

Analisis Algoritma JST untuk Prediksi Perkembangan PDRB Menurut Lapangan Usaha Atas Dasar Harga Berlaku

Wendi Robiansyah*, Harly Okprana

STIKOM Tunas Bangsa, Pematangsiantar, Indonesia

Email: ^{1,*}wendirobiansyah@amiktunasbangsa.ac.id, ²harly@amiktunasbangsa.ac.id

Email Penulis Korespondensi: wendirobiansyah@amiktunasbangsa.ac.id

Submitted: 29/09/2024; Accepted: 30/11/2024; Published: 30/11/2024

Abstrak—Data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) memainkan peran penting sebagai acuan dalam perencanaan pembangunan daerah. Namun, tantangan utama yang dihadapi adalah ketidakakuratan prediksi pertumbuhan PDRB akibat dinamika ekonomi yang kompleks dan fluktuatif, terutama di wilayah seperti Kabupaten Simalungun. Oleh sebab itu Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku di Kabupaten Simalungun menggunakan tiga algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST), yaitu *Backpropagation*, *Bayesian Regulation*, dan *Levenberg-Marquardt*. Data penelitian berupa data times-series PDRB tahun 2015-2023 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun. Analisis dilakukan dengan menggunakan lima model arsitektur yang sama, yaitu 7-5-1, 7-10-1, dan 7-15-1, dengan target error sebesar 0,01 dan maksimum epoch 1000 iterasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma *Levenberg-Marquardt* dengan model arsitektur 7-10-1 memberikan performa terbaik dengan tingkat akurasi 100% dan nilai *Mean Squared Error* (MSE) terkecil sebesar 0,0000214320 dibandingkan algoritma dan model arsitektur lainnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa algoritma *Levenberg-Marquardt* lebih unggul dalam memprediksi perkembangan PDRB di Kabupaten Simalungun. Implementasi hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu pemerintah daerah dan instansi terkait dalam memberikan informasi perkembangan PDRB di Kabupaten Simalungun, sehingga mereka dapat merancang kebijakan ekonomi yang lebih akurat dan efektif. Selain itu, penelitian ini juga memberikan kontribusi dalam pengembangan metode prediksi ekonomi berbasis kecerdasan buatan, khususnya dalam penerapan JST untuk analisis data ekonomi regional yang kompleks dan dinamis.

Kata Kunci: JST; PDRB; Kabupaten Simalungun; Lapangan Usaha; Harga Berlaku

Abstract—Gross Regional Domestic Product (GRDP) data plays a vital role as a reference in regional development planning. However, the main challenge faced is the inaccuracy of GRDP growth predictions due to complex and fluctuating economic dynamics, especially in areas such as Simalungun Regency. Therefore, this study aims to analyze the development of Gross Regional Domestic Product (GRDP) by business field based on current prices in Simalungun Regency using three Artificial Neural Network (ANN) algorithms, namely *Backpropagation*, *Bayesian Regulation*, and *Levenberg-Marquardt*. The research data is GRDP times-series data for 2015-2023 obtained from the Central Statistics Agency of Simalungun Regency. The analysis used five models of the same architecture, namely 7-5-1, 7-10-1, and 7-15-1, with a target error of 0.01 and a maximum epoch of 1000 iterations. The results of the study indicate that the *Levenberg-Marquardt* algorithm with the 7-10-1 architecture model provides the best performance with an accuracy rate of 100% and the smallest Mean Squared Error (MSE) value of 0.0000214320 compared to other algorithms and architecture models. This finding indicates that the *Levenberg-Marquardt* algorithm is superior in predicting the development of GRDP in Simalungun Regency. The implementation of the results of this study is expected to help local governments and related agencies provide information on the development of GRDP in Simalungun Regency so that they can design more accurate and effective economic policies. In addition, this study also contributes to the development of artificial intelligence-based economic prediction methods, especially in the application of JST for the analysis of complex and dynamic regional economic data.

Keywords: ANN; GRDP; Simalungun Regency; Business Field; Current Prices

1. PENDAHULUAN

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku merupakan salah satu metode penghitungan PDRB yang mengukur nilai total dari semua barang dan jasa yang dihasilkan dalam suatu wilayah [1]–[3], dengan mempertimbangkan harga barang dan jasa yang dijual dan dibeli pada saat transaksi terjadi [4]. PDRB ini membagi aktivitas ekonomi menjadi beberapa sektor atau lapangan usaha, seperti pertanian, industri, perdagangan, dan jasa, dan menghitung nilai tambah yang dihasilkan oleh masing-masing sektor berdasarkan harga pasar saat itu [5]. Metode ini memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kontribusi relatif dari masing-masing sektor terhadap ekonomi suatu daerah [6]. PDRB juga merupakan salah satu indikator utama yang digunakan untuk melihat pertumbuhan perekonomian secara riil [7]–[13]. Pertumbuhan ekonomi suatu wilayah, terutama di tingkat kabupaten seperti kabupaten Simalungun, merupakan aspek yang sangat penting bagi pembangunan dan kesejahteraan masyarakat lokal. Hal ini karena kabupaten Simalungun merupakan salah satu wilayah terluas di Provinsi Sumatera Utara [14], yang memiliki potensi ekonomi yang cukup signifikan, sehingga memiliki kepentingan besar dalam memahami dan memprediksi perkembangan PDRB nya, sebagai cerminan dari aktivitas ekonomi yang terjadi di wilayah tersebut. Sehingga pemahaman yang baik tentang faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangannya sangat penting untuk perencanaan dan pengambilan keputusan yang efektif. Sejalan dengan hal tersebut, maka analisis dan prediksi perkembangan PDRB di kabupaten Simalungun sangat penting dilakukan. Namun, proses prediksi ini tidak selalu mudah dilakukan, karena PDRB dipengaruhi oleh berbagai faktor yang kompleks dan beragam [15],

termasuk kegiatan ekonomi di berbagai sektor atau lapangan usaha [16]. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang komprehensif untuk menganalisis dan memprediksi perkembangan PDRB, terutama dengan mempertimbangkan berbagai lapangan usaha yang berbeda. Perkembangan teknologi dalam beberapa tahun terakhir terutama dalam bidang kecerdasan buatan, telah membuka peluang dalam analisis dan prediksi data ekonomi. Salah satu teknik yang menonjol adalah Jaringan Saraf Tiruan, yang telah terbukti berhasil dalam menyelesaikan masalah prediksi dan pengenalan pola [17]–[19], termasuk dalam analisis ekonomi [20]–[22]. Meskipun demikian, pemilihan algoritma dan pengaturan parameter yang tepat sangat penting untuk mencapai hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Oleh karena itu, diusulkan proposal penelitian ini untuk melakukan analisis mendalam tentang algoritma JST yang paling sesuai untuk prediksi perkembangan PDRB di kabupaten Simalungun, dengan mempertimbangkan lapangan usaha yang berbeda sebagai variabel input. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman dan informasi yang lebih baik tentang perkembangan ekonomi dalam mendukung pengambilan keputusan yang efektif terkait perencanaan ekonomi di Kabupaten Simalungun.

Pendekatan pemecahan masalah dalam penelitian ini menggunakan *Artificial Intelligence* dengan algoritma Jaringan Saraf Tiruan. Penelitian akan menggunakan data sekunder PDRB kabupaten Simalungun menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun, untuk melatih dan menguji model algoritma JST yang akan digunakan, dan untuk menganalisis dan memprediksi perkembangan PDRB di masa depan. Secara spesifik pendekatan dan strategi pemecahan masalah pada penelitian terdiri dari empat pendekatan. Pendekatan pertama berupa pemilihan data dan pengolahan awal (Strategi nya dengan mengumpulkan data historis tentang PDRB di Kabupaten Simalungun, termasuk data lapangan usaha dan harga berlaku terkait. Data tersebut akan dianalisis untuk mengetahui pola dan tren yang mendasari perkembangan PDRB). Pendekatan kedua berupa pembangunan model Jaringan Saraf Tiruan, strategi nya dengan membandingkan terlebih dahulu 3 algoritma JST: *Backpropagation*, *Bayesian Regulation*, dan *Levenberg-Marquardt*. Setelah terpilih model yang terbaik, maka akan digunakan untuk melakukan prediksi. Pendekatan ketiga berupa pelatihan dan evaluasi model, strategi nya model JST akan dilatih menggunakan teknik pembelajaran pada data historis. Selama proses pelatihan, model akan disesuaikan dan dioptimalkan untuk meningkatkan akurasi prediksi. Pendekatan keempat berupa analisis dan interpretasi hasil, strategi nya dengan menganalisis secara menyeluruh hasil prediksi dari model JST untuk mengevaluasi sejauh mana model ini mampu memprediksi perkembangan PDRB dengan akurat.

