

**PENERAPAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* ALGORITMA
BACKPROPAGATION PADA PREDIKSI PRODUKSI SUMUR
GAS DI *OIL AND GAS COMPANY* SUMATERA BAGIAN
SELATAN**

TESIS

**Tesis diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik**



Disusun oleh:

NAMA : ROFINGI AJI, S.T.

NIM : 200121801005

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Rofingi Aji, S.T.
NIM : 200121801005
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Penerapan *Artificial Neural Network* Algoritma *Backpropagation* Pada Prediksi Produksi Sumur Gas Di *Oil And Gas Company* Sumatera Bagian Selatan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

Pembimbing 1



Dr.Eng. Yanuar Zulardiansyah Arief, C.Eng.
NIK. S092019110003

Pembimbing 2



Sinka Wilyanti, S.T., M.T.
NIK. S092012120066

Ketua Program Studi
Magister Teknik Elektro



Sinka Wilyanti, S.T., M.T.
NIK. S092012120066

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Februari 2024

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Rofingi Aji
NIM : 200121801005
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul Tesis : Penerapan *Artificial Neural Network* Algoritma
Backpropagation Pada Prediksi Produksi Sumur
Gas Di *Oil And Gas Company* Sumatera Bagian
Selatan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1 : Dr. Ir. Sidik Mulyono, M.Eng ()
Penguji 2 : Ir. Jakfat Haekal, S.Tr.T., M.T., Ph.D. ()
Penguji 3 : Dr. Antonius Darma Setiawan, S.Si., M.T. ()
Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 4 Februari 2024

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rofingi Aji, S.T.
NIM : 200121801005
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Penerapan *Artificial Neural Network* Algoritma *Backpropagation* Pada Prediksi Produksi Sumur Gas Di *Oil And Gas Company* Sumatera Bagian Selatan”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Non-eksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 4 Februari 2024

Yang menyatakan



Rofingi Aji, S.T.
NIM. 200121801005

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 4 Februari 2024

Mahasiswa,

 
Rofing Aji, S.T.
NIM. 200121801005

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualikum Warrohmatullahi Wabarokatuh,

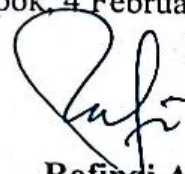
Puji syukur saya panjatkan kepada Alloh SWT - Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. apt. Eddy Yusuf, M.Pharm., Ph.D. selaku Rektor Universitas Global Jakarta.
2. Adhes Gamayel, S.T., M.T., Ph.D. selaku Wakil Rektor I Bidang Akademik Universitas Global Jakarta.
3. Dr.Eng. Yanuar Zulardiansyah Arief, C.Eng dan Sinka Wilyanti, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini.
4. Orang tua tercinta Ayahanda H. Kadiyono dan (Almh) Ibunda Hj. Marsiyah.
5. Istriku tercinta – Syaripah Wilianti, Anak- anakku : Najwa Azzahra Khaila Rofyah, Azizah Khairani Rofsyah, Zahirah Balqis Fazila Rofsyah, Syakhira Huwaida Rofsyah dan Nazirah Hafsah Ramadhanti Rofsyah yang memberikan supportnya baik doa, tenaga dan material.
6. Rekan - rekan di PetroChina International Jabung Ltd- Project Departemen.
7. Rekan - rekan Mahasiswa Magister Teknik Elektro yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
8. Akhir kata, saya berharap Alloh SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalaamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Depok, 4 Februari 2024

Penulis



Rofing Aji, S.T.

NIM. 200121801005

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Alloh SWT, atas izin serta dan ridho-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan dan dipertanggungjawabkan dengan baik. Tentunya dalam proses penyusunan tesis ini banyak sekali bantuan moril serta materiil yang saya dapatkan dari berbagai pihak yang dalam hal ini tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu namun tidak mengurangi rasa terima kasih serta hormat saya sebagai penulis.

