapat memberikan insight penyaluran di masa yang akan datang secara representatif berdasarkan angka yang paling mendekati data aktual.

Untuk membuktikan lebih lanjut terhadap performa model TCN yang unggul diterapkan untuk data bidang penyaluran obat, dilakukan juga perbandingan secara eksplisit dengan model *Long Short-Term Memory* (LSTM), yang merupakan salah satu metode populer dalam pemodelan deret waktu. Perbandingan ini dilakukan dengan mempertimbangkan nilai NMAE dan NMSE pada panjang input yang sama (7, 14, 21, dan 30). Hasil perbandingan performa kedua model ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Evaluasi Performa TCN dan LSTM

Input Length	Model	NMAE	NMSE
7	TCN	0.0649	0.3393
	LSTM	0.4726	0.9089
14	TCN	0.0598	0.2576
	LSTM	0.4319	0.8751
21	TCN	0.0637	0.2698
	LSTM	0.4195	0.8538
30	TCN	0.0595	0.2440
	LSTM	0.3997	0.8377

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model LSTM dan TCN berdasarkan metrik NMAE dan NMSE pada empat variasi panjang input (7, 14, 21, dan 30). Secara konsisten, model TCN menunjukkan performa jauh lebih baik dibandingkan LSTM. Sebagai contoh, pada input length 7, nilai NMAE model TCN adalah 0.0649, sementara LSTM mencapai 0.4726. Artinya, TCN lebih unggul sebesar 86.26% dalam menurunkan nilai NMAE pada panjang input tersebut. Perkembangan serupa juga terlihat pada input length 14 (unggul 86.15%), input length 21 (unggul 84.81%), dan input length 30 (unggul 85.11%). Untuk metrik NMSE, TCN juga menunjukkan performa lebih baik secara signifikan. Misalnya, pada input length 7, NMSE TCN sebesar 0.3393 dibandingkan LSTM sebesar 0.9089 yang berarti TCN lebih unggul sekitar 62.69%. Keunggulan ini konsisten pada input length 14 (70.55%), input length 21 (68.42%), dan input length 30 (70.86%). Dengan rata-rata peningkatan akurasi tersebut, TCN menghasilkan rata-rata penurunan NMAE sebesar 85% dan NMSE sebesar 68% dibandingkan LSTM. Hasil ini menunjukkan bahwa model TCN memiliki kemampuan yang lebih kuat dalam menangkap pola musiman dan fluktuasi data penyaluran obat.

3.2.3. Hasil dan Rekomendasi Kebijakan

Berdasarkan hasil prediksi periode 4 minggu yaitu tanggal 1 Januari 2025 - 28 Januari 2025, rata-rata jumlah penyaluran obat dengan kandungan misoprostol menunjukkan pola yang bervariasi sepanjang bulan Januari 2025. Pada minggu pertama, distribusi obat diprediksi berada pada kisaran 483 unit per hari, yang merupakan angka tertinggi dibandingkan minggu-minggu berikutnya. Memasuki minggu kedua, jumlah penyaluran mengalami penurunan dengan rata-rata 389 unit per hari, yang kemudian mengalami sedikit peningkatan pada minggu ketiga dengan angka 426 unit per hari. Tren penurunan terlihat pada minggu keempat, dengan rata-rata penyaluran berada di angka 412 unit per hari. Polanya menunjukkan bahwa setelah mencapai puncak distribusi di awal bulan, jumlah penyaluran cenderung menurun secara bertahap seiring waktu. Temuan ini dapat memberikan wawasan bagi pihak terkait dalam melakukan pemantauan terhadap pola

distribusi obat serta mengambil langkah yang diperlukan untuk mengantisipasi perubahan tren di masa mendatang.

Tabel 5. Hasil Menggunakan Model TCN Dengan Durasi 4 Minggu

Minggu	Periode	Penyaluran
Minggu 1	1 - 7 Januari 2025	483
Minggu 2	8 - 14 Januari 2025	389
Minggu 3	15 - 21 Januari 2025	426
Minggu 4	22 - 28 Januari 2025	412

Berdasarkan temuan prediktif mengenai pola penyaluran obat misoprostol yang menunjukkan lonjakan signifikan pada minggu pertama setiap bulan, disusul fluktuasi moderat pada minggu-minggu berikutnya, diperlukan formulasi kebijakan pengawasan yang bersifat dinamis dan berbasis data. Lonjakan distribusi hingga 483 unit per hari pada awal bulan berpotensi merepresentasikan pola pembelian dalam jumlah besar yang perlu diawasi secara ketat, mengingat tingginya risiko penyalahgunaan untuk keperluan nonmedis. Dalam konteks ini, kebijakan pengawasan sebaiknya difokuskan pada tiga pendekatan utama: intensifikasi pemantauan pada awal bulan, penerapan sistem peringatan dini berbasis ambang batas distribusi, dan pelaksanaan audit berkala pada fasilitas distribusi yang menunjukkan pola anomali. Selain itu, mengingat lonjakan distribusi berpotensi memicu kemunculan saluran distribusi ilegal yang memanfaatkan celah pengawasan, kolaborasi lintas sektor menjadi krusial, terutama dengan Kementerian Komunikasi dan Informasi untuk mengidentifikasi dan memblokir kanal penjualan obat ilegal secara daring. Integrasi sistem prediksi seperti yang ditawarkan model TCN dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu deteksi dini, sehingga pengambilan keputusan oleh otoritas dapat dilakukan secara lebih cepat dan berbasis bukti. Rekomendasi kebijakan ini sejalan dengan amanat Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2023 tentang Kesehatan, yang menekankan pentingnya pendekatan berbasis teknologi dan data dalam pengawasan farmasi.