Beberapa *state of the art* yang melatarbelakangi di lakukan nya penelitian ini antara lain: Kajian analisis prediksi PDRB (*Gross Regional Domestic Product / GDP*) daerah berdasarkan Jaringan Saraf Tiruan *Radial Basis Function Neural Network* dengan *Genetic Algorithm* (RBFNN-GA) untuk Perekonomian di Provinsi Shandong, China. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi prediksi model RBFNN-GA dengan variabel input lebih tinggi, dibandingkan model RBFNN univariat, dan stabilitas model RBFNN juga lebih tinggi [23]. Penelitian untuk membangun model prediksi PDRB/GDP yang akurat dengan mengusulkan kerangka keputusan ansambel multi-prediktor baru berdasarkan *Deep Reinforcement Learning*. Pemodelan awal dilatih dengan Gated Recurrent Unit (GRU), Temporal Convolutional Network (TCN), dan Deep Belief Network (DBN) yang merupakan prediktor utama untuk melatih tiga model peramalan GDP beserta karakteristiknya. Kemudian dioptimalisasi dengan algoritma Deep Q-Network (DQN). Hasilnya algoritma DQN sangat baik dalam pembelajaran ansambel, yang secara efektif meningkatkan kinerja prediktor tunggal lebih dari 10%, sehingga dapat digunakan sebagai kerangka prediksi GDP di Shandong [24]. Berikutnya penelitian untuk memprediksi GDP Provinsi di Thailand menggunakan data satelit dan metode *machine learning*. Data satelit yang mewakili fitur fisik dan faktor lingkungan diperoleh dengan mengembangkan aplikasi berbasis web pada platform Google Earth Engine. Empat metode *machine learning* (*Generalized Least Squares*, *Neural Network*, *Random Forest*, *Support Vector Regression*) diterapkan pada data geospasial yang diperoleh untuk memprediksi GDP provinsi. Hasil nya Metode *Random Forest* mencapai kinerja prediksi tertinggi dengan akurasi 97,7%. Model *Random Forest* yang dibangun diperluas untuk melakukan analisis tingkat kepentingan variabel dan kedalaman minimal, sehingga memungkinkan kuantifikasi pengaruh suatu faktor terhadap hasil prediksi [25]. Penelitian selanjutnya dilakukan untuk prediksi GDP menggunakan metode *neural network* dengan penentuan bobot langsung berdasarkan data *time-series*, yang biasa disebut *Weights and Structure Determination* (WASD). WASD dikembangkan dengan feed-forward 3 layer baru untuk prediksi *time-series*, yang disebut *Weights and Structure Determination Time-Series* (MWASDT). Berdasarkan temuan dari enam percobaan prediksi GDP menunjukkan bahwa model MWASDT mengungguli model WASD dan beberapa model regresi lain yang tersedia melalui aplikasi pembelajar regresi MATLAB. Hasilnya, model MWASDT telah terbukti merupakan pengganti yang sangat baik terhadap model jaringan saraf regresi MATLAB untuk memprediksi GDP [26]. Penelitian berikutnya dilakukan untuk memprediksi GDP di wilayah perkotaan India menggunakan model baru yang disebut *Pearson Correlation-Long Short-Term Memory-Recurrent Neural Network* (PC-LSTM-RNN). *Pearson Correlation* digunakan untuk memilih fitur-fitur penting yang berkorelasi kuat dengan fitur target. Penelitian ini menerapkan pendekatan transfer parameter, yang menyempurnakan parameter yang dipelajari dari kumpulan dataset penelitian yang digunakan. Selain itu, pada penelitian ini dilakukan tahap *preprocessing* yang meliputi imputasi median dan normalisasi data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang diusulkan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan model regresi lain yang digunakan. Selain itu, hasilnya menunjukkan bahwa model yang diusulkan mencapai hasil tertinggi untuk koefisien determinasi (R^2), yaitu sebesar 99,99% [27].

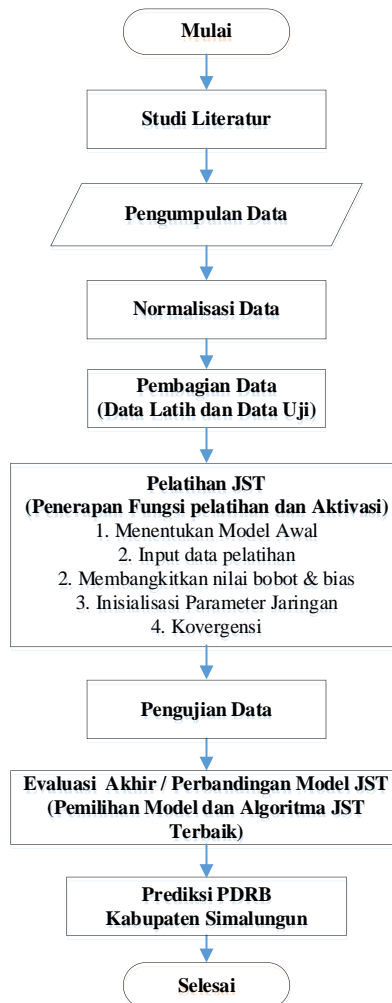
Masih banyak lagi penelitian-penelitian lainnya [28]–[36], yang mendasari dilakukannya penelitian ini, karena kemampuan dari algoritma JST maupun *machine learning* dalam menyelesaikan masalah terkait peramalan atau prediksi Produk Domestik Regional Bruto (*Gross Domestic Product*). Oleh sebab itu penelitian yang diusulkan akan memanfaatkan algoritma JST juga, untuk menyelesaikan masalah terkait prediksi data PDRB, tentu nya dengan algoritma dan dataset penelitian yang berbeda.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka kebaruan dari penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan JST dengan algoritma *Backpropagation*, *Bayesian Regularization*, dan *Levenberg-Marquardt*, yang akan dibandingkan untuk menganalisis perkembangan PDRB di Kabupaten Simalungun menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku. Penggunaan algoritma JST dalam topik PDRB, khususnya di Simalungun masih tergolong baru dan belum banyak diteliti, apalagi dengan memanfaatkan parameter-parameter fungsi pembelajaran pada algoritma JST yang terlebih dahulu dibandingkan untuk memperoleh algoritma JST terbaik dalam melakukan prediksi. Selain itu, penggunaan algoritma prediksi dalam analisis data juga dapat memberikan kebaruan dalam memprediksi kemungkinan perkembangan Ekonomi Kabupaten Simalungun di masa depan, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk merancang intervensi dan kebijakan yang lebih efektif dalam meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan original dan berpotensi untuk mengisi celah pengetahuan dalam bidang ini.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Flowchart atau Tahapan Penelitian

Flowchart atau tahapan pada penelitian ini merupakan representasi visual yang menunjukkan langkah-langkah sistematis yang harus diikuti dalam proses penelitian. Tahapan ini memberikan gambaran yang jelas tentang alur penelitian dari awal hingga akhir, yang langkah-langkah nya dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, diperlukan pendekatan sistematis yang mencakup langkah-langkah utama dalam pengolahan data dan analisis. Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang

dirancang untuk memastikan keakuratan dan keandalan hasil prediksi PDRB. Tahapan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Mengumpulkan dan menelaah literatur, artikel, jurnal, buku, dan sumber-sumber informasi lain yang berkaitan dengan topik penelitian.

