

ESTIMASI KONTUR SHOE INSOLE UNTUK BERBAGAI VARIASI UKURAN SEPATU DAN TINGGI HAK SEPATU MENGGUNAKAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (STUDI KASUS : FUNGSI REGRESI POLINOMIAL)

*Nabil Dwiki Zachri¹, Dwi Basuki Wibowo², Ismoyo Haryanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: nabil.dwiki18@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi kontur insole sepatu berdasarkan variasi ukuran dan tinggi hak dengan memanfaatkan metode *Artificial Neural Network* (ANN) dan regresi polinomial. Belum ada satupun penelitian ataupun literasi yang membahas terkait hubungan antara ukuran sepatu dan juga tinggi hak sepatu. Data diperoleh melalui pengukuran sepatu wanita formal dengan variasi tinggi hak 5 cm, 7 cm dan 9 cm. Analisis awal dilakukan menggunakan regresi polinomial orde enam untuk mendapatkan konstanta hasil fitting yang kemudian digunakan sebagai data target pada proses pelatihan ANN. Model ANN dikembangkan menggunakan perangkat lunak MATLAB 2024a dengan algoritma Levenberg-Marquardt Backpropagation. Hasil penelitian menunjukkan bahwa regresi polinomial mampu menggambarkan hubungan panjang kaki dengan tinggi hak dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,95–0,99. Namun, ANN memberikan akurasi prediksi yang lebih tinggi dengan nilai korelasi (R) mendekati 1 serta error yang lebih rendah dibandingkan regresi polinomial. Dengan demikian, penggunaan ANN terbukti lebih efektif dalam menghasilkan estimasi kontur insole yang adaptif dan presisi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan sistem desain insole berbasis kecerdasan buatan dalam industri alas kaki maupun aplikasi ortopedi.

Kata Kunci: *artificial neural network; estimasi kontur; high heels; insole sepatu*

Abstract

This study aims to estimate shoe insole contours based on variations in shoe size and heel height using Artificial Neural Networks (ANN) and polynomial regression. Data were collected from women's formal with heel heights of 5 cm, 7 cm and 9 cm. Initial analysis employed sixth-order polynomial regression to obtain fitting constants, which were subsequently used as target data for ANN training. The ANN model was developed using MATLAB 2024a with the Levenberg-Marquardt Backpropagation algorithm. Results show that polynomial regression effectively described the relationship between foot length and heel height, with determination coefficients (R^2) ranging from 0.95 to 0.99. However, ANN provided higher predictive accuracy, with correlation values (R) approaching 1 and lower error compared to polynomial regression. Therefore, ANN proved to be more effective in generating adaptive and precise insole contour estimations. This research is expected to serve as a foundation for the development of AI-based insole design systems in the footwear industry and orthopedic applications.

Keywords: *artificial neural network; contour estimation; high heels; polynomial regression; shoe insole*

1. Pendahuluan

Penampilan merupakan hal utama bagi wanita, serta menunjang daya tarik seseorang, terlebih kaum wanita yang selalu memperhatikan keseluruhan penampilannya, termasuk perlengkapan aksesoris yang digunakan. Salah satunya adalah sepatu berhak tinggi (high heels). Wanita memang selalu ingin tampak terlihat cantik dari ujung rambut hingga ujung kaki. Salah satunya adalah dengan memakai sepatu hak tinggi yang dapat menunjang penampilan seorang wanita dalam berbagai aktivitas. Sepatu hak tinggi juga memiliki beberapa ukuran dan bentuk [1] Insole pada sepatu hak tinggi adalah bagian dalam sepatu yang berfungsi sebagai bantalan dan penopang kaki untuk meningkatkan kenyamanan saat mengenakan sepatu tersebut. Sebanyak 49% wanita menggunakan sepatu hak tinggi, dan sekitar 77% di antaranya mengalami gangguan atau masalah pada kaki berdasarkan data yang didapatkan dari American Pediatric Medical Association (APMA) di tahun 2014 [2].

