



Analisa Tingkat Kelelahan Atlet Badminton Pb. Alfath dengan Metode ANFIS

Analysis of the Fatigue Level of Badminton Athletes Pb. Alfath with ANFIS Method

Asyik Andi Arnomo, Prodi Matematika FMIPA UNY
Agus Maman Abadi*, Prodi Matematika FMIPA UNY
*e-mail: agusmaman@uny.ac.id

Abstrak

Tujuan penelitian ini untuk menganalisa tingkat kelelahan atlet setelah latihan, dengan mengidentifikasi berdasarkan data denyut nadi. Kelelahan fisik ialah menurunnya kemampuan fisik disebabkan oleh tingkat aktivitas yang tinggi, dan akan terlihat bila lingkungannya dipersempit dalam lingkup gerakan, gerakan yang dilakukan melambat. Data yang digunakan adalah data denyut nadi saat atlet melakukan program pemanasan, latihan, dan pendinginan dengan jumlah 120 data dari 10 atlet. Penelitian menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). ANFIS merupakan metode gabungan dari jaringan syaraf tiruan dan *fuzzy inference system* dimana dalam prosesnya terdapat proses *training* dan *testing*. Proses *training* dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter premis dan konsekuen yang akan digunakan pada proses *testing*. Pada penelitian ini data yang digunakan untuk proses *training* sebanyak 90 data dan untuk proses *testing* sebanyak 30 data. Pada proses ANFIS terdapat metode algoritma *least square estimator* (LSE) yang digunakan untuk memperoleh nilai parameter konsekuen pada lapisan ke-4 pada ANFIS. Algoritma LSE dilakukan dengan membentuk sebuah matriks desain untuk membantu mempermudah proses perhitungan. Berdasarkan hasil analisa data menggunakan metode ANFIS diperoleh hasil akurasi data *training* sebesar 98,89% dengan RMSE 2,416 dan data *testing* dengan akurasi sebesar 93,33% dan RMSE 2,6214.

Kata kunci: kelelahan, analisa, denyut nadi, ANFIS.

Abstract

The purpose of this study was to analyze the level of fatigue of athletes after training, by identifying based on pulse rate data. Physical fatigue is a decrease in physical work capacity due to a high level of activity, and it will be seen that when the scope is narrowed in the scope of movement, the movements performed slow down.. The data used is heart rate data when athletes perform warm-up, exercise, and cooling programs with a total of 120 data from 10 athletes. The research used the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) method. ANFIS is a combined method of artificial neural networks and fuzzy inference systems where in the process there is a training and testing process. The training process is carried out to obtain the value of the premise and consequent parameters that will be used in the testing process. In this study, the data used for the training process was 90 data and for the testing process as many as 30 data. In the ANFIS process, there is a least square estimator (LSE) algorithm method that is used to obtain consequent parameter values on the 4th layer of ANFIS. The LSE algorithm is performed by forming a design matrix to help simplify the calculation process. Based on the results of data analysis using the ANFIS method, the results of training data accuracy were obtained by 98.89% with RMSE 2.416 and testing data with an accuracy of 93.33% and RMSE 2.6214.

Keywords: *fatigue, analysis, heart rate, ANFIS.*

PENDAHULUAN

Kelelahan dapat diartikan dengan keletihan, kepayahan, kecapekan atau istilah lainnya yang umum digunakan oleh masyarakat. Kelelahan sendiri mengacu pada kondisi fisik yang tidak bertenaga lagi akibat aktivitas fisik yang berat dan timbul rasa sakit pada bagian otot (Brown & Bray, 2017). Kelelahan dapat dihubungkan dengan melemahnya kemampuan seseorang untuk bereaksi terhadap suatu rangsangan dengan kata lain respon tubuh melambat (Popova et al., 2020).