4. KESIMPULAN

Kompleksitas penyaluran obat dengan kandungan misoprostol di Indonesia memerlukan pendekatan inovatif untuk pemantauan dan prediksi yang akurat. Penelitian ini menghadirkan solusi menggunakan *Temporal Convolutional Networks* (TCN), sebuah metode machine learning yang mampu menganalisis pola distribusi obat secara komprehensif. Melalui serangkaian tahapan pra-pemrosesan data, implementasi model, dan evaluasi, penelitian berhasil mengembangkan pendekatan prediktif yang dapat memberikan wawasan mendalam terkait distribusi obat berisiko tinggi.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa TCN secara konsisten lebih unggul dibandingkan LSTM pada semua panjang input. TCN mencatat rata-rata penurunan NMAE sebesar 85% dan NMSE sebesar 68% dibandingkan LSTM. Keunggulan ini membuktikan bahwa TCN lebih efektif dalam mengenali pola musiman dan fluktuasi data penyaluran obat, menjadikannya pilihan model yang lebih andal dalam konteks penelitian ini.

Penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi metodologis dengan memperkenalkan pendekatan penggunaan metode *deep learning*. Ke depannya, penelitian lanjutan disarankan untuk mengembangkan model dengan menambahkan jumlah data yang sebagian besar menjadi pengaruh dalam identifikasi pola distribusi obat, serta melakukan validasi dengan dataset yang lebih komprehensif. Selain itu, berdasarkan temuan (Muhaimin, et al., 2021) tentang efektivitas hybrid model, penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi integrasi TCN dengan metode seperti SVR untuk menangkap baik pola linear maupun non-linear dalam data penyaluran obat. Pendekatan TCN yang diperkenalkan dalam penelitian ini memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam pemantauan distribusi obat berisiko tinggi, yang pada akhirnya berkontribusi pada upaya perlindungan kesehatan masyarakat.

Sejalan dengan prinsip transparansi ilmiah, penelitian ini tentu memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, data yang digunakan dalam pengembangan model sepenuhnya bersumber dari sistem pengawasan resmi Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), sehingga representasi distribusi obat yang tercakup terbatas pada jalur legal yang terdaftar. Dengan demikian, cakupan prediksi yang dihasilkan dalam penelitian ini difokuskan untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya anomali atau pola tidak biasa dalam distribusi obat legal yang tercatat, dan tidak dimaksudkan untuk merepresentasikan distribusi melalui saluran nonresmi atau pasar gelap yang berada di luar cakupan data resmi. Kedua, topik yang diangkat dalam penelitian ini berkaitan dengan isu yang secara sosial dan hukum tergolong sensitif. Meskipun data yang digunakan bersifat agregat dan tidak mengandung informasi yang dapat mengidentifikasi individu maupun institusi tertentu, peneliti tetap menjunjung tinggi prinsip-prinsip etika penelitian. Seluruh proses pengolahan data dilakukan dengan memastikan perlindungan kerahasiaan, tanpa melakukan pelacakan identitas, serta tidak menyebarluaskan data mentah kepada pihak eksternal. Penelitian ini ditujukan semata-mata sebagai kontribusi akademik untuk memperkuat sistem pengawasan distribusi obat yang berisiko tinggi, dan tidak bermaksud memberikan penilaian moral atau menyudutkan pihak mana pun.