Penggunaan sepatu dengan variasi tinggi hak, khususnya pada sepatu wanita formal, telah menjadi bagian dari gaya hidup masyarakat modern. Meskipun secara estetika memberikan kesan elegan, penggunaan sepatu dengan hak tinggi dapat menimbulkan risiko gangguan biomekanik seperti nyeri pada tumit, perubahan postur tubuh, serta distribusi tekanan yang tidak merata pada telapak kaki. Desain insole yang baik harus mempertimbangkan bentuk anatomi kaki, aktivitas pengguna, dan karakteristik alas kaki [3]. Semakin tinggi hak sepatu, semakin besar kebutuhan untuk menyesuaikan kontur insole agar dapat menopang kaki secara ergonomis. Sepatu menjadi salah satu peralatan

yang turut berperan dalam menunjang aktivitas kerja. Sepatu hak tinggi adalah jenis sepatu dimana ketinggian bagian tumit sepatu lebih tinggi dibandingkan dengan bagian jari-jari. Sepatu hak tinggi mempunyai ketinggian tumit yang beragam, mulai dari 2 cm sampai 20 cm³ [4]

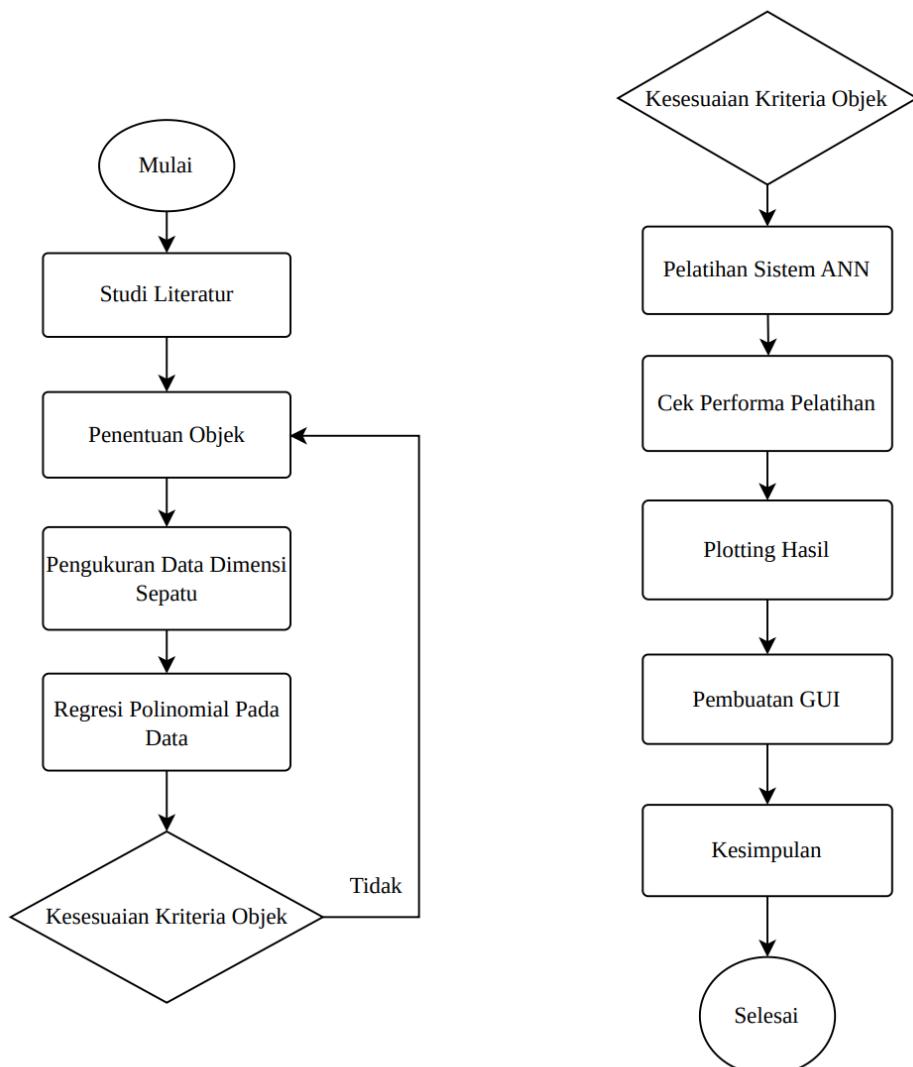
Dalam proses perancangan sepatu, ukuran sepatu dan tinggi hak menjadi parameter utama yang memengaruhi bentuk dan volume kaki yang harus diperhitungkan secara akurat. Perubahan tinggi hak sepatu terbukti menyebabkan perubahan volume kaki yang signifikan, yang dapat diukur menggunakan acuan shoe last sebagai replika kaki dalam pembuatan sepatu. Insole adalah komponen bagian dalam sepatu yang langsung bersentuhan dengan telapak kaki. Fungsinya tidak hanya sebagai bantalan, tetapi juga sebagai elemen pendukung anatomi kaki, khususnya pada lengkungan longitudinal dan transversal. Insole yang dirancang dengan baik dapat mengurangi kelelahan otot, mendistribusikan tekanan kaki secara merata, serta meminimalkan risiko cedera atau gangguan postur.