Definisi olahraga menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah kata kerja yang diartikan gerak badan agar sehat. Olahraga adalah serangkaian gerakan tubuh yang dilakukan secara teratur, terencana dan terukur untuk memelihara gerak tubuh yang dapat diartikan mempertahankan hidup dan untuk meningkatkan kemampuan gerak yang berarti meningkatkan kualitas hidup. Olahraga merupakan kegiatan merangsang pertumbuhan dan perkembangan jasmani, rohani dan sosial maka dari itu harus ditanamkan sejak usia anak-anak agar membantu proses perkembangan dan pertumbuhannya (Hermawan, 2011). Untuk merangsang pertumbuhan dan perkembangan anak disarankan memilih olahraga kompetitif dikarenakan olahraga kompetitif mampu memupuk nilai-nilai motivasi berprestasi serta bagaimana keterkaitannya dengan kemampuan akademik siswa atlet (Hardinoto et al., 2017) dengan waktu latihan yang lama dan ditingkatkan secara progresif sesuai kemampuan individu. Olahraga kompetitif adalah jenis aktivitas fisik yang terdiri dari aturan, kompetisi, tantangan, hiburan, dan ketidakpastian (Zhang & Liu, 2008). Olahraga kompetitif merupakan permainan dan juga pertandingan yang bersaing dengan orang lain dengan tujuan kemenangan dalam suatu kompetisi. Dalam memilih olahraga kompetitif, perlu diperhatikan beberapa faktor yang dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan anak, seperti mental, fisik, sosiologis dan psikologis serta mendorong anak untuk bergerak pada tingkat maksimum (Erol, 2022). Salah satu cabang olahraga yang memenuhi semua syarat tersebut adalah bulutangkis. Bulu tangkis adalah olahraga yang dapat dimainkan pada usia berapa pun, tidak mendiskriminasi jenis kelamin, menyenangkan dan memiliki biaya yang murah. Berkat semua aspek positif dari olahraga bulu tangkis ini, bulutangkis telah menjadi olahraga yang efektif yang banyak digunakan dalam pelatihan anak-anak (Erol, 2019). Akan tetapi hal ini tidak akan terwujud apabila dalam waktu latihan atlet mengalami latihan yang berlebihan diluar beban fisik yang dapat diterima atlet (Karam et al., 2018) yang dapat menyebabkan cedera hingga paling parah penyakit kardiovaskular. Untuk atlet usia anak-anak kondisi fisik yang lelah setelah latihan dapat menyebabkan terserangnya berbagai penyakit seperti *tipes*, *flu*, dan demam dikarenakan fisik yang belum kuat saat masa pertumbuhan (Baggish et al., 2017) dan dapat mengganggu konsentrasi belajar saat sekolah formal. Hal ini akan bertolak belakang dengan tujuan utama yaitu olahraga sebagai sarana membantu pertumbuhan dan perkembangan anak justru menjadi penghambat pertumbuhan dan perkembangan anak. Penting bagi pelatih yang melatih usia anak-anak mengetahui batas kemampuan fisik setiap anak agar tidak mengalami *overtrained* atau latihan berlebihan yang dapat merusak kondisi fisik anak dalam jangka panjang (Brooks & Carter, 2013). Dengan menggunakan denyut nadi, resiko latihan berlebih dapat dikurangi dengan melihat data denyut nadi dalam beberapa interval dalam latihan (Ahmad et al., 2020). Penggunaan denyut nadi ini digunakan untuk mendeteksi kondisi fisik atlet untuk mengetahui atlet tersebut sudah lelah atau belum (Bernaciková et al., 2020).

Dalam menganalisa tingkat kelelahan atlet ada banyak metode salah satunya dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang merupakan gabungan dari jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network*) dan Logika fuzzy (*Fuzzy Inference System*). Metode ANFIS dipilih karena pada dasarnya *neural network* dapat belajar dari pengalaman/data sebelumnya. Sama seperti *neural network*, logika Fuzzy dapat menyediakan perhitungan fungsi tanpa pemodelan matematis sebagaimana *output* bergantung dengan *input*. Kelebihan dari metode ANFIS yaitu kemampuan utama dari jaringan syaraf tiruan adalah dapat mengenali

sistem melalui proses pembelajaran untuk memperbaiki parameter adaptif. Kekurangan dari sistem ANFIS ini adalah kerumitan strukturnya yang menggunakan lapisan seperti layaknya syaraf manusia. Penggabungan dari ANN dan FIS melengkapi kelebihan dan kekurangan masing-masing sistem. Sehingga menghasilkan output yang cenderung mendekati perhitungan yang benar dengan kata lain tingkat *error* sangat rendah.

