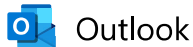


No	Tanggal	Keterangan
1	30 Maret 2023	Pendaftaran jurnal
2	5 April 2024	Artikel telah direview dan diminta untuk revisi
3	30 april 2024	Artikel diperbaiki dan disubmit kembali
4	21 Juli 2024	Proses editing lengkap
5	10 Sept 2024	Profreading



[TEKNIK] Confirmation of Submission "Penggunaan Jaringan Saraf Tiruan untuk Memprediksi Besarnya Kuat Tekan Beton Persegi dengan Perkuatan FRP (Fiber Reinforced Polymer)"

From Editor in Chief of Jurnal TEKNIK <wasyafei@live.undip.ac.id>

Date Thu 02/03/2023 00:37

To Anang Kristianto <anang.kristianto@eng.maranatha.edu>

Dear Dr. Anang Kristianto,

Thank you for submitting the manuscript, "Penggunaan Jaringan Saraf Tiruan untuk Memprediksi Besarnya Kuat Tekan Beton Persegi dengan Perkuatan FRP (Fiber Reinforced Polymer)" to the journal TEKNIK.

The accredited journal Sinta 2 by Ristek Dikti. With our online journal management system, you can track the progress of the manuscript in the editorial process by logging into the journal web site:

Manuscript URL: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/submission/52812>

Author username: anang_kristianto

Another thing you need to do is send a contact number (WA) via google form (<http://bit.ly/penulisjurnalteknik>).

For your information, starting from Vol. 41 No. 2 August 2020, after the manuscript passes the review process and is declared as ACCEPTED, the author will be charged an article processing fee of 1 million rupiah or \$100 which must be paid before the manuscript is published through the TEKNIK Journal.

Authors who have objections to the above policy are welcome to withdraw the manuscript that has been sent to the TEKNIK Journal.

We will only process manuscripts from serious and pro active authors.

If you have any questions, please contact us. Thank you for considering this journal as the publication space for your best work.

Editor in Chief

Jurnal TEKNIK

Website:

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

<http://jteknik.undip.ac.id>

Online Submission: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

Email: jteknik@live.undip.ac.id



[TEKNIK] Validate Your Account

From Editor in Chief of Jurnal TEKNIK <wasyafei@live.undip.ac.id>

Date Wed 01/03/2023 20:35

To Anang Kristianto <anang.kristianto@eng.maranatha.edu>

Dr. Anang Kristianto

You have created an account with TEKNIK, but before you can start using it, you need to validate your email account. To do this, simply follow the link below:

https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/user/activateUser/anang_kristianto/2S3aBi7h

Thank you,

Editor in Chief of Jurnal TEKNIK

Editor in Chief

Jurnal TEKNIK

Website:

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

<http://jteknik.undip.ac.id>

Online Submission: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

Email: jteknik@live.undip.ac.id

Editor

05-04-2024 07:51
AM

Delete

Subject: [TEKNIK] Editor Interim Decision Revision Required
[Ms ID: Teknik-2023-52812]

Journal Name: TEKNIK

Article Title: Penggunaan Jaringan Saraf Tiruan untuk Memprediksi
Besarnya Kuat Tekan Beton Persegi dengan Perkuatan FRP (Fiber
Reinforced Polymer)

Ms ID: Teknik-2023-52812

Dear Dr. Anang Kristianto,

Congratulation, your manuscript has passed the Substance
Reviewing process in Journal [TEKNIK]. Reviewers have provided
comments about the manuscript in the last part of this email.
Therefore Authors should answer the Reviewers's comments and
revise the manuscript, seriously.

Two documents that need to be uploaded for this stage are:

1. Manuscripts / Articles that have been revised in MS Word
2. Answer sheet/ Responses to reviewers' comments in a separate
file. It should contain detail answer for each comments and also
mention where the improvements are located (pages, columns,
rows).

Here is the procedure:

1. Log in as Author in <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>.
2. Click "Active" and click on the manuscript title. In the header
"#xxxx Summary" there is a taskbar "Summary", "Review",
"Editing", then click on "Review".
3. In the "Editor Decision" section, please upload the those two files
in the "Upload Author Version" section by clicking Browse File,
then clicking "Upload".