Tesis ini membahas tentang penelitian implementasi (ANN) *Artificial Nueral Network Algoritma Back Propagation* dalam memprediksi suatu produksi sumur gas di salah satu perusahaan minyak dan gas di daerah sumatera bagian selatan. Diharapkan dengan implementasi ini perusahaan dapat melakukan optimisasi produksi gas serta melakukan *forescasting* produksi setiap sumur sehingga dapat memenuhi target produksi yang sudah menjadi salah satu target lifting gas yang telah di canangkan oleh pemerintah.

Walaupun membutuhkan pengembangan lebih lanjut atas implementasi ANN dalam *forescasting* sumur gas, penulis menyadari bahwa sangat diperlukan masukan, kritik serta saran sebagai upaya pengembangan kedepannya. Terima kasih

Depok, 4 Februari 2024

Penulis



Rofingi Aji, S.T.

NIM. 200121801005

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) dengan algoritma Propagasi Balik dalam peramalan produksi gas alam. Metode ini akan digunakan untuk memodelkan prediksi produksi gas alam dengan tujuan mencapai nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terkecil. Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini mencakup informasi produksi sumur-sumur gas alam selama periode Januari hingga Desember 2022. Data ini akan digunakan sebagai *dataset* pelatihan dan pengujian model jaringan saraf tiruan. Dengan metode *sigmoid* yang digunakan dan dari hasil penelitian menunjukkan arsitektur neuron 16-4-1 dengan nilai akurasi terbaik sebesar 99,97808219 % dan nilai persentase MAPE terendah sebesar 2,191780822 %. Sehingga diperoleh nilai prediksi pada model prediksi produksi sumur gas ini dapat menjadi gambaran kompleksitas data historis produksi harian dari sumur-sumur produksi. Selain itu, model ini dapat memberikan alat peramalan yang bermanfaat untuk meningkatkan produktivitas gas alam dari sumur-sumur produksi yang ada.

Kata kunci: Algoritma Propagasi Balik, Jaringan Saraf Tiruan, *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), Sigmoid Method, Peramalan, Produksi Gas Alam.

ABSTRACT

This research aims to investigate the application of the Artificial Neural Network (ANN) with Backpropagation algorithm in forecasting natural gas production. The methodology involves modeling the prediction of natural gas production with the objective of achieving the lowest Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The data collected for this study encompasses production data from natural gas wells during the period from January to December 2022. This dataset will be utilized for both training and testing the artificial neural network model. With sigmoid method the research results show a neural architecture of 16-4-1 neurons with the best accuracy value of 99.97808219% and the lowest MAPE percentage value of 2.191780822%. This predictive model for gas well production provides insight into the complexity of historical daily production data from production wells. Additionally, the model serves as a useful forecasting tool to enhance the productivity of natural gas from existing production wells.

Keywords: *Artificial Neural Network, Backpropagation Algorithm, Forecasting, Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Sigmoid Method, Natural Gas Production.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	i
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 Pengenalan Kecerdasan Artifisial	5
2.1.2 Implementasi Jaringan Saraf Tiruan dalam Peramalan Gas Alam	6
2.1.3 Studi Kasus: Implementasi Jaringan Saraf Tiruan pada Produksi Gas Alam.....	7
2.2 Tinjauan Penelitian yang Berkaitan	8
BAB III METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Diagram Alir Penelitian	11
3.2 Lokasi & Obyek Penelitian.....	12
3.3 Identifikasi Masalah.....	12
3.4 Pengumpulan Data	12
3.5 Pra-pemrosesan Data.....	12
3.6 Pemodelan Jaringan Saraf Tiruan	13
3.6.1 Pemodelan Data Latih.....	14
3.6.2 Pemodelan Data Uji	14
3.6.3 Pemodelan Prediksi.....	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Skenario <i>Training Data Test</i> dengan Jumlah <i>Hidden Layer</i> Tertentu	15
4.2 Hasil <i>Training Data Test</i> dengan 4 <i>Hidden Layer</i>	15
4.3 Hasil <i>Training Data Test</i> dengan 6 <i>Hidden Layer</i>	17
4.4 Hasil <i>Training Data Test</i> dengan 8 <i>Hidden Layer</i>	20
4.5 Hasil Pengujian Akurasi dengan Semua <i>Hidden Layer</i>	21
4.6 Perbandingan dengan Riset Lain yang Relevan.....	26
BAB V KESIMPULAN	28