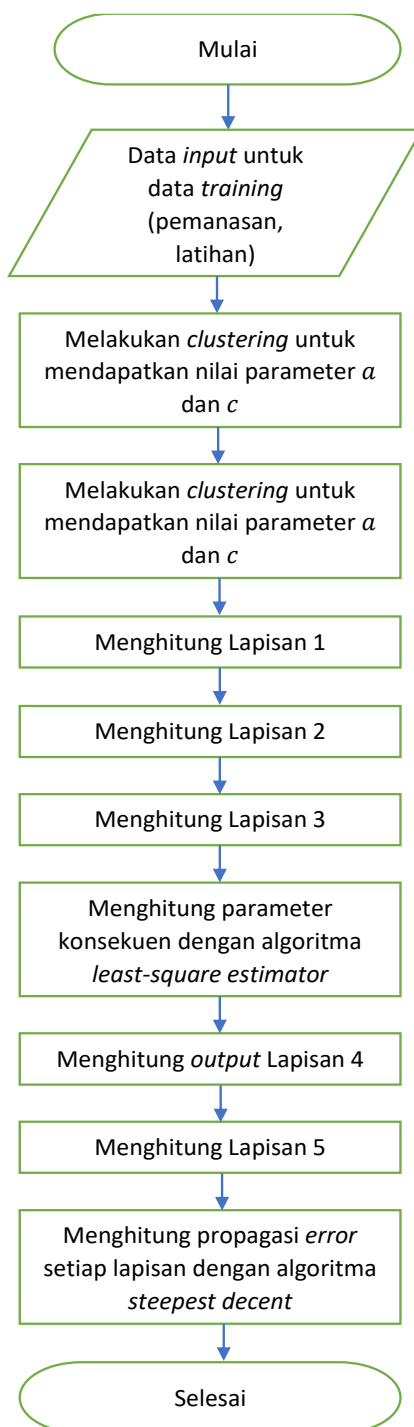
METODE

Langkah – Langkah Penelitian

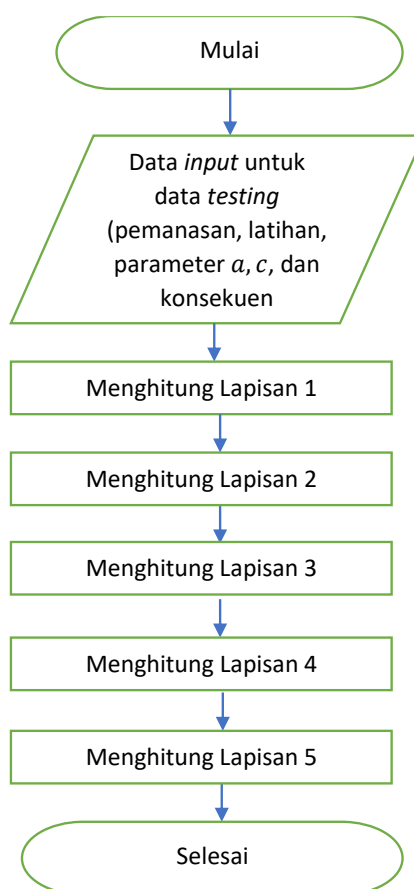
Langkah – langkah penelitian dalam menganalisa tingkat kelelahan atlet dengan metode ANFIS adalah mempelajari literatur terkait kondisi fisik atlet, melakukan pengamatan dan pengambilan data dilapangan, melakukan proses perhitungan ANFIS dari lapisan 1 sampai 5, mengaplikasikan dengan program Matlab. Adapun langkah – langkah yang dilakukan dalam menganalisa dengan metode ANFIS sebagai berikut:

1. Data dibagi menjadi 2 yaitu data *training* dan data *testing*. Data *training* akan digunakan dalam proses *training* dari system jaringan syaraf untuk mengatur nilai *input* serta pemetaannya pada *output*. Data *testing* adalah data yang digunakan untuk menguji ketelitian dari model yang sudah diperoleh dari proses *training*. Setelahnya, data *training* akan diolah mulai dari melakukan *clustering* untuk menentukan suatu data masuk ke dalam klaster tertentu dengan algoritma FCM, hal ini digunakan untuk mengelompokkan data agar masuk ke suatu klaster berdasarkan atribut yang memiliki karakteristik yang sama. Pada penelitian ini data dibagi dalam 2 kategori yaitu belum lelah dan lelah, dikarenakan kondisi atlet dapat diketahui melalui denyut nadi permenit setelah latihan untuk mengetahui kondisi atlet tersebut sudah lelah atau belum (Sandi, 2016). Penggunaan denyut nadi permenit setelah latihan dapat digunakan untuk menghindari resiko latihan yang berlebihan (*overtrained*) yang dapat menyebabkan sakit, cedera, dan kelelahan akut yang ditandai dengan denyut nadi yang rendah dibawah normal yaitu 60 denyut permenit.
2. Menghitung mean dan standar deviasi dari masing masing klaster untuk mendapatkan nilai parameter a dan c yang akan digunakan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan, parameter a merupakan nilai yang mean masing - masing klaster dan parameter c adalah nilai yang standar deviasi dari masing – masing klaster.
3. Menghitung derajat keanggotaan berdasarkan data input
4. Melakukan proses firing strength. Nilai fire strength didapatkan dari proses perkalian antara nilai dari setiap derajat keanggotaan.
5. Melakukan proses standarisasi nilai fire strength untuk mendapatkan nilai normalized fire strength
6. Menghitung nilai parameter konsekuen menggunakan algoritme Least Square Estimator (LSE)
7. Menghitung nilai output pada lapisan 4
8. Menjumlahkan seluruh nilai pada lapisan 4 untuk mendapatkan output pada lapisan 5 (output jaringan).
9. Menghitung propagation error jaringan. Jika error yang dihasilkan pada jaringan lebih kecil atau sama dengan nilai maximum error yang ditetapkan dan nilai epoch lebih besar dari iterasi maksimum maka lanjutkan ke proses selanjutnya. Apabila tidak maka lakukan proses perbaikan pada parameter konsekuen dan parameter premis dengan menggunakan algoritme steepest descent sampai didapatkan nilai yang sesuai.

Berdasarkan langkah – langkah penelitian diatas dapat dibuat diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Metode ANFIS Proses *Training*