Authors have 14 (fourteen) days from now for this stage. If both
documents are not submitted until the deadline, then the manuscript
will automatically be rejected."

Thank you for your cooperation and trust in you for publication in
the Journal {\$ journalName} . National Journal Sinta-2 accredited
by RISTEK DIKTI

Best regards,

Editor in Chief
Jurnal TEKNIK

Sinta 2 Accredited Journal by RISTEK DIKTI
Engineering Faculty, Diponegoro University

{ \$comments }

Reviewer A:

Does the paper title represent its content?

Sudah sesuai materi, namun singkatan FRP sebaiknya dihilangkan, cukup pakai istilah bahasa inggrisnya.

Does the abstract reflect the paper content?

Sudah sesuai konten, namun harus di cek kalimat harus SPOK agar mudah dipahami pembaca. Hasil yang disajikan harus sinkron dengan di pembahasan.

Do the keywords indicate the scope of the research?

Sudah sesuai

Is the research methodology or the approach of the problem solving clearly described?

Metodologi sudah cukup menjelaskan materi

Do the data presentation and interpretation valid and reasonable?

Penyajian data/gambar kurang jelas terbaca dan interpretasi data perlu dijelaskan secara detil, apa signifikansinya dan harus masuk akal.

Do the use of tables and figures help to clarify the explanation?

Gambar, angka, tulisan dan simbol perlu dibesarkan agar terbaca jelas

Have the discussion and/or analysis been relevant with the results of the study?

Beberapa sudah dijelaskan dengan baik, namun perlu ditekankan/dijelaskan data pembandingan dari peneliti lainnya kelemahan dan kelebihan dengan penelitian Anda.

Are the references used relevant? Is it sufficient?

Refferensi yang digunakan masih kurang dan perlu ditambah. Banyak yang disebutkan namun tidak ada di daftar pustaka. Mohon pakai mendeley/zotero agar mempermudah pembaca.

Contribution to science

Riset ini dapat berkontribusi dalam ilmu pengetahuan.

Originality

14% similarity di turnitin

Systematic

good

Language

perlu proofreading

Writing accuracy

good

Reviewer's decision

mayor revision

Comment about the paper

mohon diperlukan proofreading atau tata bahasa yang baik sesuai
SPOK dan cermati typo-typo, italic (english).

Reviewer B:

Does the paper title represent its content?

Ya

Does the abstract reflect the paper content?

Ya

Do the keywords indicate the scope of the research?

Ya

Is the research methodology or the approach of the problem
solving clearly described?

Ya,

Do the data presentation and interpretation valid and reasonable?

Ya

Do the use of tables and figures help to clarify the explanation?

Ya,

Have the discussion and/or analysis been relevant with the results of the study?

Ya

Are the references used relevant? Is it sufficient?

Ya

Contribution to science

Cukup

Originality

Ok

Systematic

Ya

Language

Ya

Writing accuracy

Ok

Reviewer's decision

Revision

Comment about the paper

Penulis telah menyajikan manuskripnya dengan baik. Ada beberapa saran terkait manuskrip tersebut untuk lebih menjelaskan hasil eksperimennya. Berikut saran-saran yang bisa digunakan untuk meningkatkan kualitas manuskrip penulis:

1. Sebaiknya metodologi dituliskan dalam sub tersendiri dan sub

judul yang sesuai. Di manuskript tersebut dituliskan dalam sub 2. tentang Jaringan syaraf tiruan yang berisi tentang dataset, metode pengerjaan, perhitungan kinerja. Sebaiknya sub bab ini diubah menjadi metodologi.

2. Paragraf 5 (sub-bagian 2), penulis menuliskan tentang perhitungan performa yang menyatakan

"Definisi dari MAE dan RMSE diberikan dalam persamaan (1).."

Persamaan 1 untuk MAE, tetapi RMSE tidak diberikan (jika digunakan sebaiknya ditampilkan).

3. Paragraf 7 (sub-bagian 2) disebutkan:

"Dari 113 data hasil eksperimen dibagi menjadi 79 data untuk training, 34 data untuk uji dan validasi."