b. Pengumpulan Data

Tahapan yang dilakukan pada bagian ini adalah mengumpulkan data PDRB di kabupaten Simalungun menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku. Data tersebut akan digunakan sebagai masukan untuk proses selanjutnya.

c. Normalisasi Data

Dataset penelitian akan di normalisasi terlebih dahulu menggunakan rumus normalisasi berdasarkan persamaan (1) [37]–[39].

$$x' = \frac{0,8(x-b)}{(a-b)} + 0,1 \quad (1)$$

Dimana x' merupakan hasil dari proses normalisasi, x merupakan data yang akan dinormalisasi, a merupakan data terkecil dari data penelitian, b merupakan data terbesar dari data penelitian, sedangkan 0.8 dan 0.1 merupakan nilai default untuk proses normalisasi

d. Pembagian Data (Data Latih dan data Uji)

Data pelatihan dan pengujian merujuk pada dua jenis data yang digunakan dalam proses pengembangan dan evaluasi model JST. Data pelatihan digunakan untuk melatih model. Data ini digunakan untuk mengajarkan model bagaimana harus melakukan prediksi. Data pengujian adalah data yang digunakan untuk menguji kinerja model setelah proses pelatihan selesai. Data ini digunakan untuk mengukur seberapa baik model dapat melakukan prediksi.

e. Pelatihan JST (Penerapan Fungsi Pelatihan dan Aktivasi)

Tahap ini merupakan proses di mana model awal dibangun, kemudian diberikan input data pelatihan untuk mempelajari pola-pola yang ada dalam data tersebut. Salah satu aspek penting dalam pelatihan JST adalah pemilihan fungsi pelatihan atau fungsi aktivasi yang digunakan untuk mengoptimalkan bobot dan bias.

f. Pengujian Data

Tahapan ini dilakukan untuk memastikan bahwa model atau sistem yang telah dilatih dengan data pelatihan mampu melakukan generalisasi dan bekerja dengan baik.

g. Evaluasi Akhir / Perbandingan Model JST (Pemilihan Model dan Algoritma JST Terbaik)

Bagian ini merupakan tahap pemilihan model dan algoritma JST Terbaik berdasarkan analisis dari 3 algoritma yang dibandingkan, setelah melalui tahap pelatihan, validasi, dan pengujian.

h. Prediksi PDRB Kabupaten Simalungun

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah melakukan prediksi PDRB di Kabupaten Simalungun menggunakan model algoritma JST terbaik.

Nilai Prediksi diperoleh dengan menggunakan algoritma terbaik dan berdasarkan model terbaik pula. Rumus perhitungannya diperoleh dengan membalikkan rumus persamaan (1) yang sudah dijelaskan sebelumnya [40]–[42].

$$\text{Prediksi} = \frac{(x-0,1)(b-a)}{0,8} + a \quad (2)$$

Dimana x merupakan Target prediksi, a merupakan Data terendah, b merupakan Data tertinggi, sedangkan nilai 0.1 dan 0.8 merupakan Nilai default untuk melakukan prediksi.

2.2 Metode Penelitian

a. *Backpropagation*

Metode *Backpropagation* merupakan metode pembelajaran terarah (*supervised learning*) yang digunakan untuk melatih jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network/ANN*). Algoritma ini sering digunakan untuk meminimalkan kesalahan prediksi. Algoritma *Backpropagation* bekerja dengan mengulang proses pembelajaran melalui dataset secara berulang-ulang, yang disebut epoch. Rumus-rumus inti dari algoritma *Backpropagation*, yang memungkinkan jaringan saraf untuk memperbarui bobot dan biasnya sehingga dapat meminimalkan error selama proses pelatihan antara lain:

1. Forward Propagation

Aktivasi neuron pada layer l :

$$z^{(l)} = W^{(l)}a^{(l-1)} + b^{(l)} \quad (3)$$

$$a^{(l)} = f(z^{(l)}) \quad (4)$$

Dimana: $W^{(l)}$ = matriks bobot antara layer $l-1$ dan l , $b^{(l)}$ = vektor bias untuk layer l , $a^{(l-1)}$ = output dari layer sebelumnya, f = fungsi aktivasi (misalnya, Sigmoid, ReLU, dan lain-lain)

2. Menghitung Error

Fungsi error atau loss (contoh *Mean Squared Error* untuk satu data):

$$E = \frac{1}{2} \sum (y - \hat{y}) \tag{5}$$

Dimana: y = target output, \hat{y} = output prediksi

3. Backward Propagation

Gradien error untuk layer output:

$$\delta^{(l)} = (a^{(l)} - y) \cdot f'(z^{(l)}) \tag{6}$$

Untuk layer tersembunyi l :

$$\delta^{(l)} = (W^{(l+1)} \cdot T \delta^{(l+1)}) \cdot f'(z^{(l)}) \tag{7}$$

Dimana: $\delta^{(l)}$ = gradien error pada layer l , $f'(z^{(l)})$ = turunan dari fungsi aktivasi terhadap $z^{(l)}$

4. Pembaruan Bobot

Pembaruan bobot menggunakan Gradient Descent:

$$W^{(l)} = W^{(l)} - n \cdot \delta^{(l)} \cdot (a^{(l-1)})^T \tag{8}$$

$$b^{(l)} = b^{(l)} - n \cdot \delta^{(l)}$$

Dimana n adalah *learning rate*.

b. Bayesian Regulation

Teknik ini merupakan fungsi pelatihan jaringan yang memperbarui nilai bobot dan bias menurut pengoptimalan *Levenberg-Marquardt*. Hal ini meminimalkan kombinasi kesalahan kuadrat dan bobot, dan kemudian menentukan kombinasi yang tepat sehingga menghasilkan jaringan yang tergeneralisasi dengan baik. Proses ini disebut regularisasi Bayesian. Algoritma *Bayesian Regulation* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$[net, TR] = \text{trainbr}(net, TR, \text{trainV}, \text{valV}, \text{testV}) \tag{9}$$

Keterangan : *net* merupakan Pembentukan Jaringan Syaraf. *TR* merupakan Catatan pelatihan awal yang dibuat berdasarkan data latih di setiap epoch (iterasi). *Trainbr* merupakan Fungsi pelatihan *Bayesian Regulation* *trainV* merupakan Data pelatihan yang dibuat berdasarkan data latih. *valV* merupakan Data validasi yang dibuat berdasarkan data latih. *testV* merupakan Data uji yang dibuat berdasarkan data latih

c. Levenberg-Marquardt

Teknik ini merupakan fungsi pelatihan jaringan yang memperbarui bobot dan nilai bias sesuai dengan optimasi *Levenberg-Marquardt*. Selain itu teknik *Levenberg-Marquardt* seringkali merupakan algoritma *Backpropagation* tercepat di toolbox, dan sangat direkomendasikan sebagai algoritma pengawasan pilihan pertama, meskipun membutuhkan lebih banyak memori daripada algoritma lain. Teknik *Levenberg-Marquardt* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$[net, TR] = \text{trainlm}(net, TR, \text{trainV}, \text{valV}, \text{testV}) \tag{10}$$

Keterangan : *trainlm* merupakan Fungsi pelatihan *Levenberg-Marquardt*.