5.1 Kesimpulan	28
5.2 Rekomendasi	28
DAFTAR PUSTAKA.....	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumatera bagian Selatan merupakan wilayah di Pulau Sumatera, Indonesia yang mempunyai prospek sumur produksi gas (Sutama & Inayah, 2013). Salah satu aspek penting dalam sektor energi adalah prediksi produksi gas, yang memiliki implikasi besar dalam perencanaan, pengelolaan sumber daya, dan keberlanjutan pasokan energi (H. Liu et al., 2023; Szoplik & Muchel, 2023). Daerah Sumatra bagian Selatan telah diteliti untuk mengetahui tingkat produktivitas sumur potensial gas yang dapat digunakan untuk produksi gas alam dengan hasil cukup menjanjikan (Hennings et al., 2012; Zhang et al., 2017). Salah satu perusahaan yang melakukan aktivitas produksi gas di daerah Sumatera bagian Selatan adalah Perusahaan Oil and Gas Company. Perusahaan ini telah beroperasi selama 10 tahun lebih dalam aktivitas produksi gas alam. Namun, pada prakteknya perusahaan ini masih menggunakan cara manual untuk menentukan target sumur produksi tanpa adanya alat peramalan untuk mempermudah pekerjaan produksi gas.

Prediksi produksi gas menjadi penting dilakukan dalam menunjang pembangunan nasional di sektor energi minyak dan gas suatu negara atau wilayah, dan untuk efektivitas perencanaan pembangunan sektor migas, akurasi dari prediksi produksi gas menjadi semakin krusial (Fry et al., 2017). Namun, permasalahan utama dalam industri produksi gas adalah data produksi yang di hasilkan selama ini hanya dalam record saja, sehingga prediksi ke depan dalam produksi gas tidak terprediksi dengan baik (Fan et al., 2021). Tidak adanya prediksi data produksi sumur sampai saat yang dipakai sebagai data acuan apakah nantinya akan diperlukan penambahan fasilitas pengolahan gas atau tidak (X. Liu et al., 2023). Produksi gas yang bersumber dari sumur-sumur galian dari perut bumi bersifat tidak konsisten (Gonzalez et al., 2020), namun temuan-temuan di lapangan membuktikan adanya potensi penentuan sumur produksi yang berkelanjutan,

sehingga sangat berpotensi untuk dilakukan prediksi atau peramalan untuk masa mendatang (Fan et al., 2021).

Sementara itu, dewasa ini pemanfaatan teknologi dalam berbagai aspek kehidupan telah menghasilkan kemajuan yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk di dalamnya sektor energi (Abu et al., 2023; Ali et al., 2023; Nagar et al., 2023). Disisi lain, dalam upaya meningkatkan akurasi prediksi tersebut, penerapan teknik-teknik baru seperti *Artificial Neural Network* (ANN) telah muncul sebagai pilihan yang menjanjikan (Ayu et al., 2016). Beberapa dekade terakhir hasil riset membuktikan adanya kemajuan dalam komputasi dan ketersediaan data produksi yang kompleks telah memungkinkan pengembangan model prediksi produksi gas yang cukup akurat (Dong et al., 2023). Studi-studi terkini menunjukkan bahwa penerapan JST dengan algoritma *Backpropagation* dapat memberikan hasil prediksi yang lebih mendekati nilai sebenarnya, dibandingkan dengan metode prediksi konvensional (Glushchenko et al., 2021; Vlachas et al., 2020). Selain itu, kemampuan JST dalam mengenali pola-pola kompleks dalam data produksi gas menjadikannya alat yang efektif dalam mengatasi tantangan prediksi yang sulit (Nourislam et al., 2014).

Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) termasuk metode yang cukup baik dalam melakukan prediksi. ANN atau Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan suatu sistem pemrosesan informasi dengan suatu karakteristik menyerupai sistem saraf pada manusia dengan melakukan *training* data yang besar dan JST memiliki kemampuan untuk mentoleransi kesalahan sehingga dapat menghasilkan prediksi yang baik. Masalah utamanya adalah bagaimana menentukan jumlah neuron dan *hidden layer* yang optimal sehingga akurasi prediksinya tinggi. ANN sendiri merupakan model matematika yang terinspirasi dari jaringan saraf manusia dan dapat digunakan untuk memodelkan hubungan kompleks antara *input* dan *output* (Puspitaningrum, 2006). Algoritma *Backpropagation* adalah metode yang digunakan untuk melatih *neural network* dengan menghitung gradien dari fungsi kesalahan dan memperbarui bobot jaringan berdasarkan gradien tersebut (Goh, 1995; Hecht-Nielsen, 1992; Wong, 1991; Wythoff, 1993). Sebagai aplikasinya, teknik ANN telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam prediksi produksi gas di China (H. Liu et al.,

2023). Berkaca dari riset-riSET sebelumnya inilah, perusahaan *Oil and Gas Company* berpotensi untuk menerapkan teknik-teknik peramalan dalam produksi gas di sumur-sumur produksi milik perusahaan ini.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini akan menerapkan *Artificial Neural Network* (ANN) atau JST dengan algoritma propagasi balik (*backpropagation*) pada kasus prediksi produksi gas alam di perusahaan *Oil and Gas Company* yang didasarkan pada pekerjaan produksi gas di daerah Sumatera bagian Selatan. Penelitian ini akan menganalisis keunggulan metode ini dalam menghadapi tantangan prediksi yang ada, serta mengulas hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan yang telah mengaplikasikan pendekatan ini untuk kasus lain yang serupa. Melalui tinjauan yang komprehensif terhadap literatur terbaru, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang potensi dan dampak penggunaan JST dengan algoritma propagasi balik dalam menghadapi kompleksitas prediksi produksi gas alam, dengan perkembangan teknologi dan metode analisis yang semakin canggih, diharapkan bahwa penerapan JST dengan metode propagasi balik akan terus memainkan peran penting dalam meningkatkan akurasi prediksi produksi gas alam dan berkontribusi pada pengelolaan yang lebih efektif dalam sektor energi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana menganalisis model peramalan produksi gas alam dengan metode propagasi balik dalam Jaringan Saraf Tiruan (JST)?
2. Bagaimana menganalisis tingkat akurasi model peramalan produksi gas alam dengan metode propagasi balik dalam Jaringan Saraf Tiruan (JST)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memodelkan peramalan produksi gas alam dengan metode propagasi balik dalam Jaringan Saraf Tiruan (JST).
2. Menganalisis tingkat akurasi model peramalan produksi gas alam dengan metode propagasi balik dalam Jaringan Saraf Tiruan (JST).

3. Menggunakan metode sigmoid jaringan saraf tiruan dalam peramalan produksi gas alam dengan metode propagasi balik

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan adanya tujuan dari penelitian tersebut, maka manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu :

1. Membantu perusahaan dalam memprediksi produksi gas yang nantinya menjadi acuan untuk mengalkulasi target produksi yang telah ditetapkan oleh pemerintah dalam menjaga ketahanan energi nasional.
2. Memberikan *benefit* ke perusahaan dalam mengumpulkan data produksi sumur secara akurat yang nantinya akan dijadikan sumber data laporan untuk perencanaan target produksi yang diharapkan.
3. Memberikan data prediksi produksi sumur yang akurat sebagai bahan referensi ke departemen fasilitas *development* akan diperlukannya fasilitas pengolahan tambahan yang baru atau tidak.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tesis ini, tentu saja terdapat batasan masalah yang harus sesuai dengan kemampuan, situasi, kondisi, biaya, dan waktu yang ada atau tersedia agar masalah itu dapat tepat pada sasarannya, maka penulis membatasi ruang lingkupnya, yang nantinya diharapkan hasilnya sesuai dengan apa yang diinginkan. Dalam hal ini penulis membatasi masalah yang akan dibahas sebagai berikut :