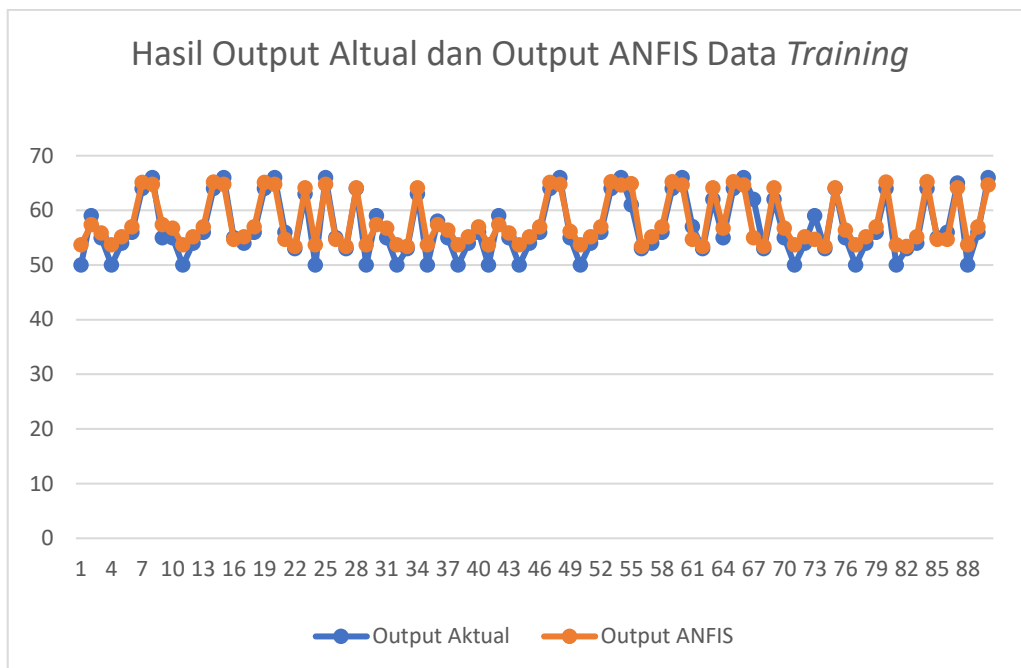


Gambar 2. Diagram Alir Metode ANFIS Proses Testing

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Permasalahan yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah analisa tingkat kelelahan atlet. Untuk mengetahui batas kelelahan seorang atlet perlu metode untuk menganalisanya, terutama untuk atlet yang masih dalam masa pertumbuhan. Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data dari atlet kelahiran tahun 2013 dengan waktu latihan 12 - 16 kali pertemuan selama satu bulan dan sudah berlatih selama 1 tahun. Atlet dengan kelahiran tahun 2013 saat ini berusia 10 tahun memiliki kemampuan motorik yang sudah berkembang sehingga dapat mengikuti latihan bulutangkis dengan baik (Erol, 2022). Atlet yang mengikuti program latihan akan terlihat perkembangannya saat pertemuan ke 12 latihan (Kusuma, 2018). Data yang digunakan adalah data denyut nadi atlet saat melakukan pemanasan, data denyut nadi saat melakukan latihan inti yaitu latihan bertanding, dan data denyut nadi saat pendinginan yaitu saat latihan telah selesai. Variable *input* yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu data saat atlet melakukan pemanasan, dan saat latihan inti, sedangkan untuk *output* adalah data saat atlet melakukan pendinginan. Setelah melakukan perhitungan ANFIS pada proses *training* diperoleh hasil:



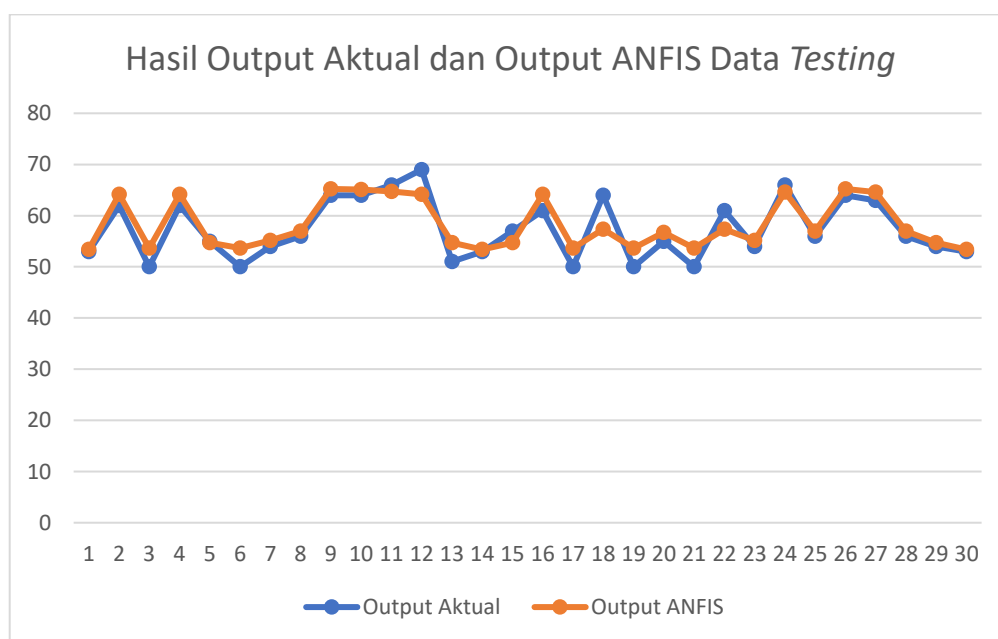
Gambar 3. Hasil Output Aktual dan Output ANFIS Proses Training

Dari hasil perhitungan pada data *training* dari proses *clustering* hingga perhitungan sampai lapisan ke 5 diperoleh nilai RMSE sebesar 2.2413 dengan akurasi model untuk analisa kelelahan sebesar :

$$akurasi = \frac{\text{banyak data} - \text{banyak data salah}}{\text{banyak data}} \times 100\%$$

$$akurasi = \frac{90 - 1}{90} \times 100\% = \frac{89}{90} \times 100\% = 98,8\%$$

Kesalahan 1 data ini adalah pada bagian target *output* yang menyatakan kondisi atlet sudah lelah namun pada *output* dengan menggunakan perhitungan ANFIS menyatakan belum lelah. Pada proses *testing* diperoleh hasil:



Gambar 4. Hasil Output Aktual dan Output ANFIS Proses Testing

Setelah melakukan proses perhitungan untuk data *testing* dari lapisan 1 sampai lapisan 5 diperoleh nilai RMSE 2.62146 dengan akurasi untuk tingkat kelelahan atlet pada data *testing* dengan metode ANFIS sebagai berikut:

$$\text{akurasi} = \frac{\text{banyak data} - \text{banyak data salah}}{\text{banyak data}} \times 100\%$$

$$\text{akurasi} = \frac{30 - 2}{30} \times 100\% = \frac{28}{30} \times 100\% = 93,33\%$$