2.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku, yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Simalungun [43]. Data tersebut terdiri dari: A. Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan, B. Pertambangan dan Penggalian, C. Industri Pengolahan, D. Pengadaan Listrik dan Gas, E. Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah, Limbah dan Daur Ulang, F. Konstruksi, G. Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor, H. Transportasi dan Pergudangan, I. Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum, J. Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum Informasi dan Komunikasi, K. Jasa Keuangan dan Asuransi, L. Real Estat, M. Jasa Perusahaan, N. Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan Jaminan Sosial Wajib, O. Jasa Pendidikan, P. Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial, dan Q. Jasa lainnya. Informasi lengkap nya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. PDRB Kabupaten Simalungun Menurut Lapangan Usaha Atas Dasar Harga Berlaku

No	Lapangan Usaha (PDRB)	PDRB Menurut Lapangan Usaha Atas Dasar Harga Berlaku [Seri 2010] (Milyar Rupiah)									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
A	Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	14.034,98	15.328,44	16.249,89	17.259,18	18.523,06	19.718,31	21.858,72	24.915,28	28.406,02	
B	Pertambangan dan Penggalian	66,88	73,63	78,28	83,66	88,26	89,55	93,68	98,92	106,54	
C	Industri Pengolahan	3.238,5	3.601,6	4.061,2	4.396,1	4.565,8	4.550,6	4.932,3	5.294,1	5.480,1	
		9	5	4	8	0	3	6	8	3	

No	Lapangan Usaha (PDRB)	PDRB Menurut Lapangan Usaha Atas Dasar Harga Berlaku [Seri 2010] (Milyar Rupiah)								
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
D	Pengadaan Listrik dan Gas	18,44	19,39	21,87	23,70	26,04	27,66	28,43	30,28	31,13
E	Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah, Limbah dan Daur Ulang	23,55	25,93	28,92	31,23	32,56	33,74	35,24	36,72	38,19
F	Konstruksi	2.582,2	2.967,8	3.362,8	3.739,9	4.037,5	4.041,1	4.252,7	4.602,2	4.775,9
G	Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor	6	1	2	2	6	9	0	9	5
H	Transportasi dan Pergudangan	4.042,4	4.610,7	5.234,5	5.820,4	6.389,2	6.484,1	6.747,2	7.456,1	8.221,2
I	Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum	1	9	0	8	2	6	1	9	6
J	Informasi dan Komunikasi	446,73	511,18	551,23	596,29	651,47	663,70	692,89	771,79	899,57
K	Jasa Keuangan dan Asuransi	261,74	286,29	310,59	332,38	355,38	338,56	335,35	358,92	402,84
L	Real Estat	156,23	169,73	185,92	195,22	204,44	220,92	237,49	256,34	278,12
M	Jasa Perusahaan	313,94	356,86	376,59	398,36	422,88	432,92	471,26	513,44	533,29
N	Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan Jaminan Sosial Wajib	250,60	276,20	302,69	323,76	357,10	369,00	380,78	397,64	408,81
O	Jasa Pendidikan	24,35	26,83	29,85	32,11	35,56	37,11	37,76	42,01	45,59
P	Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial	1.270,3	1.404,2	1.530,1	1.656,2	1.756,5	1.799,5	1.824,1	1.829,9	1.883,0
Q	Jasa lainnya	6	7	8	9	4	6	1	7	0
R	Total PDRB	286,08	316,10	345,45	375,98	412,33	422,37	435,90	457,10	480,38
		100,88	114,40	124,86	138,81	154,14	165,45	165,60	173,19	191,59
		29,43	33,38	37,24	41,02	45,08	46,46	47,39	51,62	56,39
		27.147,46	30.122,88	32.832,13	35.444,57	38.057,43	39.441,34	42.576,88	47.285,89	52.239,10

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 1, nilai PDRB terbesar di Kabupaten Simalungun ada pada bagian A. Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan, G. Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor, C. Industri Pengolahan, dan N. Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan Jaminan Sosial Wajib. Pada tiap tahun nya, hampir semua Data PDRB di kabupaten Simalungun selalu mengalami kenaikan, tetapi ada beberapa bagian yang tidak selalu naik, diantaranya nya: C. Industri Pengolahan, I. Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan, tidak lagi akan dibahas tahapan Studi Literatur dan Pengumpulan Data, karena sudah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya. Pada bagian ini akan di jelaskan secara terperinci mengenai tahapan Normalisasi.

3.1 Normalisasi dan Pembagian Data (Data Latih dan Data Uji)

Pada tahapan ini, data yang telah disajikan di Tabel 1 akan di normalisasi menggunakan persamaan (1), dan kemudian dibagi menjadi dua bagian (data latih dan data uji). Data tahun 2015-2021 akan digunakan sebagai input data latih, dan data tahun 2022 digunakan sebagai target (*output*) data latih. Sedangkan Data tahun 2016-2022 akan digunakan sebagai input data uji, dan data tahun 2023 digunakan sebagai target (*output*) data uji. Hasil normalisasi dan pembagian data dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Normalisasi dan Pembagian Data Latih

Data	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Target (2022)
A	0,55039	0,59195	0,62156	0,65399	0,69460	0,73301	0,80178	0,90000
B	0,10156	0,10177	0,10192	0,10210	0,10224	0,10228	0,10242	0,10259
C	0,20347	0,21514	0,22991	0,24067	0,24612	0,24563	0,25790	0,26952
D	0,10000	0,10003	0,10011	0,10017	0,10024	0,10030	0,10032	0,10038
E	0,10016	0,10024	0,10034	0,10041	0,10045	0,10049	0,10054	0,10059
F	0,18238	0,19477	0,20746	0,21958	0,22914	0,22926	0,23606	0,24729
G	0,22930	0,24756	0,26761	0,28643	0,30471	0,30776	0,31621	0,33899
H	0,11376	0,11583	0,11712	0,11857	0,12034	0,12073	0,12167	0,12421
I	0,10782	0,10861	0,10939	0,11009	0,11083	0,11029	0,11018	0,11094
J	0,10443	0,10486	0,10538	0,10568	0,10598	0,10651	0,10704	0,10764

Data	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Target (2022)
K	0,10950	0,11087	0,11151	0,11221	0,11300	0,11332	0,11455	0,11591
L	0,10746	0,10828	0,10913	0,10981	0,11088	0,11126	0,11164	0,11218
M	0,10019	0,10027	0,10037	0,10044	0,10055	0,10060	0,10062	0,10076
N	0,14023	0,14453	0,14858	0,15263	0,15585	0,15723	0,15802	0,15821
O	0,10860	0,10956	0,11051	0,11149	0,11266	0,11298	0,11341	0,11410
P	0,10265	0,10308	0,10342	0,10387	0,10436	0,10472	0,10473	0,10497
Q	0,10035	0,10048	0,10060	0,10073	0,10086	0,10090	0,10093	0,10107

Tabel 2 menunjukkan hasil normalisasi data PDRB dari tahun 2015 hingga 2021 untuk berbagai sektor (A-Q) dan target prediksi tahun 2022. Normalisasi dilakukan menggunakan metode min-max normalization untuk mengubah skala data menjadi rentang 0 hingga 1, guna meningkatkan stabilitas model prediksi. Data tahun 2015–2021 digunakan sebagai data latih, sementara nilai target tahun 2022 menjadi keluaran yang diharapkan dari model. Hasil tabel ini menunjukkan pola kontribusi tiap sektor terhadap PDRB, di mana beberapa sektor menunjukkan tren stabil, sedangkan lainnya mengalami kenaikan signifikan. Tabel ini menjadi dasar untuk melatih model prediksi berbasis Jaringan Saraf Tiruan.