1. Data berjenis *limited time-series* yang didapatkan dari hasil observasi lapangan.
2. Pemodelan prediksi dilakukan berdasarkan hasil analisis statistika nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) yang mendukung luaran dari analisis jaringan saraf tiruan (JST), tidak menggunakan manusia ahli sebagai validator.
3. Penelitian ini menghasilkan luaran hasil peramalan secara statistika sains data yang berbasis kecerdasan artifisial (JST), sehingga tidak dikembangkan dalam bentuk aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Singh, S., Bansal, P., Hosen, M., & Bansal, S. K. (2023). Forecasting annual natural gas consumption in USA: Application of machine learning techniques- ANN and SVM. *Resources Policy*, 80, 103159. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103159>
- Anagnostis, A., Papageorgiou, E., & Bochtis, D. (2020). Application of artificial neural networks for natural gas consumption forecasting. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16), 1–29. <https://doi.org/10.3390/SU12166409>
- Alkinani, H. H., Al-Hameedi, A. T. T., Dunn-Norman, S., Flori, R. E., Alsaba, M. T., & Amer, A. S. (2019). Applications of artificial neural networks in the petroleum industry: A review. *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, MEOS, Proceedings, 2019-March(March)*. <https://doi.org/10.2118/195072-ms>
- Fan, D., Sun, H., Yao, J., Zhang, K., Yan, X., & Sun, Z. (2021). Well production forecasting based on ARIMA-LSTM model considering manual operations. *Energy*, 220, 119708. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.119708>
- Ayu, D. K., Susilaningrum, D., & Suhartono, S. (2016). Pemodelan Produksi Minyak dan Gas Bumi di PT. “Z” Menggunakan Metode ARIMA, FFNN, dan Hybrid ARIMA-FFNN. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 2337–3520. <https://doi.org/10.12962/J23373520.V5I2.17189>
- Abu, S. M., Hannan, M. A., Ker, P. J., Mansor, M., Tiong, S. K., & Mahlia, T. M. I. (2023). Recent progress in electrolyser control technologies for hydrogen energy production: A patent landscape analysis and technology updates. *Journal of Energy Storage*, 72, 108773. <https://doi.org/10.1016/J.EST.2023.108773>
- Ali, A., Shaukat, H., Bibi, S., Altabey, W. A., Noori, M., & Kouritem, S. A. (2023). Recent progress in energy harvesting systems for wearable technology. *Energy Strategy Reviews*, 49, 101124. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2023.101124>
- Dong, J., Song, B., He, F., Xu, Y., Wang, Q., Li, W., & Zhang, P. (2023). Research on a Hybrid Intelligent Method for Natural Gas Energy Metering. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(14). <https://doi.org/10.3390/S23146528>
- Glushchenko, A., Petrov, V., & Lastochkin, K. (2021). Backpropagation method modification using Taylor series to improve accuracy of offline neural network training. *Procedia Computer Science*, 186, 202–209. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.04.139>
- Jia, A., Cheng, G., Chen, W., & Li, Y. (2023). Forecast of natural gas supply and demand in China under the background of “Dual Carbon Targets.” *Petroleum Exploration and Development*, 50(2), 492–504. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(23\)60404-5](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(23)60404-5)
- Liu, H., Liu, Y., Wang, C., Song, Y., Jiang, W., Li, C., Zhang, S., & Hong, B. (2023). Natural Gas Demand Forecasting Model Based on LASSO and Polynomial Models and Its Application: A Case Study of China. *Energies*,