Metode konvensional untuk mendesain sepatu dan insole seringkali memerlukan pengukuran manual dan uji coba, yang memakan waktu dan tidak efisien. Penggunaan Artificial Neural Network (ANN) sebagai teknik pemodelan dan estimasi kontur insole tampaknya menjadi solusi yang menguntungkan berkat kemajuan teknologi. Selain mampu menangani data non-linear dan kompleks, ANN dapat digunakan untuk fungsi regresi polinomial untuk secara akurat dan cepat memprediksi bentuk insole berdasarkan variasi ukuran sepatu dan tinggi hak [5]

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan mengevaluasi model Artificial Neural Network dalam estimasi kontur insole berdasarkan kombinasi ukuran sepatu dan tinggi hak, serta mengkaji keefektifan penggunaan fungsi regresi polinomial sebagai representasi bentuk.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Diagram Alir Penelitian



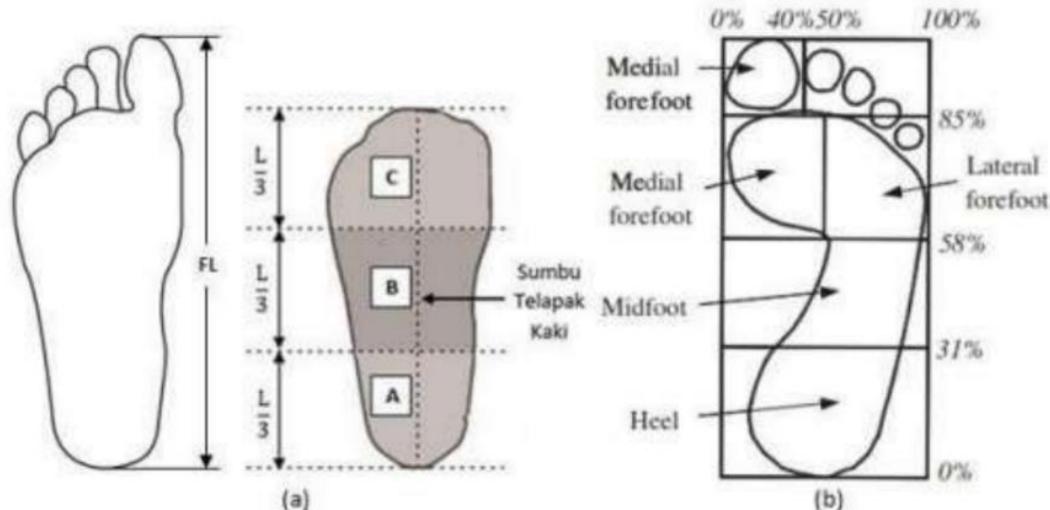
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Teori Pembagian Area Kaki