Tabel 3. Hasil Normalisasi dan Pembagian Data Uji

Data	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Target (2023)
A	0,53144	0,55741	0,58586	0,62148	0,65516	0,71548	0,80162	0,90000
B	0,10153	0,10166	0,10181	0,10194	0,10198	0,10209	0,10224	0,10246
C	0,20096	0,21391	0,22335	0,22813	0,22770	0,23846	0,24866	0,25390
D	0,10000	0,10007	0,10012	0,10019	0,10023	0,10025	0,10031	0,10033
E	0,10018	0,10027	0,10033	0,10037	0,10040	0,10045	0,10049	0,10053
F	0,18309	0,19423	0,20485	0,21324	0,21334	0,21930	0,22916	0,23405
G	0,22940	0,24697	0,26349	0,27952	0,28219	0,28961	0,30959	0,33115
H	0,11386	0,11499	0,11626	0,11781	0,11816	0,11898	0,12120	0,12481
I	0,10752	0,10821	0,10882	0,10947	0,10899	0,10890	0,10957	0,11081
J	0,10424	0,10469	0,10496	0,10522	0,10568	0,10615	0,10668	0,10729
K	0,10951	0,11007	0,11068	0,11137	0,11165	0,11273	0,11392	0,11448
L	0,10724	0,10798	0,10858	0,10952	0,10985	0,11018	0,11066	0,11097
M	0,10021	0,10029	0,10036	0,10046	0,10050	0,10052	0,10064	0,10074
N	0,13903	0,14258	0,14613	0,14896	0,15017	0,15086	0,15103	0,15252
O	0,10836	0,10919	0,11005	0,11107	0,11136	0,11174	0,11234	0,11299
P	0,10268	0,10297	0,10337	0,10380	0,10412	0,10412	0,10433	0,10485
Q	0,10039	0,10050	0,10061	0,10072	0,10076	0,10079	0,10091	0,10104

Tabel 3 menyajikan hasil normalisasi data PDRB untuk periode 2016 hingga 2022 sebagai data uji, dengan target prediksi untuk tahun 2023. Data sektor (A-Q) telah dinormalisasi menggunakan metode min-max normalization untuk memastikan konsistensi skala dalam rentang 0 hingga 1, seperti pada data latih. Tahun 2016–2022 digunakan sebagai input model untuk mengevaluasi kemampuan model dalam memprediksi nilai target 2023. Hasil tabel ini menggambarkan pola kontribusi setiap sektor terhadap PDRB selama periode uji, dengan beberapa sektor menunjukkan stabilitas, sementara sektor lain menunjukkan tren kenaikan. Tabel ini penting untuk mengukur performa model dalam memprediksi nilai PDRB berdasarkan data historis yang belum pernah dilatih sebelumnya.

3.2 Pelatihan JST (Penerapan Fungsi Pelatihan dan Aktivasi)

Setelah tahapan normalisasi dan pembagian data selesai dilakukan, selanjutnya adalah melakukan analisis perbandingan terhadap kemampuan 3 algoritma JST (*Backpropagation*, *Bayesian Regulation*, dan *Levenberg-Marquardt*), serta model arsitektur jaringan yang akan digunakan (7-5-1, 7-10-1, dan 7-15-1), dan melatihnya dengan bantuan tools Matlab R2011b. Fungsi aktivasi yang digunakan untuk pelatihan adalah *tansig* dan *logsig*.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Data Pelatihan

Algoritma	Arsitektur	Iterasi	Fungsi Aktivasi	MSE Latih
<i>Backpropagation</i> (traingd)	7-5-1	1000	<i>tansig, logsig</i>	0,0367653404
	7-10-1	1000		0,0071242322
	7-15-1	1000		0,0003681777
<i>Bayesian Regulation</i> (trainbr)	7-5-1	157		0,0000000131
	7-10-1	651		0,0000000051
	7-15-1	534		0,0000000051
<i>Levenberg-Marquardt</i> (trainlm)	7-5-1	525	0,0000000021	
	7-10-1	45	0,0000000179	

Algoritma	Arsitektur	Iterasi	Fungsi Aktivasi	MSE Latih
	7-15-1	448		0,0000000051

Perbandingan hasil data pelatihan dari masing-masing algoritma dapat dilihat pada Tabel 4. Berdasarkan analisis dari masing-masing algoritma yang dilatih menggunakan 3 model arsitektur, algoritma *Backpropagation* memperoleh hasil pelatihan terbaik pada model 7-15-1, dengan nilai MSE (kesalahan) sebesar 0,0003681777. Algoritma *Bayesian Regulation* memperoleh hasil pelatihan terbaik pada model 7-10-1 dan 7-15-1, dengan nilai MSE (kesalahan) yang sama sebesar 0,0000000051. Sedangkan Algoritma *Levenberg-Marquardt* memperoleh hasil pelatihan terbaik pada model 7-5-1, dengan nilai MSE (kesalahan) yang sama sebesar 0,0000000021.

3.3 Pengujian Data

Hasil pelatihan dan hasil dari seluruh model arsitektur yang digunakan, selanjutnya akan di uji untuk melihat *Performance* (kemampuan) masing-masing algoritma. Pengujian Algoritma dengan masing-masing model arsitektur yang memiliki tingkat kesalahan terendah (terkecil), akan dipilih sebagai algoritma dan model terbaik yang selanjutnya akan digunakan untuk memprediksi PDRB di Kabupaten Simalungun.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Data Pengujian

Algoritma	Arsitektur	Iterasi	Fungsi Aktivasi	MSE Uji
<i>Backpropagation</i>	7-5-1	1000		0,0351180931
<i>Bayesian Regulation</i>	7-5-1	157		0,0000270197
<i>Levenberg-Marquardt</i>	7-5-1	525		0,0003442805
<i>Backpropagation</i>	7-10-1	1000		0,0052459850
<i>Bayesian Regulation</i>	7-10-1	651	<i>tansig, logsig</i>	0,0000954303
<i>Levenberg-Marquardt</i>	7-10-1	45		0,0000214320
<i>Backpropagation</i>	7-15-1	1000		0,0002888588
<i>Bayesian Regulation</i>	7-15-1	534		0,0000935432
<i>Levenberg-Marquardt</i>	7-15-1	448		0,0001062713

Tabel 5 merupakan hasil pengujian data pada masing-masing algoritma. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa setelah dilakukan pengujian, algoritma *Levenberg-Marquardt* dengan model arsitektur 7-10-1 menghasilkan tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan dengan algoritma dan model arsitektur yang lain, yakni sebesar 0,0000214320.

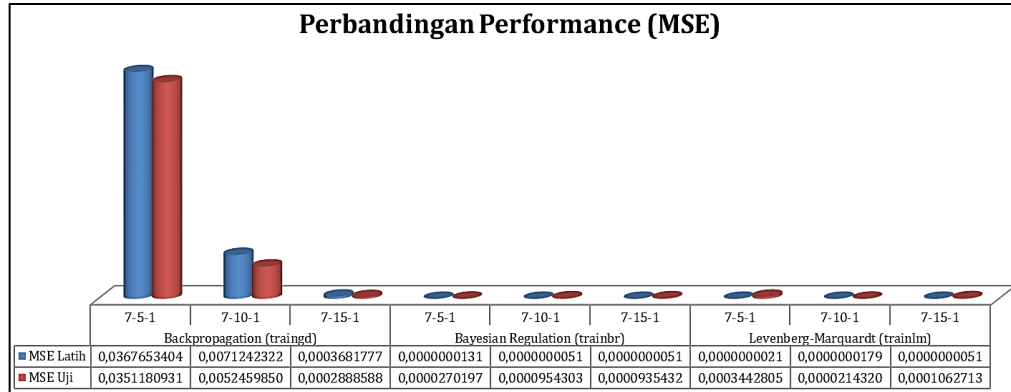
3.4 Evaluasi Akhir atau Perbandingan Model JST (Pemilihan Model dan Algoritma JST Terbaik)

Setelah dilakukan pelatihan dan pengujian berdasarkan data penelitian yang digunakan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi akhir terhadap seluruh model arsitektur dan algoritma yang digunakan. Tolak ukur dari evaluasi akhir ini, untuk melihat model arsitektur dan algoritma terbaik adalah dengan melihat nilai kesalahan terkecil yang dihasilkan pada data pengujian (MSE Uji). Hasil Evaluasi akhir dan perbandingan model JST yang digunakan secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 6 dan berikut ini.