Data validasi (34) seharusnya merupakan data yang digunakan untuk memvalidasi proses pembelajaran dari data training (79). Sedangkan data uji (unseen data) merupakan data yang seharusnya tidak terlibat selama proses pembelajaran dan digunakan untuk menguji model JST hasil pembelajaran.

4. Tabel 1 ditampilkan kinerja untuk data training. Sebaiknya dilengkapi kinerja untuk data validasi dan data uji pada epoch yang sama. jika kinerja MSE yang ditampilkan untuk data training pada epoch 53, maka model yang diperoleh pada epoch yang sama yang digunakan untuk mengukur kinerja MSE untuk data validasi dan data uji.

5. Di tabel 1 digunakan ukuran MSE, tetapi di bagian 2 (metodologi) tidak pernah dijelaskan tentang MSE maupun persamaan yang digunakan. Tetapi yang ditampilkan di bagian tersebut MAE.

6. Dari Gambar 3 terlihat MSE untuk data training lebih kecil (lebih bagus) dibanding data validasi dan data uji/Test. Bisa ditambah penjelasan apakah ada kemungkinan model jaringan syaraf yang Anda susun telah mengalami overfitting!

Editor in Chief

Jurnal TEKNIK

Website:

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

<http://jteknik.undip.ac.id>

Online Submission: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>

Email: jteknik@live.undip.ac.id

Penjelasan dan perbaikan yang telah dilakukan

REVIEWER A	
Komentar reviewer	Perbaikan yang dilakukan/ penjelasan penulis
Sudah sesuai materi, namun singkatan FRP sebaiknya dihilangkan, cukup pakai istilah bahasa inggrisnya.	Telah diganti sesuai dengan saran reviewer, dapat dilihat pada judul
Sudah sesuai konten, namun harus di cek kalimat harus SPOK agar mudah dipahami pembaca. Hasil yang disajikan harus sinkron dengan di pembahasan.	Beberapa kalimat yang belum sesuai SPOK telah diperbaiki. Sebagai contoh pada abstrak kalimat pertama, sudah mengikuti tata bahasa yang benar.
Penyajian data/gambar kurang jelas terbaca dan interpretasi data perlu dijelaskan secara detil, apa signifikansinya dan harus masuk akal.	Data pada gambar sudah diperbesar, sebagai contoh pada Gambar 3 dan Gambar 4 sudah diperbesar angka pada sumbunya, penjelasan telah diberikan pada narasi. Untuk Gambar 3 penjelasan diberikan pada paragraf pertama sub bab 3 Hasil dan Pembahasan. Untuk Gambar 4 pada paragraf keduanya, juga signifikansi dari nilai R yang dimaksud dalam gambar.
Gambar, angka, tulisan dan simbol perlu dibesarkan agar terbaca jelas	Sudah diperbesar seperti pada Gambar 3 . Gambar 4 dan Gambar 9. Untuk angka 0 dibelakang koma pada Gambar 5,6,7 dan 8 sudah dihilangkan.
Beberapa sudah dijelaskan dengan baik, namun perlu ditekankan/dijelaskan data pembandingan dari peneliti lainnya kelemahan dan kelebihan dengan penelitian Anda.	Perbandingan dengan peneliti lain telah dijelaskan, dapat dilihat pada halaman 6 mulai dari paragraf pertama. Dijelaskan dibandingkan juga dengan standar yang berlaku saat ini. Kelemahan dari JST juga sudah diberikan pada halaman 7 pada paragraf pertama setelah Gambar 9.
Refferensi yang digunakan masih kurang dan perlu ditambah. Banyak yang disebutkan namun tidak ada di daftar pustaka. Mohon pakai mendeley/zotero agar mempermudah pembaca.	Referensi sudah ditambahkan sesuai saran seperti pada paragraf 3 pada sub bab Pendahuluan (halaman 2). Sudah digunakan Mendeley untuk mempermudah pembaca
mohon diperlukan proofreading atau tata bahasa yang baik sesuai SPOK dan cermati typo-typo, italic (english).	Sudah diperiksa sesuai anjuran reviewer
REVIEWER B	
Komentar reviewer	Perbaikan yang dilakukan/ penjelasan penulis
1. Sebaiknya metodologi dituliskan dalam sub tersendiri dan sub judul yang sesuai. Di	Sub bab sudah diganti sesuai saran reviewer, dapat dilihat pada sub bab 2