Pembahasan

Setelah melakukan proses perhitungan ANFIS pada data *training* dimulai dari *clustering* sampai menghitung nilai *output* lapisan 5 dan dibantu dengan algoritma LSE, diperoleh parameter a , c , dan parameter konsekuen untuk data *testing*. Klaster yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 2 klaster yaitu belum lelah dan lelah mengacu pada (Sandi, 2016) menyatakan bahwa kondisi fisik atlet setelah latihan dapat diketahui dari frekuensi denyut nadi permenitnya untuk menandakan atlet itu lelah atau belum lelah. Penggunaan metode ANFIS pada analisa tingkat kelelahan atlet digunakan untuk menganalisa data *input* pada bagian denyut nadi saat latihan yang dapat digunakan untuk memprediksi hasil akhir dari *output*. FIS yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Sugeno Orde 1 sehingga hasil *output* yang didapatkan berupa aturan (IF – THEN) dengan persamaan linier dengan 2 aturan seperti berikut.

Aturan 1: Jika Pemanasan adalah x_1 dalam A_1 dan Latihan inti adalah x_2 dalam B_1 maka:

$$f = p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$$

Aturan 2: Jika Pemanasan adalah x_1 dalam A_2 dan Latihan inti adalah x_2 dalam B_2 maka:

$$f = p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$$

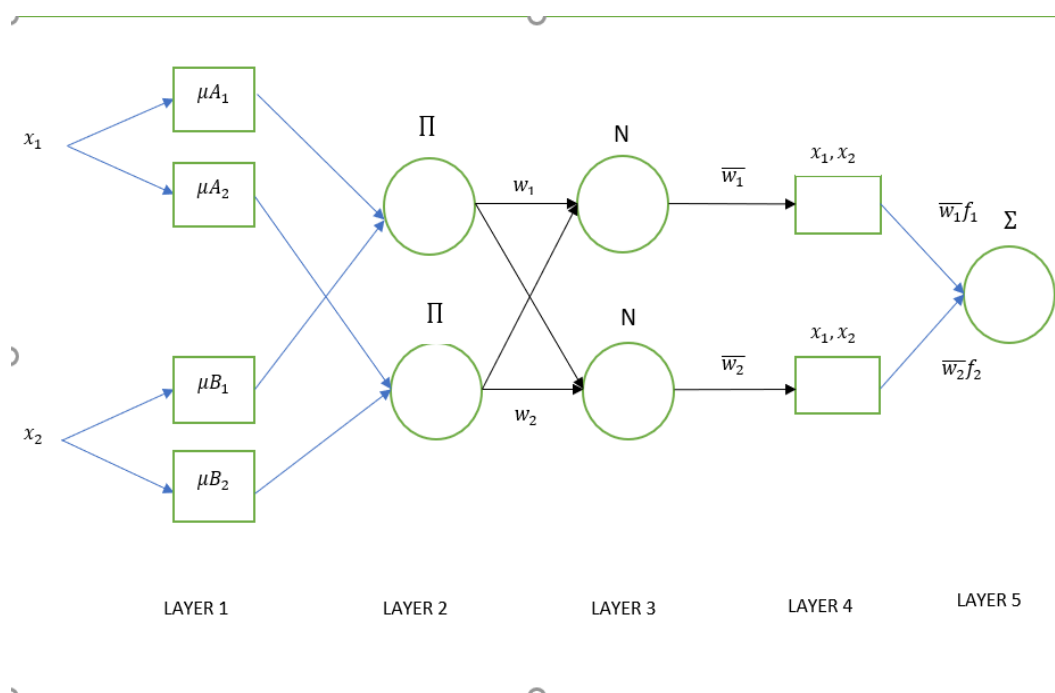
Dengan A_1, \dots, B_2 merupakan nilai linguistik pada masing-masing *input* dimana *input* x_1 memiliki nilai linguistik optimal dan tidak optimal pada saat pemanasan, *input* x_2 dengan nilai linguistik ringan dan sedang. Pada saat pemanasan denyut nadi yang optimal ada diangka 70 – 107 denyut permenit (Sumber : livehealthy.chron.com/minimum-target-heart-rate-workout-4250.html) apabila kurang dari angka tersebut maka dinyatakan tidak optimal. Untuk *input* x_2 merupakan denyut nadi saat latihan heart rate max dapat dihitung dengan $220 - \text{usia}$, pada penelitian ini usia atlet diusia 13 tahun maka heart rate max diperoleh $220 - 13 = 207$, untuk menghitung rentang denyut nadi untuk beban ringan yaitu denyut nadi maksimal dikalikan 60% – 70 % untuk beban ringan 70% – 80% untuk beban yang berat . untuk rentang denyut nadi dengan beban kerja ringan ada pada 124 – 144 denyut permenit sedangkan beban kerja sedang pada 144 – 165 denyut permenit.