Tabel 6. Evaluasi Akhir / Perbandingan Model JST

Algoritma	Arsitektur	Iterasi	Fungsi Aktivasi	MSE Latih	MSE Uji
<i>Backpropagation (traingd)</i>	7-5-1	1000		0,0367653404	0,0351180931
	7-10-1	1000		0,0071242322	0,0052459850
	7-15-1	1000		0,0003681777	0,0002888588
<i>Bayesian Regulation (trainbr)</i>	7-5-1	157		0,0000000131	0,0000270197
	7-10-1	651	<i>tansig, logsig</i>	0,0000000051	0,0000954303
	7-15-1	534		0,0000000051	0,0000935432
<i>Levenberg-Marquardt (trainlm)</i>	7-5-1	525		0,0000000021	0,0003442805
	7-10-1	45		0,0000000179	0,0000214320
	7-15-1	448		0,0000000051	0,0001062713

Tabel 6 menyajikan perbandingan performa algoritma JST (*Backpropagation*, *Bayesian Regulation*, dan *Levenberg-Marquardt*) pada arsitektur 7-5-1, 7-10-1, dan 7-15-1 berdasarkan iterasi, fungsi aktivasi, serta MSE data latih dan uji. *Levenberg-Marquardt* dengan arsitektur 7-10-1 unggul dengan MSE terkecil (0,0000214320) dan iterasi rendah (45), menunjukkan efisiensi tinggi. Sebaliknya, *Backpropagation* memerlukan iterasi maksimum (1000) dengan MSE lebih besar, sementara *Bayesian Regulation* cukup baik namun lebih banyak iterasi dibanding *Levenberg-Marquardt*. Hal ini menegaskan keunggulan *Levenberg-Marquardt* dalam prediksi PDRB.



Gambar 2. Perbandingan Performance (MSE Uji)

Berdasarkan Gambar 2, terlihat jelas perbandingan hasil dari 3 algoritma dan 3 model arsitektur yang digunakan dalam penelitian ini. Evaluasi akhir diperoleh bahwa algoritma *Levenberg-Marquardt* dengan model arsitektur 7-10-1 terpilih sebagai algoritma dan model terbaik, yang nanti nya akan digunakan sebagai pedoman untuk melakukan prediksi. Landasan evaluasi adalah nilai MSE uji yang paling terendah (kecil), karena *Mean Squared Error* (MSE) merupakan suatu ukuran statistik yang digunakan untuk menilai seberapa dekat nilai yang diprediksi oleh model dengan nilai sebenarnya dalam sebuah dataset.

3.5 Prediksi PDRB Kabupaten Simalungun

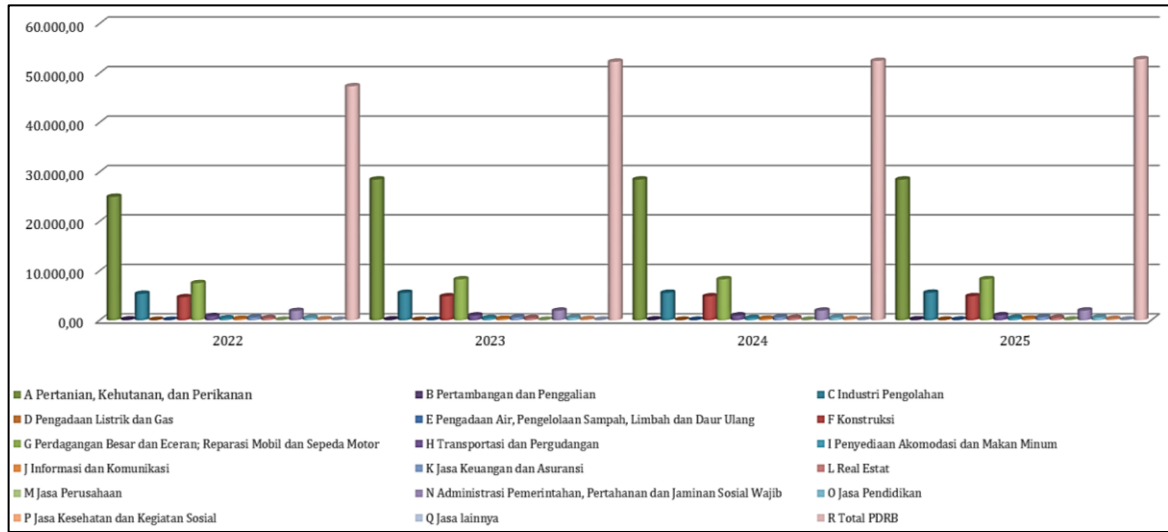
Nilai Prediksi diperoleh dengan menggunakan algoritma *Levenberg-Marquardt* berdasarkan model terbaik 7-10-1. Rumus perhitungannya diperoleh dengan menggunakan rumus persamaan (2) yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 7. Prediksi PDRB Kabupaten Simalungun (Milyar Rupiah)

No	Lapangan Usaha (PDRB)	PDRB Sebelumnya		Hasil Prediksi	
		2022	2023	2024	2025
A	Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan	24.915,2	28.406,0	28406,02	28.406,0
B	Pertambangan dan Penggalian	8	2	2	2
C	Industri Pengolahan	98,92	106,54	112,71	141,03
D	Pengadaan Listrik dan Gas	5.294,18	5.480,13	5489,75	5.508,30
E	Pengadaan Air, Pengelolaan Sampah, Limbah dan Daur Ulang	30,28	31,13	45,32	66,59
F	Konstruksi	36,72	38,19	48,86	73,68
G	Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor	4.602,29	4.775,95	4787,47	4.806,37
H	Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor	7.456,19	8.221,26	8231,47	8.248,65
I	Transportasi dan Pergudangan	771,79	899,57	910,75	935,13
J	Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum	358,92	402,84	414,19	435,28
K	Informasi dan Komunikasi	256,34	278,12	290,05	311,20
L	Jasa Keuangan dan Asuransi	513,44	533,29	545,42	566,45
M	Real Estat	397,64	408,81	417,74	442,37
N	Jasa Perusahaan	42,01	45,59	59,50	80,77
O	Administrasi Pemerintahan, Pertahanan dan Jaminan Sosial Wajib	1.829,97	1.883,00	1893,23	1.913,58
P	Jasa Pendidikan	457,10	480,38	492,22	513,27
Q	Jasa Kesehatan dan Kegiatan Sosial	173,19	191,59	204,93	226,12
R	Jasa lainnya	51,62	56,39	70,15	91,40
R	Total PDRB	47.285,8	52.239,1	52.419,7	52.766,2
		9	0	9	0

Tabel 7 menyajikan prediksi PDRB Kabupaten Simalungun untuk tahun 2023 hingga 2025 berdasarkan data sebelumnya tahun 2022. Secara keseluruhan, PDRB Kabupaten Simalungun diproyeksikan meningkat dari Rp47.285,89 miliar pada tahun 2022 menjadi Rp52.766,20 miliar pada tahun 2025. Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan tetap menjadi kontributor terbesar dengan PDRB yang stabil, sedangkan sektor seperti Pengadaan Listrik dan Gas serta Pengadaan Air menunjukkan pertumbuhan signifikan, mencerminkan potensi pengembangan di sektor tersebut. Beberapa sektor seperti Jasa Perusahaan dan Jasa Lainnya juga mencatatkan peningkatan tajam, menunjukkan potensi kontribusi yang lebih besar di masa depan. Prediksi ini memberikan

gambaran positif tentang pertumbuhan ekonomi Kabupaten Simalungun dengan kontribusi yang bervariasi antar sektor.