manuskript tersebut dituliskan dalam sub 2. tentang Jaringan syaraf tiruan yang berisi tentang dataset, metode pengerjaan, perhitungan kinerja. Sebaiknya sub bab ini diubah menjadi metodologi.	
2. Paragraf 5 (sub-bagian 2), penulis menuliskan tentang perhitungan performa yang menyatakan "Definisi dari MAE dan RMSE diberikan dalam persamaan (1).." Persamaan 1 untuk MAE, tetapi RMSE tidak diberikan (jika digunakan sebaiknya ditampilkan).	Agar konsisten dengan analisis pada pembahasan perhitungan kinerjanya maka penulis merevisi menjadi MAE dan dilengkapi dengan definisinya, dapat dilihat pada paragraf kedua halaman 4
3. Paragraf 7 (sub-bagian 2) disebutkan: "Dari 113 data hasil eksperimen dibagi menjadi 79 data untuk training, 34 data untuk uji dan validasi." Data validasi (34) seharusnya merupakan data yang digunakan untuk memvalidasi proses pembelajaran dari data training (79). Sedangkan data uji (unseen data) merupakan data yang seharusnya tidak terlibat selama proses pembelajaran dan digunakan untuk menguji model JST hasil pembelajaran.	Sudah diberikan penjelasan tambahan, dari 113 data hasil eksperimen dibagi menjadi 79 data untuk training, 17 data untuk uji dan 17 data untuk validasi (diberikan pada paragraf 4 halaman 4
4. Tabel 1 ditampilkan kinerja untuk data training. Sebaiknya dilengkapi kinerja untuk data validasi dan data uji pada epoch yang sama. jika kinerja MSE yang ditampilkan untuk data training pada epoch 53, maka model yang diperoleh pada epoch yang sama yang digunakan untuk mengukur kinerja MSE untuk data validasi dan data uji.	Tabel 1 telah diperbaiki dan dilengkapi sesuai saran reviewer yaitu ditambahkan nilai MSE untuk data validasi dan data uji , dapat dilihat pada halaman 4 paragraf terakhir.
5. Di tabel 1 digunakan ukuran MSE, tetapi di bagian 2 (metodologi) tidak pernah dijelaskan tentang MSE maupun persamaan yang digunakan. Tetapi yang ditampilkan di bagian tersebut MAE.	Telah diperbaiki dengan menjelaskan MSE pada paragraf sebelumnya.
6. Dari Gambar 3 terlihat MSE untuk data training lebih kecil (lebih bagus) dibanding data validasi dan data uji/Test. Bisa ditambahi penjelasan apakah ada kemungkinan model jaringan syaraf yang Anda susun telah mengalami overfitting!	Sepengetahuan penulis memang <i>ada</i> (terdapat) selisih nilai MSE pada data latih dan data uji/tes. Yang lazim, jika distribusi (karateristik) data uji/test berbeda jauh dengan data latih, maka selisih nilai MSE akan membesar (nilai MSE data uji/test lebih besar daripada nilai MSE data latih). Jika diamati grafik MSE data uji/test (warna merah) masih di atas grafik MSE data latih, sehingga terkesan model (arsitektur jaringan) mengalami overfitting, <i>tetapi</i> jika melihat tren

	(kecenderungan/ gradien) turunnya grafik MSE yang hampir sama untuk kedua jenis data, maka dapat dilihat kemampuan generalisasi model (pada data uji) yang dipilih sudah baik. Hal ini menunjukkan model belum tentu mengalami overfitting.
--	---

Terima kasih atas seluruh saran dan koreksi dari para reviewer sehingga membantu penulis memberikan hasil manuskrip yang lebih baik untuk disajikan dan dibaca.

Best regards,

Penulis.