Penggunaan FIS Sugeno Orde 1 dengan 2 aturan tersebut dapat dibaca jika pemanasan yang dilakukan tidak optimal dan beban kerja saat latihan ringan maka $f = p_1x_1 + q_1x_2 + r_1$ untuk aturan 1. Jika Pemanasan yang dilakukan optimal dan beban kerja saat latihan sedang maka $f = p_2x_1 + q_2x_2 + r_2$ untuk aturan 2. Penggunaan adaptive neuro digunakan untuk memodifikasi kondisi pada aturan dikarenakan untuk hasil akhir kedua aturan tersebut dijumlahkan untuk mendapatkan *output* yang sesuai dengan contoh apabila pemanasan yang dilakukan optimal dan beban kerja saat latihan ringan atau pemanasan yang dilakukan tidak optimal dan beban kerja saat latihan sedang keduanya dijumlahkan agar *output* yang didapatkan sesuai dengan nilai yang diperoleh saat pengamatan, dikarenakan saat melakukan pemanasan dan latihan hasil *output* dapat berubah dan tidak sesuai prediksi *fuzzy* seperti pada data *testing* no 2 dan 4 dimana saat pemanasan tidak optimal dengan denyut nadi 64 denyut permenit dan beban latihan sedang yaitu denyut 147 denyut permenit diperoleh hasil belum lelah, apabila kita

melihat secara langsung dengan pemanasan yang tidak optimal dapat menyebabkan risiko cedera ditambah dengan beban yang sedang akan semakin besar risiko tersebut dikarenakan kelelahan yang dialami akan terasa diawal dikarenakan pemanasan yang kurang optimal, akan tetapi hasil dengan ANFIS dan data actual menyatakan kondisi atlet belum lelah hal ini dapat terjadi karena ANFIS melakukan proses perhitungan dengan menjumlahkan kedua aturan *fuzzy* sehingga *output* yang didapatkan sesuai dengan *output* actual.

Nilai $p_1, q_1, r_1, p_2, q_2,$ dan r_2 merupakan parameter konsekuen yang didapat melalui proses pada lapisan 4 dengan bantuan algoritma LSE. Sedangkan untuk memperoleh hasil *output* yang berupa 1 nilai tetap diperlukan penggunaan adaptive neuro dengan menghitung dan memroses setiap nilai mulai dari lapisan 1-5.

Struktur ANFIS berdasarkan 2 variabel *input* dan 2 kluster menjadi sebagai berikut.