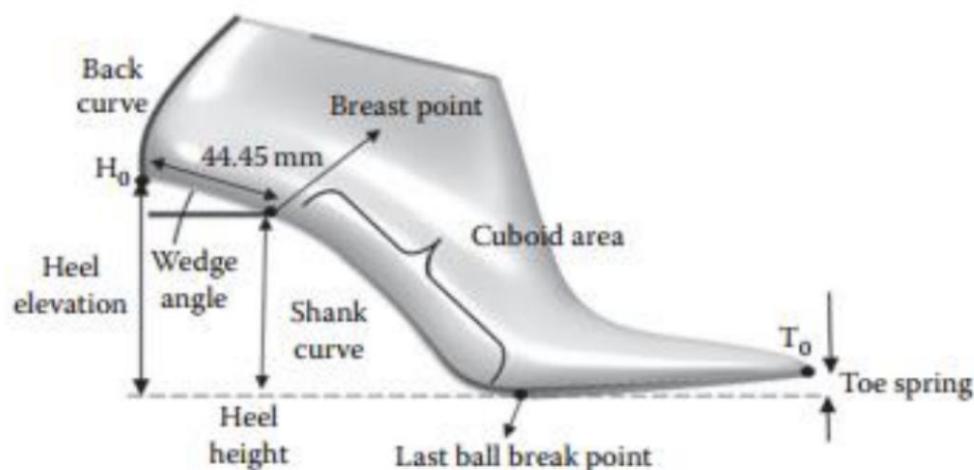
Teori pembagian area kaki (foot segmentation theory) merupakan dasar penting dalam bidang biomekanika, desain alas kaki (insole), ortotik, serta rehabilitasi medis. Teori ini berkembang seiring kebutuhan untuk memahami distribusi beban, tekanan, serta gerakan dinamis kaki manusia dalam berbagai aktivitas, baik saat berdiri, berjalan, maupun berlari. Struktur anatomi di bawah pergelangan kaki, atau ankle, mencakup kaki, yang terdiri dari belakang kaki (yang berarti belakang), tengah kaki (yang berarti tengah), dan depan kaki (yang berarti depan kaki). Kaki terletak di bagian paling belakang. Area ini terdiri dari dua tulang tarsal dari tujuh tulang tarsal: talus dan calcaneus, atau tulang tumit. Persendian antara kedua tulang ini disebut sendi subtalar, dan masing-masing dari mereka memiliki tiga bidang artikulasi. Lima tulang tarsal lainnya (navicular, cuboid), serta tiga tulang cuneiform (medial, tengah, dan lateral) terletak di tengah kaki. Sendi Chopart terletak antara kaki belakang dan kaki tengah. Ini mencakup kedua sendi talonavicular dan kalkaneocuboid (calcaneocuboid).

Forefoot adalah bagian paling depan dari kaki. Bagian ini mencakup tulang metatarsal, tulang jari-jari kaki (phalanges), serta tulang sesamoid. Setiap jari memiliki satu tulang metatarsal dan tiga phalanges, kecuali ibu jari kaki (jempol) yang hanya memiliki dua phalanges. Persendian antara midfoot dan forefoot dikenal dengan nama sendi Lisfranc.

Struktur Anatomi di Bawah Sendi Pergelangan Kaki (Ankle) Mencakup Kaki, yang terdiri dari hindfoot (belakang kaki), midfoot (tengah kaki), dan forefoot (depan kaki). Hindfoot merupakan bagian paling belakang dari kaki. Bagian ini terdiri dari dua tulang tarsal dari total tujuh tulang tarsal, yaitu talus dan calcaneus (tulang tumit). Persendian antara talus dan calcaneus disebut sebagai sendi subtalar, yang memiliki tiga bidang artikulasi pada masing-masing tulang tersebut.



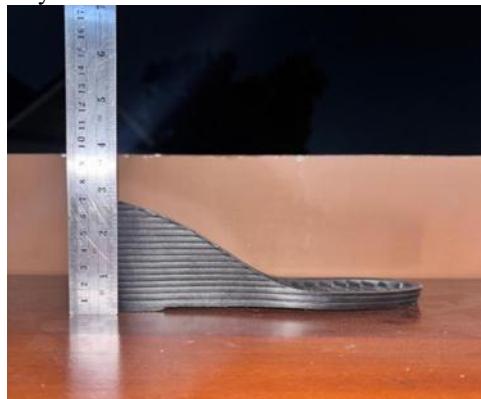
Gambar 2. Pembagian area telapak kaki (a) Cavanagh (1987) dan (b) Lee Yung-Hui (2005)



Gambar 3. Tampak Samping Cetakan Sepatu [6]

3. Pengukuran Sepatu Hak Tinggi

Pengukuran didasarkan pada teori pembagian area kaki menurut Lee-Yung Hui [7] yang menyatakan bahwa kaki dibagi menjadi heel (0-31%), midfoot (31-58%), dan forefoot (58-100%). Pengukuran dilakukan pada panjang tiap area kaki dan sudut elevasi pada tiap bagiannya.