Gambar 3. Nilai PDRB sebelumnya dan Nilai Prediksi PDRB (2 tahun)

Gambar 3 menyajikan diagram batang yang menggambarkan proyeksi PDB (Produk Domestik Bruto) berbagai sektor di Kabupaten Simalungun selama empat tahun (2022-2025). Grafik tersebut menampilkan nilai PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) untuk masing-masing sektor ekonomi, seperti pertanian, pertambangan, konstruksi, transportasi, pendidikan, jasa kesehatan, dan lain-lain. Warna yang berbeda mewakili sektor tertentu, dengan total PDRB ditampilkan sebagai nilai tertinggi setiap tahunnya. Khususnya, proyeksi PDB untuk sektor-sektor seperti listrik dan pasokan air, serta pendidikan menunjukkan pertumbuhan substansial dari waktu ke waktu, mencerminkan antisipasi ekspansi ekonomi di bidang-bidang tersebut. Grafik tersebut secara visual menyoroti perkiraan tren kenaikan PDRB di wilayah tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa analisis Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) menurut lapangan usaha atas dasar harga berlaku di Kabupaten Simalungun menggunakan algoritma Jaringan Saraf Tiruan (JST) telah berhasil memberikan hasil yang akurat dan signifikan. Penelitian ini membandingkan tiga algoritma JST, yaitu *Backpropagation*, *Bayesian Regulation*, dan *Levenberg-Marquardt*, dengan menggunakan lima model arsitektur yang sama (7-5-1, 7-10-1, 7-15-1, 7-20-1, dan 7-25-1). Berdasarkan analisis yang dilakukan, algoritma *Levenberg-Marquardt* dengan model arsitektur 7-10-1 menunjukkan performa terbaik dalam memprediksi perkembangan PDRB di Kabupaten Simalungun, dengan tingkat akurasi 100% dan nilai *Mean Squared Error* (MSE) terkecil sebesar 0,0000214320 dibandingkan dengan algoritma lainnya. Temuan ini menunjukkan bahwa algoritma *Levenberg-Marquardt* memiliki kemampuan yang unggul dalam menangani data ekonomi time-series yang kompleks dan dinamis. Hal ini penting karena ketepatan prediksi perkembangan PDRB akan sangat membantu dalam perencanaan pembangunan daerah yang lebih efektif dan tepat sasaran. Dengan informasi prediksi yang akurat, pemerintah daerah Kabupaten Simalungun dapat mengidentifikasi sektor-sektor yang memerlukan perhatian khusus dan dapat memprioritaskan program-program yang berpotensi meningkatkan produktivitas dan pertumbuhan ekonomi. Selain itu, hasil penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode prediksi ekonomi berbasis kecerdasan buatan, terutama dalam konteks analisis data ekonomi regional. Metode ini dapat diterapkan tidak hanya untuk Kabupaten Simalungun tetapi juga untuk daerah lain yang memerlukan analisis prediksi PDRB yang akurat sebagai acuan dalam pengambilan keputusan ekonomi. Keberhasilan penggunaan JST, terutama algoritma *Levenberg-Marquardt*, menunjukkan potensi besar dalam penerapan teknologi kecerdasan buatan untuk mendukung pengambilan kebijakan yang berbasis data. Secara keseluruhan, penelitian ini menjawab pertanyaan utama tentang algoritma JST mana yang paling efektif dalam memprediksi perkembangan PDRB, dan hasilnya menegaskan bahwa *Levenberg-Marquardt* adalah pilihan terbaik untuk kasus studi ini. Hasil ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan strategi pembangunan ekonomi daerah yang lebih baik di masa mendatang.

REFERENCES

- [1] R. Lehmann, *The Forecasting Power of the ifo Business Survey*, vol. 19, no. 1. Springer International Publishing, 2023. doi: 10.1007/s41549-022-00079-5.
- [2] R. Jayathilaka *dkk.*, "Gross domestic product and logistics performance index drive the world trade: A

- study based on all continents,” *PLoS ONE*, vol. 17, no. 3 March, hal. 1–16, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0264474.
- [3] F. Kurniawan dan A. Mansyur, “Pemodelan Matematis Produk Domestik Regional Bruto Provinsi Sumatera Utara Berdasarkan Lapangan Usaha Dengan Regresi Linier Dan Nonlinier,” *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 1, hal. 145–158, 2023, doi: 10.58169/saintek.v2i1.153.
- [4] F. N. Zulfa dan N. Millati, “Analisis Pengaruh Produk Domestik Bruto (PDB), Nilai Tukar, Dan Suku Bunga Terhadap Foreign Direct Investment (FDI) Di Indonesia Periode Tahun 2015Q1 – 2022Q4,” *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 16, hal. 233–249, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8238096.
- [5] Andriansyah, A. Nurwanda, dan B. Rifai, “Structural Change and Regional Economic Growth in Indonesia,” *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, vol. 59, no. 1, hal. 91–117, 2023, doi: 10.1080/00074918.2021.1914320.
- [6] M. I. Sadali dan A. Musthofa, “Pergeseran Peran Sektor Ekonomi dan Pembangunan Infrastruktur di Yogyakarta Tahun 2016-2021,” *Media Komunikasi Geografi*, vol. 24, no. 2, hal. 153–167, 2023, doi: 10.23887/mkg.v24i2.65443.
- [7] S. C. Kaminitz, “The significance of GDP: a new take on a century-old question,” *Journal of Economic Methodology*, vol. 30, no. 1, hal. 1–14, 2023, doi: 10.1080/1350178X.2023.2167228.
- [8] P. K. Ozili, O. Oladipo, dan P. T. Iorember, “Effect of abnormal increase in credit supply on economic growth in Nigeria,” *African Journal of Economic and Management Studies*, vol. 14, no. 4, hal. 583–599, 2023, doi: 10.1108/AJEMS-02-2022-0036.
- [9] P. K. Ozili, A. Ademiju, dan S. Rachid, “Impact of financial inclusion on economic growth: review of existing literature and directions for future research,” *International Journal of Social Economics*, vol. 50, no. 8, hal. 1105–1122, 2022, doi: 10.1108/IJSE-05-2022-0339.
- [10] R. Khalfaoui, A. K. Tiwari, U. Khalid, dan M. Shahbaz, “Nexus between carbon dioxide emissions and economic growth in G7 countries: fresh insights via wavelet coherence analysis,” *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 66, no. 1, hal. 31–66, 2023, doi: 10.1080/09640568.2021.1978062.
- [11] D. Charlier dan F. Fizaine, “Decoupling gross domestic product and consumption of raw materials: A macro-panel analysis,” *Sustainable Production and Consumption*, vol. 36, hal. 194–206, Mar 2023, doi: 10.1016/J.SPC.2022.12.020.
- [12] M. Bi, “Impact of COVID-19 on environmental regulation and economic growth in China: A Way forward for green economic recovery,” *Economic Analysis and Policy*, vol. 77, hal. 1001–1015, Mar 2023, doi: 10.1016/J.EAP.2022.12.015.
- [13] T. S. Adebayo, S. Saint Akadiri, J. S. Riti, dan A. T. Odu, “Interaction among geopolitical risk, trade openness, economic growth, carbon emissions and Its implication on climate change in india,” *Energy & Environment*, vol. 34, no. 5, hal. 1305–1326, 2023, doi: 10.1177/0958305X221083236.
- [14] B. Maduwu, G. B. Panjaitan, E. Simarmata, R. Munte, dan C. Tobing, “Analisis Pertumbuhan Ekonomi Di Kabupaten Simalungun Tahun 2017-2021,” *Cendekia Niaga*, vol. 7, no. 2, hal. 153–160, 2023, doi: 10.52391/jcn.v7i2.790.
- [15] R. Setiyaningrum dan R. Erdkhadifa, “Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Ekonomi Di Daerah Istimewa Yogyakarta,” *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, vol. 6, no. 2022, hal. 445–457, 2023, doi: 10.31004/jrpp.v6i4.20065.
- [16] Fanny Asyifa Br. Lumban Tobing dan Marliyah Marliyah, “Kajian Kontribusi Sektor Pertanian Terhadap Produk Domestik Regional Bruto Di Kabupaten Labuhan Batu Tahun 2018- 2022,” *Journal Economic Excellence Ibnu Sina*, vol. 2, no. 1, hal. 234–245, 2023, doi: 10.59841/excellence.v2i1.1015.
- [17] J. Khan, E. Lee, dan K. Kim, “A higher prediction accuracy-based alpha-beta filter algorithm using the feedforward artificial neural network,” *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, vol. 8, no. 4, hal. 1124–1139, 2023, doi: 10.1049/cit2.12148.
- [18] S. Yu dkk., “Artificial Neural Network-Based Activities Classification, Gait Phase Estimation, and Prediction,” *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 51, hal. 1471–1484, 2023, doi: 10.1007/s10439-023-03151-y.
- [19] A. Goel, A. K. Goel, dan A. Kumar, “The role of artificial neural network and machine learning in utilizing spatial information,” *Spatial Information Research*, vol. 31, no. 3, hal. 275–285, 2023, doi: 10.1007/s41324-022-00494-x.
- [20] F. Dube, N. Nzimande, dan P.-F. Muzindutsi, “Application of artificial neural networks in predicting financial distress in the JSE financial services and manufacturing companies,” *Journal of Sustainable Finance & Investment*, vol. 13, no. 1, hal. 723–743, 2023, doi: 10.1080/20430795.2021.2017257.
- [21] F. J. Delgado, E. Fernández-Rodríguez, R. García-Fernández, M. Landajo, dan A. Martínez-Arias, “Tax avoidance and earnings management: a neural network approach for the largest European economies,” *Financial Innovation*, vol. 9, no. 19, hal. 1–25, 2023, doi: 10.1186/s40854-022-00424-8.
- [22] M. E. Lokanan, “Predicting Money Laundering Using Machine Learning and Artificial Neural Networks Algorithms in Banks,” *Journal of Applied Security Research*, vol. 19, no. 1, hal. 20–44, 2024, doi: 10.1080/19361610.2022.2114744.
- [23] Q. Zhang, A. R. Abdullah, C. W. Chong, dan M. H. Ali, “A Study on Regional GDP Forecasting Analysis