- 16(11). <https://doi.org/10.3390/EN16114268>
- Ma, X., Lu, H., Ma, M., Wu, L., & Cai, Y. (2023). Urban natural gas consumption forecasting by novel wavelet-kernelized grey system model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 119, 105773. <https://doi.org/10.1016/J.ENGAPPAI.2022.105773>
- Nagar, R., Srivastava, S., Hudson, S. L., Amaya, S. L., Tanna, A., Sharma, M., Achayalingam, R., Sonkaria, S., Khare, V., & Srinivasan, S. S. (2023). Recent developments in state-of-the-art hydrogen energy technologies – Review of hydrogen storage materials. *Solar Compass*, 5, 100033. <https://doi.org/10.1016/J.SOLCOM.2023.100033>
- Nourislam, A., Jondri, J., & Saadah, S. (2014). Analisis dan Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan – Propagasi Balik Dalam Memprediksi Produksi dan Konsumsi Minyak Bumi, Gas Bumi, dan Batu Bara di Indonesia. *e-Proceedings of Engineering*, 1(1), 558–564.
- Porto, A., & Irigoyen, E. (2018). Gas consumption prediction based on artificial neural networks for residential sectors. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 649, 102–111. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67180-2_10
- Safiyari, M. H., Shavvalpour, S., & Tarighi, S. (2022). From traditional to modern methods: Comparing and introducing the most powerful model for forecasting the residential natural gas demand. *Energy Reports*, 8, 14699–14715. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.397>
- Santos, L. B. L., dos Santos, L. C. L., & Simonelli, G. (2022). Analysis of the Brazilian energy policies for natural gas using artificial neural networks. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 102, 104559. <https://doi.org/10.1016/J.JNGSE.2022.104559>
- Sapnken, F. E., Ahmat, K. A., Boukar, M., Nyobe, S. L. B., & Tamba, J. G. (2022). Forecasting petroleum products consumption in Cameroon's household sector using a sequential GMC(1,n) model optimized by genetic algorithms. *Heliyon*, 8(12), e12138. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2022.E12138>
- Sharma, V., Cali, Ü., Sardana, B., Kuzlu, M., Banga, D., & Pipattanasomporn, M. (2021). Data-driven short-term natural gas demand forecasting with machine learning techniques. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 206(April), 108979. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108979>
- Smajla, I., Vulin, D., & Sedlar, D. K. (2023). Short-term forecasting of natural gas consumption by determining the statistical distribution of consumption data. *Energy Reports*, 10, 2352–2360. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.051>
- Szoplik, J., & Muchel, P. (2023). Using an artificial neural network model for natural gas compositions forecasting. *Energy*, 263, 126001. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2022.126001>
- Tsakalerou, M., Efthymiadis, D., & Abilez, A. (2022). An intelligent methodology for the use of multi-criteria decision analysis in impact assessment: the case of real-world offshore construction. *Scientific Reports*, 12, 15137. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19554-1>

- Vlachas, P. R., Pathak, J., Hunt, B. R., Sapsis, T. P., Girvan, M., Ott, E., & Koumoutsakos, P. (2020). Backpropagation algorithms and Reservoir Computing in Recurrent Neural Networks for the forecasting of complex spatiotemporal dynamics. *Neural Networks*, 126, 191–217. <https://doi.org/10.1016/J.NEUNET.2020.02.016>
- Wang, J., Cao, J., Yuan, S., & Cheng, M. (2021). Short-term forecasting of natural gas prices by using a novel hybrid method based on a combination of the CEEMDAN-SE-and the PSO-ALS-optimized GRU network. *Energy*, 233, 121082. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.121082>
- Widjaya, J. S., Agushinta, D. R., & Sari, S. R. P. (2021). Sistem Prediksi Jumlah Pasien Covid-19 Menggunakan Metode Trend Least Square Berbasis Web. *SISTEMASI*, 10(1), 39–51. <https://doi.org/10.32520/STMSI.V10I1.1036>