Gambar 4. Pengukuran Sepatu Hak Tinggi

Setelah data dari pengukuran beberapa sepatu hak tinggi dengan ukuran dan panjang hak yang berbeda didapatkan, Data tersebut nantinya akan dimasukkan ke Excel dan dilakukan regresi polinomial menggunakan trendline pada fitur chart Excel dengan orde pangkat 6. Saat data di masukkan ke Excel, data tersebut juga dilakukan beberapa tahap untuk mendapatkan koefisien serta konstanta hasil regresi yang akan digunakan pada proses ANN pada aplikasi Matlab. Data tersebut kemudian digunakan untuk database sebagai data input dan target data pada pemrosesan *Artificial Neural Network* di aplikasi Matlab 2024a. Dari pengukuran sepatu tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sepatu Hak Tinggi

Sepatu Ukuran 38 (5 cm)		Sepatu Ukuran 40 (5 cm)	
Foot Length	Heel Height	Foot Length	Heel Height
0,01	5	0,01	5
1,2	4,9	1,25	4,8
2,4	4,7	2,5	4,5
3,6	4,5	3,75	4,3
4,8	4,4	5	4
6	4	6,25	3,7
7,2	3,8	7,5	3,2
8,4	3,2	8,75	3
9,6	3	10	2,9
10,8	2,7	11,25	2,4
12	2	12,5	2
13,2	1,8	13,75	1,8
14,4	1,5	15	1,5
15,6	1,37	16,25	1,3
16,8	1,35	17,5	1,28
18	1,33	18,74	1,26
19,2	1,2	20	1,24
20,4	1,1	21,25	1,06
21,6	1,09	22,5	1,04
22,8	1,05	23,75	1,02
24	1	25	1

Sepatu Ukuran 38 (7 cm)		Sepatu Ukuran 40 (7 cm)	
Foot Length	Heel Height	Foot Length	Heel Height
0,01	7	0,01	7
1,1	6,8	1,15	6,8
2,2	6,6	2,3	6,5
3,3	6	3,45	6

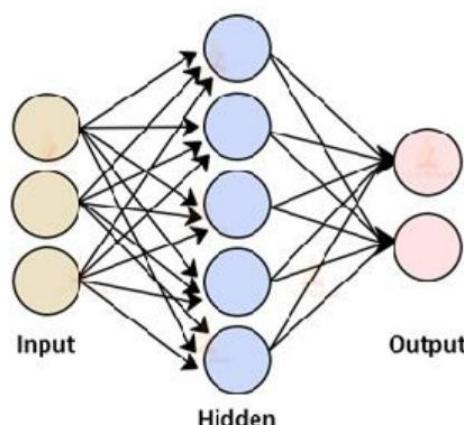
4,4	5,5
5,5	4,6
6,6	4
7,7	3,1
8,8	2,5
9,9	1,9
11	1,3
12,1	1,15
13,2	1,14
14,3	1,12
15,4	1,09
16,5	1,06
17,6	1,05
18,7	1,04
19,8	1,03
20,9	1,02
22	1
4,6	5,5
5,75	4,8
6,9	4
8,05	3,1
9,2	2,5
10,35	1,7
11,5	1,3
12,65	1,2
13,8	1,1
14,95	1,09
16,1	1,07
17,25	1,06
18,4	1,05
19,55	1,04
20,7	1,02
21,85	1,01
23	1

Artificial Neural Network (ANN)

Jaringan saraf tiruan, juga dikenal sebagai jaringan saraf tiruan atau ANN, adalah sistem pemrosesan informasi yang dapat disesuaikan, tidak diprogram, dan meniru cara otak manusia bekerja [8]. ANN secara bertahap meniru proses pemrosesan informasi otak dan sistem saraf manusia, memungkinkan jaringan ini untuk melakukan transformasi dan perilaku dinamis melalui pemrosesan informasi yang terdistribusi secara bersamaan. Ilmu saraf, ilmu kognitif, kecerdasan buatan, ilmu komputer, dan ilmu pemikiran adalah beberapa bidang lintas disiplin yang mencakup teknologi ini.