- Based on Radial Basis Function Neural Network with Genetic Algorithm (RBFNN-GA) for Shandong Economy,” *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, hal. 1–12, 2022, doi: 10.1155/2022/8235308.
- [24] Q. Li, C. Yu, dan G. Yan, “A New Multipredictor Ensemble Decision Framework Based on Deep Reinforcement Learning for Regional GDP Prediction,” *IEEE Access*, vol. 10, hal. 45266–45279, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3170905.
- [25] N. Puttanapong, N. Prasertsoong, dan W. Peechapat, “Predicting Provincial Gross Domestic Product Using Satellite Data and Machine Learning Methods: A Case Study of Thailand,” *Asian Development Review*, vol. 40, no. 2, hal. 39–85, 2023, doi: 10.1142/S0116110523400024.
- [26] S. D. Mourtas, E. Drakonakis, dan Z. Bragoudakis, “Forecasting the gross domestic product using a weight direct determination neural network,” *AIMS Mathematics*, vol. 8, no. 10, hal. 24254–24273, 2023, doi: 10.3934/math.20231237.
- [27] M. Y. Shams, Z. Tarek, E. Sayed, M. El, M. M. Eid, dan A. M. Elshewey, “Predicting Gross Domestic Product (GDP) using a PC-LSTM-RNN model in urban profiling areas,” *Computational Urban Science*, vol. 4, no. 3, hal. 1–21, 2024, doi: 10.1007/s43762-024-00116-2.
- [28] A. E. Tümer dan E. Kabaklarlı, “Forecasting Gross Domestic Product (GDP) of OECD Countries Based on Digital Transformation Indicators: ANN Approach,” *EDPACS*, vol. 69, no. 1, hal. 88–102, 2024, doi: 10.1080/07366981.2024.2312015.
- [29] İ. Yenilmez dan F. Mugenzi, “Estimation of conventional and innovative models for Rwanda’s GDP per capita: A comparative analysis of artificial neural networks and Box–Jenkins methodologies,” *Scientific African*, vol. 22, hal. e01902, Nov 2023, doi: 10.1016/J.SCIAF.2023.E01902.
- [30] X. Xu, R. A. Rogers, dan M. A. R. Estrada, “A Novel Prediction Model: ELM-ABC for Annual GDP in the Case of SCO Countries,” *Computational Economics*, vol. 62, no. 4, hal. 1545–1566, 2023, doi: 10.1007/s10614-022-10311-0.
- [31] A. G. Billé, A. Tomelleri, dan F. Ravazzolo, “Forecasting regional GDPs: a comparison with spatial dynamic panel data models,” *Spatial Economic Analysis*, vol. 18, no. 4, hal. 530–551, 2023, doi: 10.1080/17421772.2023.2199034.
- [32] L. Methods dan U. S. G. D. P. Growth, “Comparing Out-of-Sample Performance of Machine,” *Computational Economics*, vol. 62, no. 1, hal. 1567–1609, 2023, doi: 10.1007/s10614-022-10312-z.
- [33] S. Ghosh dan A. Ranjan, “A Machine Learning Approach to GDP Nowcasting: An Emerging Market Experience,” *Bulletin of Monetary Economics and Banking*, vol. 26, hal. 33–54, 2023, doi: 10.59091/1410-8046.2055.
- [34] M. M. Bukhari, B. F. Alkhamees, S. Hussain, A. Gumaei, A. Assiri, dan S. S. Ullah, “An Improved Artificial Neural Network Model for Effective Diabetes Prediction,” *Complexity*, vol. 2021, no. 1, hal. 1–10, 2021, doi: 10.1155/2021/5525271.
- [35] A. Kurani, P. Doshi, A. Vakharia, dan M. Shah, “A Comprehensive Comparative Study of Artificial Neural Network (ANN) and Support Vector Machines (SVM) on Stock Forecasting,” *Annals of Data Science*, vol. 10, no. 1, hal. 183–208, 2023, doi: 10.1007/s40745-021-00344-x.
- [36] C. Lu, S. Li, dan Z. Lu, “Building energy prediction using artificial neural networks: A literature survey,” *Energy and Buildings*, vol. 262, hal. 111718, Mei 2022, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111718.
- [37] I. S. Purba dkk., “Accuracy Level of Backpropagation Algorithm to Predict Livestock Population of Simalungun Regency in Indonesia,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, hal. 012014. doi: 10.1088/1742-6596/1255/1/012014.
- [38] A. Wanto dan J. T. Hardinata, “Estimations of Indonesian poor people as poverty reduction efforts facing industrial revolution 4.0,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 725, no. 1, hal. 012114, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012114.
- [39] A. Wanto, S. Defit, dan A. P. Windarto, “Algoritma Fungsi Pelatihan pada Machine Learning berbasis ANN untuk Peramalan Fenomena Bencana,” *RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, vol. 5, no. 2, hal. 254–264, 2021, doi: 10.29207/resti.v5i2.3031.
- [40] I. Zuhrufillah, F. Anggraini, dan R. Dewantara, “Peramalan Jumlah Kasus Baru HIV Menurut Provinsi Menggunakan Machine Learning dengan Teknik Levenberg–Marquardt,” *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, vol. 3, no. 4, hal. 212–221, 2022, doi: 10.47065/josyc.v3i4.2172.
- [41] A. Anas Manurung, I. Satria, dan A. Wanto, “Prediksi Perkembangan Produksi Tanaman Sayuran Dalam Upaya Pemenuhan Gizi Masyarakat dengan Algoritma Resilient,” *Jurnal Riset Sistem Informasi Dan Teknik Informatika (JURASIK)*, vol. 8, no. 2, hal. 802–815, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jurasik>
- [42] Safruddin, E. Efendi, R. M. Ch, dan A. Wanto, “Pemanfaatan Algoritma BFGS Quasi-Newton untuk Melihat Potensi Perkembangan Luas Tanaman Kopi di Pulau Sumatera,” *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 7, no. 1, hal. 473–483, 2023, doi: 10.30865/mib.v7i1.5524.
- [43] BPS, “PDRB Menurut Lapangan Usaha Atas Dasar Harga Berlaku [Seri 2010] (Milyar Rupiah),” *Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun*, 2024. <https://simalungunkab.bps.go.id/indicator/155/116/1/pdrb-menurut-lapangan-usaha-atas-dasar-harga-berlaku-seri-2010-.html> (diakses 26 Maret 2024).