DAFTAR PUSTAKA

- ADHELIA, R., 2023. Kematian Maternal terkait Toksisitas Misoprostol: Satu Laporan Kasus. *Jurnal Anestesi Obstetri Indonesia (JAOI)*, 6(2), p. 108–112.
- BAI, S., KOLTER, J. Z. & KOLTUN, VLADLEN, 2018. An empirical evaluation of generic convolutional and recurrent networks for sequence modeling. *arXiv preprint arXiv:1803.01271*.
- BERGLIND, J., 2019. *Temporal Convolutional Networks for Forecasting Patient Volumes in Digital Healthcare*, Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- CASOLARO, A., CAPONE, V., IANNUZZO, G. & CAMASTRA, F., 2023. Deep Learning for Time Series Forecasting: Advances and Open Problems. *Information*, Volume 14, p. 598.
- DAMALIANA, A. T., MUHAIMIN, A. & PRASETYA, D. A., 2024. FORECASTING THE OCCUPANCY RATE OF STAR HOTELS IN BALI. *Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah Semarang*, 12(1), pp. 24–33.
- FAHRUDIN, T. M., AMBARIAWAN, R. P. & KAMISUTARA, M., 2021. Demand Forecasting of The Automobile Sales Using Least Square, Single Exponential Smoothing and Double Exponential Smoothing. *PETRA INTERNATIONAL JOURNAL OF BUSINESS STUDIES*, Volume 4, pp. 122–130.
- FAJOU, J. & MCCARREN, A., 2021. *Forecasting Gold Prices Using Temporal Convolutional Networks*. Dublin, CEUR Workshop Proceedings.
- GIORGIO, M. M. et al., 2020. Estimating the Incidence of Induced Abortion in Java, Indonesia, 2018.. *international Perspectives on Sexual and Reproductive Health*, Volume 46, pp. 211–222.
- HASNIDA, A., KOK, M. O., & PISANI, E., 2021. Challenges in maintaining medicine quality while aiming for universal health coverage: A qualitative analysis from Indonesia. *BMJ Global Health*, 6(Suppl 3).
- IDHOM, M. et al., 2023. Antithesis of Human Rater: Psychometric Responding to Shifts Competency Test Assessment Using Automation (AES System). *Studies in Learning and Teaching*, Volume 40, pp. 329–340.
- IDHOM, M., FAUZI, A., TRIMONO & RIYANTOKO, P., 2023. Time Series Regression: Prediction of Electricity Consumption Based on Number of Consumers at National Electricity Supply

- Company. *TEM Journal*, Volume 12, pp. 1575-1581.
- IDHOM, M. & HUDA, S. M., 2017. SISTEM INFORMASI PERAMALAN PENJUALAN DENGAN METODE LEAST SQUARE STUDI KASUS : CV. AGP COMPUTER. *SCAN*, Volume XII, pp. 1978-0087.
- KRUGH, M., PATEL, P. & MAANI, C. V., 2019. National Center for Biotechnology Information. Dalam: *MIsoprostol*. s.l.:StatPearls.
- KÜÇÜK, O. F. et al., 2025. Pharmaceutical stock forecasting in healthcare supply chain management: Comparative analysis of deep learning architectures. *International Journal of Research in Engineering (IJRE)*, 7(1), pp. 43-50.
- LARA-BENÍTEZ, P., CARRANZA-GARCÍA, M., LUNA-ROMERA, J. M. & RIQUELME, J. C., 2020. Temporal Convolutional Networks Applied to Energy-Related Time Series Forecasting. *Applied Sciences*.
- LEA, C. et al., 2017. *Temporal Convolutional Networks for Action Segmentation and Detection*. United States, 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017.
- LIU, Y., DONG, H., WANG, X. & HAN, S., 2019. *Time Series Prediction Based on Temporal Media Sosial dan. Eruditio: Indonesia Journal of Food and Drug Safety*, 2(1), pp. 57-67.
- SAEPUDIN, D., RABBANI, E. S., NAVIALDY, D. & ADYTIA, D., 2024. Water Level Rise Forecasting Using TCN Study Case in Surabaya Coastal Area. *Jurnal Online Informatika (JOIN)*, 9(1), pp. 61-69.
- SIDDIQUI, R., AZMAT, M., AHMED, S. & KUMMER, S., 2022. A hybrid demand forecasting model for greater forecasting accuracy: the case of the pharmaceutical industry. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 23(2), pp. 124-134.
- Convolutional Network. Beijing, 2019 IEEE/ACIS 18th International Conference on Computer and Information Science (ICIS).
- LUO, D. & WANG, X., 2024. *ModernTCN: A Modern Pure Convolution Structure for General Time Series Analysis*. Vienna, The Twelfth International Conference on Learning Representations.
- MOORE, A. M. et al., 2020. Online Abortion Drug Sales in Indonesia: A Quality of Care Assessment. *Studies in Family Planning*, 52(4), pp. 295-308.
- MUHAIMIN, A., PRABOWO, H. & SUHARTONO, 2021. Model Selection for Forecasting Rainfall Dataset. *International Journal of Data Science Engineering and Analytics (IJDASEA)*, Volume 1, pp. 1-10.
- MUHAIMIN, A., PRASTYO, D. D. & LU, H. H. S., 2021. *Forecasting with Recurrent Neural Network in Intermittent Demand Data*. Noida, India, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).
- OCVIYANTI, D., & DOROTHEA, M., 2018. Abortion in Indonesia. *Journal Of The Indonesian Medical Association*, 68(6), pp. 213-215.
- PRIMANANDA, A. & RASTIKA, D. G. B., 2021. Peredaran Ilegal Obat Aborsi Melalui
- WHO, 2024. *Abortion*. [Online] Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/abortion>
- WORLD POPULATION REVIEW, 2025. *Abortion Rates by Country 2024*. [Online] Available at: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/abortion-rates-by-country>
- ZHU, X., NINH, A., ZHAO, H. & LIU, Z., 2021. Demand Forecasting with Supply-Chain Information and machine learning: Evidence in the Pharmaceutical Industry. *Production and Operations Management*, 30(9), pp. 1-22.