Dalam penelitian, jaringan saraf tiruan (ANN) telah banyak digunakan untuk memodelkan dan memprediksi kinerja berbagai sistem biologis dan kondisi lingkungan mereka. Sistem pengolahan air limbah dan gas buang serta pemodelan dinamika kompleks hubungan masukan dan keluaran berdasarkan data deret waktu adalah bagian dari aplikasinya. Penggunaan algoritma Levenberg–Marquardt dalam pelatihan model ANN adalah salah satu metode yang terbukti efektif, yang mampu memberikan tingkat akurasi prediksi yang sangat tinggi. Salah satu jenis ANN yang banyak digunakan adalah Back Propagation Neural Network (BPNN) yang memiliki arsitektur Multilayer Perceptron (MLP). Arsitektur ini terdiri dari beberapa lapisan neuron, yakni lapisan input yang menerima data eksternal, satu atau lebih lapisan tersembunyi yang memproses informasi secara internal, dan lapisan output yang menghasilkan hasil akhir analisis [9] ANN terdiri atas node-node yang saling terhubung, atau disebut neuron, yang tersusun dalam beberapa lapisan. ANN memiliki kemampuan untuk mempelajari pola dan representasi yang kompleks dari data, sehingga menjadikannya sangat fleksibel dan dapat diaplikasikan pada berbagai jenis tugas.

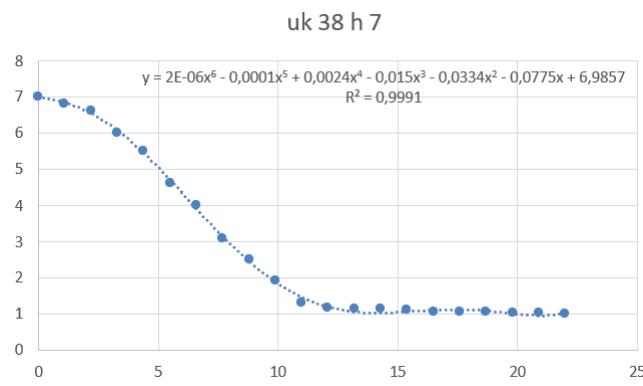
Menurut [10] Untuk mendapatkan model persamaan estimasi biaya dengan nilai error yang kecil, ANN membutuhkan rancangan arsitektur jaringan yang tepat. Menentukan jumlah neuron dalam lapisan Hidden Layer (HL) pada ANN menggunakan model empiris, bukan teoritis.



Gambar 5. Arsitektur Dasar ANN

Polinomial Fitting

Proses fitting ini ditujukan untuk melihat bentuk kontur dari masing-masing bagian sepatu dengan hasil didapatkan persamaan polinomial dan juga R-square. Melalui pendekatan ini untuk hasil konturnya terdiri dari titik awal dan juga titik akhir dari pengukuran masing-masing sepatu. Sebagai sampel pada ukuran sepatu 38 dengan tinggi hak 7 cm,



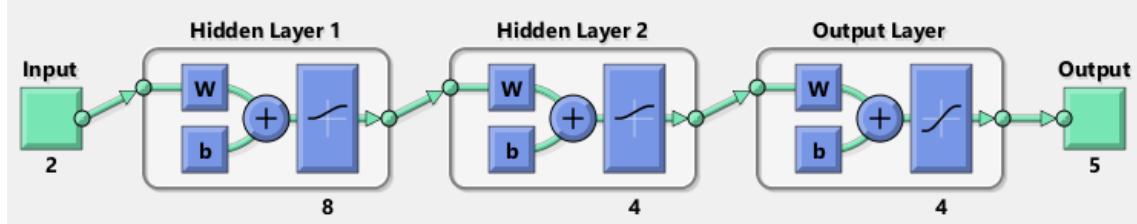
Gambar 6. Hasil Regresi Polinomial

Selanjutnya, dari persamaan regresi polinomial yang diperoleh, titik awal dan titik akhir dari masing-masing ruas digunakan sebagai representasi numerik yang dijadikan data target dalam proses pelatihan ANN. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap masukan (*input*) memiliki pasangan keluaran (*output*) yang konsisten dan relevan berdasarkan bentuk sepatu yang sebenarnya.