Analisis Tegangan Terkekang Beton Persegi dengan Perkuatan FRP (Fiber Reinforced Polymer) menggunakan Jaringan Saraf Tiruan

...

1 ...
2 ...
...

Abstrak

Penggunaan FRP untuk meningkatkan kapasitas kekuatan elemen struktur telah banyak diaplikasikan pada bangunan, baik dalam rangka perkuatan untuk mencapai kapasitas yang diperlukan dalam desain sebagai akibat perubahan fungsi bangunan atau untuk memenuhi persyaratan terhadap beban desain gempa yang saat ini diperbaharui. Perkuatan kolom beton persegi dengan FRP memerlukan penelitian lebih lanjut terkait dengan sudut pada penampang persegi yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Pada penelitian ini digunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memprediksi tegangan terkekang (f'_{cc}) kolom beton persegi yang diberikan perkuatan FRP. Penggunaan JST dengan 4 hidden layer (J8-4-1) dalam memprediksi 113 benda uji hasil eksperimen memberikan hasil akurat dengan nilai mse yang optimum yaitu sebesar 0.00131 dengan nilai korelasi R baik pada fase training, fase validasi maupun fase uji berturut-turut adalah sebesar 0.99, 0.98 dan 0.98. Analisis dengan JST J8-4-1 untuk memprediksi besarnya tegangan pengekan memberikan hasil prediksi dengan korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan metoda analisis yang telah banyak dilakukan selama ini pada beberapa penelitian perkuatan kolom persegi dengan FRP. Analisis dengan JST juga memberikan gambaran yang akurat mengenai korelasi kenaikan radius kelengkungan sudut kolom persegi terhadap peningkatan tegangan terkekangnya, hal ini konsisten dengan beberapa hasil studi eksperimental yang telah dilakukan dan juga dengan standar ACI 440.2R-17.

Kata kunci: Jaringan Saraf Tiruan, kolom, tegangan terkekang, FRP

Abstract

[Title: Confined Stress of Square Concrete Analysis with FRP (Fiber Reinforced Polymer) Reinforcement using Artificial Neural Networks] The use of FRP to increase the strength capacity of structural elements has been widely applied to buildings, either in the context of reinforcement to achieve the capacity required in the design due to changes in the function of the building or to comply with the currently updated earthquake design loads. Reinforcement of square concrete columns with FRP requires further research related to the corner radius in the square cross-section that causes stress concentration. This study used an Artificial Neural Network (ANN) to predict the confined stress (f'_{cc}) of square concrete columns reinforced with FRP. The use of ANN with 4 hidden layers (J8-4-1) in predicting 113 experimental specimens gave accurate results with an optimum mse value of 0.00131 with a correlation value R both in the training phase, validation phase, and test phase of 0.99, 0.98, and 0.98, respectively. Analysis with ANN (J8-4-1) gives better prediction results to predict the confined concrete stress than the analytical method that has been widely used in several studies of reinforcing square columns with FRP reinforcement. The ANN analysis also accurately describes the correlation between the increase in the radius of curvature of the square column corners and the increase in confined concrete stress, which is consistent with the results of several experimental studies conducted and the standard ACI 440.2R-17

Keywords: Artificial Neural Network, column, confined stress, FRP

1. Pendahuluan

Peraturan terbaru pemerintah terkait desain struktur terhadap beban gempa (SNI 1726-2019) mengalami perubahan khususnya pada besarnya beban gempa yang terjadi pada beberapa daerah rawan gempa dan juga perubahan terkait persyaratan detailing tulangan pengekang pada kolom persegi. Kondisi ini mengakibatkan bangunan-bangunan gedung pada beberapa daerah rawan gempa harus diperkuat elemen strukturnya secara khusus kolom karena tidak lagi memenuhi persyaratan kekuatan. Salah satu perkuatan elemen struktur kolom yang saat ini banyak digunakan adalah menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). Penggunaan FRP saat ini sudah banyak diaplikasikan untuk meningkatkan kapasitas kekuatan elemen struktur bangunan, baik dalam rangka perkuatan agar sesuai dengan kapasitas yang didesain ataupun kebutuhan akan perkuatan terkait perubahan fungsi bangunan dan persyaratan terhadap beban desain gempa yang diperbaharui. Material yang ringan, relatif mudah dan cepat dipasang sekaligus memiliki kapasitas tarik yang besar merupakan salah satu kelebihan FRP yang banyak diaplikasikan pada elemen struktur bangunan secara khusus elemen kolom. Penggunaan lembaran FRP pada kolom eksisting memberikan kemampuan kekangan pasif yang dapat meningkatkan kapasitas aksialnya.