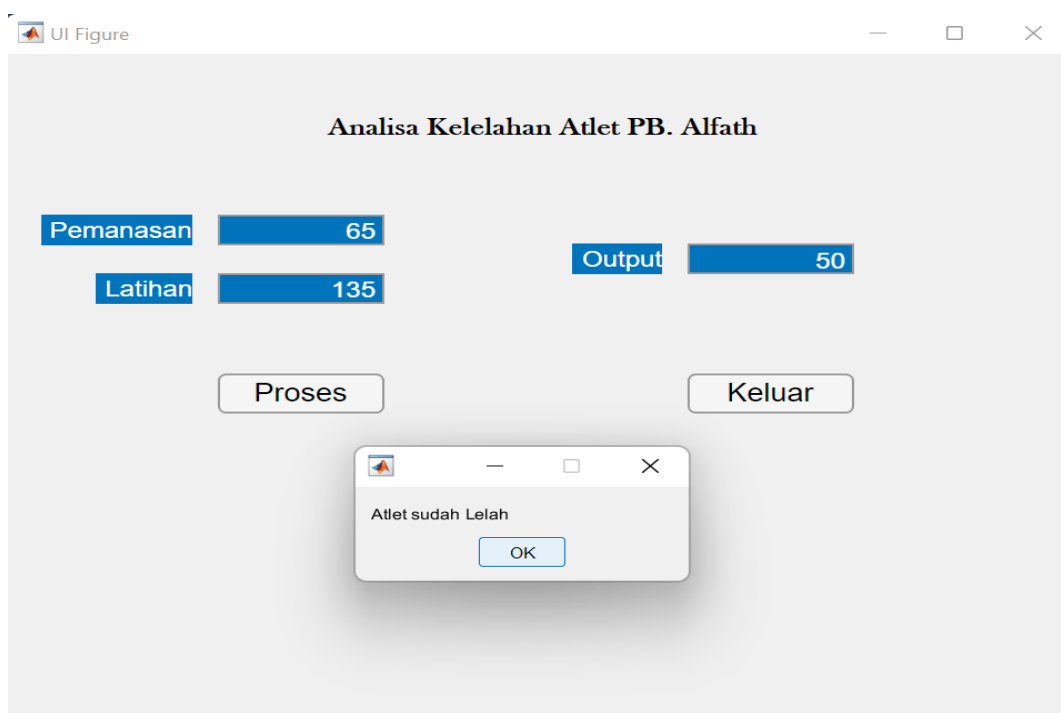


Gambar 5. Struktur ANFIS dengan 2 Variabel Input dan 2 Kluster

Pada lapisan 1 masing – masing *input* memiliki 2 neuron dengan gambar persegi dikarenakan neuron pada lapisan ini adalah neuron adaptif tergantung fungsi keanggotaan yang digunakan untuk memroses data *input*nya. Dua neuron pada lapisan satu dimasing – masing *input* disebut derajat keanggotaan, karena pada penelitian ini digunakan 2 kluster maka derajat keanggotaan masing-masing *input* sebanyak 2. Pada lapisan 2 merupakan derajat pengaktifan ada 2 node dengan gambar lingkaran karena neuron lapisan ini adalah lapisan tetap dengan cara mengalikan nilai neuron pada lapisan 1 seperti pada gambar 4.1, hal ini sesuai dengan batasan yang diperlukan agar *fuzzy* metode Sugeno orde 1 ini ekuivalen dengan jaringan dengan fungsi basis radial yaitu jumlah fungsi aktivasi harus sama dengan jumlah fungsi keanggotaan tiap *input*nya. Lapisan 3 merupakan normalisasi dari derajat pengaktifan untuk menghitung rasio setiap *output* pada lapisan 2 sehingga neuron yang terbentuk ada 2 dengan neuron tetap disimbolkan dengan gambar lingkaran. Pada lapisan 4 ada neuron dengan gambar persegi yaitu neuron adaptif hal ini dikarenakan untuk mendapatkan hasil pada lapisan 4 ada beberapa metode, pada penelitian ini menggunakan LSE yaitu dengan mengkomposisi matriks desain untuk membantu proses perhitungan untuk memperoleh nilai parameter konsekuen dan hasil *output* pada lapisan 4. Lapisan 5 hanya ada satu neuron dikarenakan *output* dari ANFIS hanyalah 1 yang merupakan hasil dari penjumlahan pada lapisan 4.

Dengan p_1, q_1, \dots, r_2 adalah parameter konsekuen yang diperoleh pada lapisan 4 dengan metode LSE. Setelah melakukan proses *clustering* data dibagi sesuai klaster masing masing untuk mendapatkan nilai parameter a dan c yang digunakan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan pada lapisan 1 dan dilanjut sampai lapisan ke 5 seperti yang sudah dijabarkan pada subbab sebelumnya. Setelah didapatkan nilai parameter a,c, dan parameter konsekuen dengan metode LSE, pada pembelejaran hybrid dilakukan langkah pembelajaran mundur untuk memperbaiki parameter – parameter tersebut apabila *error* yang dihasilkan sangat besar. Pada penelitian ini untuk data *training* diperoleh akurasi *output* model ANFIS sebesar 98,8% dimana *output* actual menyatakan tingkat kelelahan atlet adalah belum lelah sedangkan *output* ANFIS menyatakan sebaliknya,nilai RMSE yang diperoleh sebesar 2,413 sehingga parameter a,c dan konsekuen tidak diperbaiki karena nilai *output* ANFIS sudah cukup akurat dengan *output* yang diinginkan. Sehingga nilai parameter a,c dan konsekuen dapat digunakan untuk proses *testing*.

Adapun tingkat kelelahan atlet secara aktual dikaterogikan menurut (Sandi, 2016) menyatakan Denyut nadi mengalami penurunan sampai ke rentang 50 – 70 denyut permenit. Kondisi fisik dapat juga diukur dengan waktu pengembalian denyut nadi setelah latihan. Makin cepat denyut nadi ke dalam keadaan istirahat, maka semakin baik kondisi fisik seseorang dan sebaliknya semakin lambat denyut nadi pemulihan, maka kondisi fisik semakin menurun (Sandi, 2016). Denyut nadi yang lambat dalam pemulihannya dapat dikatakan lelah akibat kondisi fisik yang menurun. Denyut nadi seseorang semakin melambat dan menurut saat sedang tidur dengan rentang dibawah 60 kali permenit dana terus menurun (Hall, 2015) .Hal ini menunjukkan kondisi fisik yang butuh istirahat setelah aktivitas, sehingga apabila seorang atlet selesai latihan dan denyut nadi pemulihannya lambat bahkan sampai dibawah 60 kali permenit menandakan kondisi fisik atlet tersebut sudah lelah begitupun sebaliknya apabila denyut nadi pemulihan cepat dan diatas rentang 60 kali permenit menandakan kondisi fisik atlet tersebut belum lelah (Baggish et al., 2017). Maka dengan penjelasan dari bidang olahraga dan proses perhitungan menggunakan metode ANFIS dapat dikatakan bahwa metode ANFIS cukup baik dalam menganalisa tingkat kelelahan atlet dengan akurasi pada data *training* adalah 98% dan RMSE 2,413 dan akurasi pada data *testing* adalah 93% dan RMSE 2,62146.Dengan akurasi tersebut dapat dikatakan bahwa perhitungan tingkat kelelahan atlet dengan ANFIS cukup akurat sehingga dapat dijadikan dasar bagi pelatih dan atlet untuk mengetahui tingkat kelelahan pada masing – masing atlet. Dengan demikian, pelatih dapat membeuat program latihan yang lebih baik untuk perkembangan atlet sehingga meminimalisir risiko cedera dan lebih efisien dalam latihan. Pada penelitian ini digunakan matlab untuk pelatihan dan pengujian serta membuat tampilan interface sebagai berikut:



Gambar 6. GUI ANFIS

SIMPULAN

Simpulan

1. Pengimplementasian metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* dalam menganalisa tingkat kelelahan atlet yang pertama adalah membagi data menjadi 2 yaitu data *training* dan *testing*, melakukan *clustering* pada data *training* menggunakan *fuzzy C-Means* dengan bantuan Matlab, menghitung nilai parameter a dan c pada masing masing klaster, melakukan perhitungan dari lapisan 1 sampai 5, menentukan nilai parameter konsekuen pada lapisan 4 dengan metode LSE lalu penentuan perhitungan *error* menggunakan RMSE dan melakukan pengujian dengan Matlab untuk membuat Interface. Model yang didapatkan pada penelitian ini adalah parameter yang digunakan dalam proses perhitungan setiap lapisannya, dengan parameter a untuk *input* x_1 adalah 6.1967 dan 4.9110, parameter a untuk *input* x_2 adalah 2.3956 dan 2.1964. Parameter c untuk *input* x_1 adalah 72.5517 dan 66.5574, Parameter c untuk *input* x_2 adalah 145.8966 dan 133.6721. Parameter konsekuen yang didapatkan adalah $p_1 = -0,0282$, $q_1 = -0,1545$, $r_1 = 89.9391$, $p_2 = 0.0809$, $q_2 = -0.5525$, $r_2 = 122.6316$.
2. Didapatkan nilai akurasi pada data training sebesar 98,88% dan RMSE 2,413 dan akurasi pada data testing sebesar 93,33% dan RMSE 2,6214. Maka metode ANFIS memiliki akurasi yang tinggi untuk menganalisa tingkat kelelahan atlet sehingga metode ANFIS cocok digunakan dalam dunia olahraga terutama untuk menganalisa tingkat kelelahan atlet.
3. Hasil dari model ANFIS dapat digunakan sebagai acuan dalam pembentukan program latihan untuk atlet setelah didapatkan hasil akurasi model yang baik atau error yang sedikit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada koordinator dan seluruh Dosen Prodi Matematika yang telah memberikan ilmu dan bimbingan hingga terselesaikannya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z., Jamaludin, M. N., & Jamaludin, U. K. (2020). Physical Fatigue Prediction Based on Heart Rate Variability (HRV) Features in Time and Frequency Domains Using Artificial Neural Networks Model During Exercise. *Lecture Notes in Bioengineering*, 326–332. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3270-2_34
- Baggish, A. L., Battle, R. W., Beckerman, J. G., Bove, A. A., Lampert, R. J., Levine, B. D., Link, M. S., Martinez, M. W., Molossi, S. M., Salerno, J., Wasfy, M. M., Weiner, R. B., & Emery, M. S. (2017). Sports Cardiology: Core Curriculum for Providing Cardiovascular Care to Competitive Athletes and Highly Active People. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(15), 1902–1918. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.08.055>
- Bernaciková, M., Mazúr, J., Sebera, M., & Hedbávný, P. (2020). Monitoring Heart Rate Variability As A Biomarker Of Fatigue In Young Athletes. 167–175. <https://doi.org/10.5817/cz.muni.p210-9631-2020-21>
- Brooks, K., & Carter, J. (2013). Overtraining, Exercise, and Adrenal Insufficiency. *Journal of Novel Physiotherapies*, 03(01), 1–5. <https://doi.org/10.4172/2165-7025.1000125>
- Brown, D. M. Y., & Bray, S. R. (2017). Effects of mental fatigue on physical endurance performance and muscle activation are attenuated by monetary incentives. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 39(6), 385–396. <https://doi.org/10.1123/jsep.2017-0187>
- Erol, F. (2019). The Effect of Badminton Basic Training Program on Motoric Characteristics Applied in 11-12 Years Old Students. *Ayaň*, 8(5), 55.
- Erol, S. (2022). Investigation of the Effects of Badminton Basic Training Program Applied in 11-12 Years Old Children on Motor Development. *Ankara Üniversitesi Beden Eğitimi ve Spor Yüksekokulu SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 20(3), 182–192. <https://doi.org/10.33689/spormetre.1132471>
- Hall, J. E. (2015). *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology E-Book*. Elsevier Health Sciences. <https://books.google.co.id/books?id=krLSCQAAQBAJ>
- Hardinoto, N., Syah, S., & Sitepu, I. D. (2017). Perbedaan Karakter Olahraga Kompetitif (Studi Komparatif Olahraga Individu Dan Olahraga Tim). *Jurnal Prestasi*, 1(2), 183–190. <https://doi.org/10.24114/jp.v1i2.8058>
- Hermawan, H. A. (2011). Multilateral: Konsep Dan Aplikasi Olahraga Anak Usia Dini. *FIK Universitas Negeri Yogyakarta*, 1–13. <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132326894/penelitian/MULTILATERAL+KONSEP+DAN+APLIKASI+OLAHRAGA+ANAK+USIA+DINI,.pdf>
- Karam, N., Pechmajou, L., Dumas, F., Bougouin, W., Sharifzadehgan, A., Beganton, F., Bonnet, G., Jost, D., Lamhaut, L., Varenne, O., Aubry, P., Sideris, G., Spaulding, C., Cariou, A., Marijon, E., & Jouven, X. (2018). Comprehensive assessment of coronary artery disease in sports-related sudden cardiac arrest. *Circulation*, 138(4), 429–431. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.034664>
- Kusuma, D. A. (2018). Evaluasi Kelelahan Pada Latihan Olahraga. *Indonesia Performance Journal*, 2(1), 55–60. <http://journal2.um.ac.id/index.php/jko>
- Popova, T., Koriukalov, Y., Kourova, O., Gurlev, V., & Khomykova, T. (2020). How does an athlete's heart react to studying at university? *BIO Web of Conferences*, 26, 00053. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202600053>
- Sandi, I. N. (2016). Pengaruh Latihan Fisik Terhadap Frekuensi Denyut Nadi. *Sport and Fitness Journal*, 4(2), 1–6.
- Zhang, H., & Liu, X. (2008). Understanding of Competitive Sports Conducted by School Under the New Curriculum Standard. *International Education Studies*, 1(3), 30–32. <https://doi.org/10.5539/ies.v1n3p30>