3. Hasil dan Pembahasan

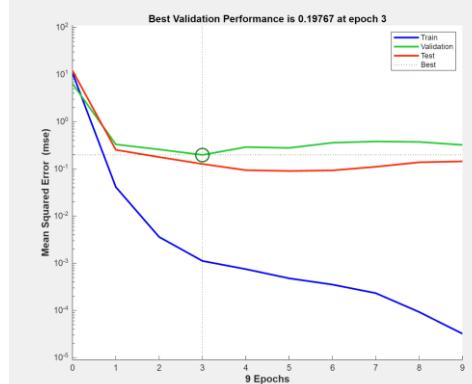
Tujuan dari model serta ketersediaan data umumnya menjadi pertimbangan utama dalam menentukan parameter input dan output pada model jaringan saraf tiruan (ANN). Model jaringan saraf tiruan (ANN) untuk estimasi kontur insole dikembangkan berdasarkan tujuan penelitian dan data yang tersedia.

Input pada pelatihan ANN ini berjumlah 2 neuron yaitu panjang kaki dan tinggi hak sepatu, sedangkan titik awal dan akhir dari persamaan linear dari plot adalah target/output yang berjumlah 5. Parameter jaringan terbaik yang dipilih untuk pelatihan ANN setelah beberapa kali percobaan adalah metode Levenberg-Marquardt yang cenderung cepat dan stabil, dengan 2 hidden layer yang pertama memiliki 8 neuron dan yang kedua memiliki 4 neuron menggunakan fungsi aktivasi LOGSIG, dan output layer dengan neuron berjumlah 4 menggunakan fungsi TANSIG.

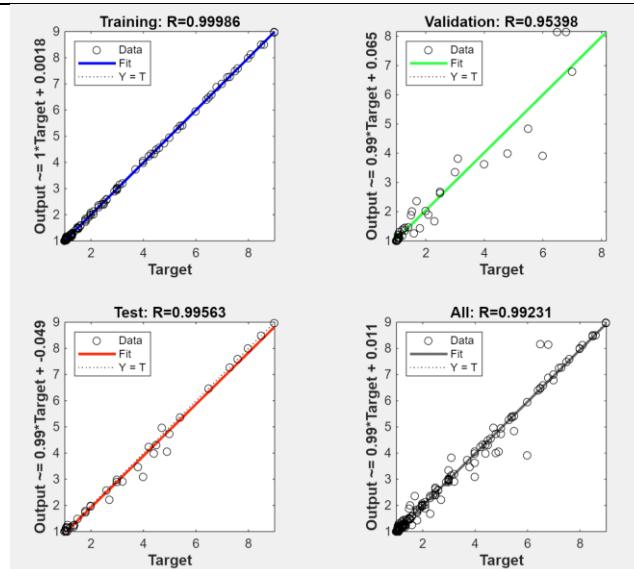


Gambar 7. Skema Jaringan Pelatihan ANN yang terpilih

Evaluasi dari hasil dilakukan dengan melihat mean square error. Pada grafik performa ANN dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya jumlah epoch, nilai mean square error pada data pelatihan mengalami penurunan. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa setidaknya diperlukan 16 epoch untuk memperoleh prediksi yang sesuai.



Gambar 8. Grafik Performa ANN



Gambar 9. Grafik Regresi ANN

Efektivitas jaringan yang telah dilatih dapat dievaluasi dengan melihat tingkat kesalahan pada data pelatihan, validasi, dan pengujian. Analisis regresi polinomial antara output dan input jaringan dilakukan dengan menggunakan semua kelompok data. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10, dapat terlihat bahwa nilai R untuk pelatihan, validasi, tes, dan seluruh kelompok data berurutan adalah 0.99986, 0.95398, 0.99563, dan 0.99231. Dapat dilihat bahwa nilai R mendekati 1, menunjukkan korelasi yang baik antara input dan output.