Studi terkait peningkatan kapasitas aksial pada kolom didasarkan pada penelitian Richart et al (1928) dengan mengasumsikan suatu penampang lingkaran dengan distribusi tegangan pengekang yang seragam. Kondisi ini memungkinkan perhitungan tegangan pengekangan secara langsung sebagai fungsi dari ketebalan lembaran FRP, sifat mekanis nya dan diameter penampang. Studi literatur yang komprehensif dapat dilihat pada penelitian Ozbakkaloglu et al (2013) yang menganalisis berbagai model untuk memprediksi perilaku tegangan dan regangan pengekangan kolom lingkaran yang diberi perkuatan FRP.

Perkuatan FRP pada kolom persegi yang memiliki sudut tajam di bagian sudut dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan sebagai akibat tidak terpenuhinya kekakuan lentur dari FRP yang membungkusnya (Campione et al.2004). Pada prakteknya kondisi ini mengharuskan penghalusan sudut kolom persegi dalam bentuk melengkung dengan jari-jari tertentu, pembuatan sudut melengkung ini akan mereduksi konsentrasi tegangan dan menghindari terjadinya kegagalan prematur pada FRP. Berbagai penelitian yang berfokus pada parameter jari-jari kelengkungan yang digunakan pada kolom yang dibungkus FRP telah dilakukan. Wang and Wu, (2008) dalam penelitiannya memberikan konfirmasi pengaruh r/b (rasio jari-jari kelengkungan sudut dan lebar kolom) serta mutu beton dalam meningkatkan kapasitas aksial kolom persegi yang diberi perkuatan FRP, hasil

penelitian ini dikonfirmasi secara ekperimental juga oleh peneliti lainnya (Al-Salloum 2007; Sharma et al. 2013).

Meskipun beberapa penelitian secara eksperimental telah dilakukan untuk memperlihatkan efek radius kelengkungan sudut pada peningkatan tegangan pengekangan namun membuat pemodelannya merupakan tugas yang tidak mudah karena banyaknya fenomena fisik yang harus diperhitungkan (Giovanni M et al. 2019). Hal inilah yang membuat sedikit model tersedia untuk penampang persegi, sebagian besar dari pemodelan yang digunakan adalah berdasarkan asumsi distribusi tegangan yang seragam. Penampang persegi di idealisasikan sebagai penampang lingkaran dengan ekuivalensi diameternya dan diberikan faktor bentuk atau faktor efisiensi untuk memperhitungkan perbedaan distribusi tegangan yang terjadi (Zeng et al. 2017; Eid and Paultre 2017). Pendekatan secara praktis ini telah digunakan dalam standar resmi ACI 440.2R (ACI 2008), meskipun demikian pendekatan ini belum memperhitungkan regangan efektif yang terjadi pada lembaran FRP pada saat mengalami keruntuhan.

Beberapa pendekatan telah dilakukan untuk memodelkan perilaku kolom dengan perkuatan FRP diantaranya adalah pendekatan secara mekanik dimana lembaran FRP dimodelkan seperti balok yang bertumpu pada tanah elastis, yang mensimulasikan interaksi FRP dengan inti beton yang dikekangnya (Campione et al. 2004). Giovanni et al, 2019 melakukan pendekatan secara mekanik pada kolom persegi dengan sudut melingkar yang diberi perkuatan FRP dengan memodelkan lembaran FRP sebagai elemen balok yang berinteraksi dengan inti beton kolom. Model balok ini terkoneksi melalui spring yang terdistribusi sepanjang arah radial dan circumferential dengan inti beton yang rigid. Pada penelitian ini disusulkan pendekatan secara mekanik dengan menggunakan persamaan konsitutif yang merupakan fungsi dari circumferential dan radial springnya.