4. Kesimpulan

Sebagai ringkasan, penelitian ini menunjukkan terobosan baru yang dapat digunakan untuk memprediksi kontur sepatu yang dipersonalisasi sesuai dengan kebutuhan pengguna dan dengan potensi manfaat dapat dikustomisasi dalam perancangan dengan mudah dan cepat. Untuk mengakomodasi pemilihan ukuran dan tinggi yang sesuai dengan keinginan pengguna, dilakukan pendekatan dengan jaringan saraf tiruan (ANN) menggunakan data regresi polinomial dari pengukuran sol sepatu hak tinggi. Model ANN menghasilkan nilai R sebesar 0.99 setelah melalui proses pelatihan dan pengujian, optimasi parameter jaringan, serta pengukuran dan prediksi yang akurat. Kontribusi paling signifikan dari penelitian ini adalah penerapan sistem berbasis AI dalam desain dan manufaktur sepatu hak tinggi. Pembuatan aplikasi memudahkan pengguna dalam menerapkan pendekatan yang digunakan secara singkat dan sederhana. Untuk penelitian selanjutnya, jumlah parameter input dapat ditingkatkan dan dengan bantuan metode deep learning, dapat menjadi dasar pembuatan kontur insole yang paling sesuai.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. B. Setyawan *et al.*, “PENGARUH PERUBAHAN TINGGI HAK TERHADAP VOLUME KAKI DI HITUNG DARI SHOE LAST,” 2015. [Online]. Available: www.atk.ac.id
- [2] Y. Septian and L. Tanu Merijanti, “Pemakaian sepatu hak tinggi berhubungan dengan nyeri otot betis pada pramuniaga,” *Jurnal Biomedika dan Kesehatan*, vol. 1, no. 2, 2018, doi: 10.18051/JBiomedKes.2018.
- [3] J. Anderson, A. E. Williams, and C. Nester, “Development and evaluation of a dual density insole for people standing for long periods of time at work,” *J Foot Ankle Res*, vol. 13, no. 1, Jul. 2020, doi: 10.1186/s13047-020-00402-2.
- [4] I. Destiana, B. Widjasena, S. Jayanti Bagian Keselamatan dan Kesehatan Kerja, and F. Kesehatan Masyarakat, “HUBUNGAN ANTARA TINGGI DAN TIPE HAK SEPATU DENGAN KELUHAN NYERI PUNGKUNG BAWAH PADA PRAMUNIAGA DI DEPARTMENT STORE X, SEMARANG,” 2015. [Online]. Available: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkm>
- [5] K. Ayat, D. B. Wibowo, and Y. Umardani, “PENENTUAN TINGGI HAK SEPATU TERBAIK UNTUK MENDAPATKAN KENYAMANAN DALAM PEMAKAIAN,” 2023.
- [6] J. Melvin and J. M. A. Melvin, “The Effects of Heel Height, Shoe Volume and Upper Stiffness on Shoe Comfort and Plantar Pressure,” 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/279541613>
- [7] L. Yung-Hui and H. Wei-Hsien, “Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking,” *Appl Ergon*, vol. 36, no. 3, pp. 355–362, 2005, doi: 10.1016/j.apergo.2004.11.001.
- [8] Y. chen Wu and J. wen Feng, “Development and Application of Artificial Neural Network,” *Wirel Pers Commun*, vol. 102, no. 2, pp. 1645–1656, Sep. 2018, doi: 10.1007/s11277-017-5224-x.

-
- [9] B. D. Ripley, "Pattern Recognition and Neural Networks," 2007.
 - [10] I. M. S. A. Kesuma, A. S. B. Nugroho, and A. Aminullah, "Pengaruh Variasi Hidden Layer Terhadap Nilai MAPE Pada Pengembangan Model Estimasi Biaya Menggunakan Artificial Neural Network," *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 152–163, Oct. 2023, doi: 10.31849/siklus.v9i2.14221.