Pendekatan dengan model elemen hingga (finite element) dengan bantuan software telah dilakukan oleh Karam and Tabbara, 2005, yang menganalisis pengaruh radius kelengkungan sudut terhadap distribusi tegangan yang terjadi. Penelitian ini juga mengkonfirmasi secara numerik bahwa tegangan pengekangan sepanjang bagian tepi yang lurus sangat kecil bila dibandingkan dengan tegangan pada bagian sudut.

Pendekatan secara analitis dilakukan oleh Pham and Hadi (2014), dimana pada penelitian ini tegangan tarik yang terjadi pada lembaran FRP merupakan suatu formula yang diturunkan dari model *thin shells* (cangkang tipis). Penelitian memberikan informasi bahwa faktor efisiensi regangan yang dihitung sebagai rasio antara tegangan ultimate FRP pada kolom dengan tegangan FRP pada kondisi uji tarik murninya adalah merupakan fungsi dari r/b dan rasio kekakuan pengekangan. Pendekatan

secara regresi logaritma hasil eksperimen dilakukan untuk menghasilkan usulan formula yang memberikan nilai besarnya rasio efisiensi regangan pada lembaran FRP yang digunakan sebagai perkuatan.

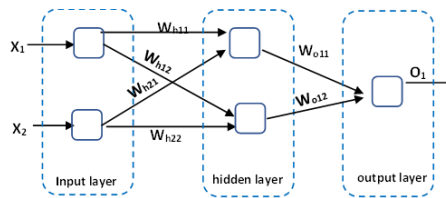
Dengan banyaknya data-data hasil penelitian eksperimental yang telah dilakukan, pendekatan modern mulai digunakan dengan memanfaatkan model Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) untuk memprediksi besarnya tegangan dan regangan ultimate kolom beton dengan perkuatan FRP. Pendekatan dengan Jaringan Saraf Tiruan tidak membutuhkan asumsi suatu hubungan fungsi diantara berbagai variabel yang menentukan seperti yang dilakukan pada pendekatan secara analitis maupun mekanik. JST (Jaringan Saraf Tiruan) secara otomatis mengkonstruksi hubungan dan melakukan adaptasi berdasarkan data-data yang digunakan sebagai apa yang disebut pelatihan. Alasan inilah yang membuat pendekatan JST menjadi menarik sebagai alat untuk memodelkan dan memprediksi perilaku suatu masalah dalam hal ini bidang engineering.

Oreta et al (2003) menggunakan pendekatan Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi besarnya kapasitas tegangan dan regangan pada kolom lingkaran yang diberikan perkuatan FRP. Data yang digunakan berjumlah 38 spesimen dari hasil eksperimental kolom lingkaran yang diberi perkuatan FRP yaitu : Mander et al. 1988b; Sakai et al. 2000 dan Sakai 2001. Arsitektur JST yang digunakan terdiri dari 7 nodal input, hidden layer yang divariasikan dari 2 hingga 4 nodal, sementara output berjumlah 2 nodal. Pendekatan dengan JST pada penelitian ini memberikan perbedaan nilai prediksi tegangan dan regangan sebesar 1% hingga 3% dari nilai hasil eksperimental. Oreta juga memberikan saran untuk menambah jumlah data eksperimental sebagai bagian dari proses “training” dari JST agar mendapatkan hasil prediksi yang semakin akurat. Penelitian lain untuk kolom lingkaran dilakukan oleh Naderpour et al. 2010, Jalal dan Ramezani-pour, 2012.

Pada penelitian ini akan diberikan penggunaan Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi kuat tekan kolom beton persegi yang diberikan perkuatan FRP. Seperti diketahui bahwa analisis tegangan pengekang kolom persegi hingga saat ini masih menggunakan pendekatan dengan asumsi kolom lingkaran yang diberikan faktor bentuk atau faktor efisiensi. Penelitian ini memberikan alternatif pendekatan lain dari yang selama ini digunakan seperti model analitis, pendekatan mekanik serta metode elemen hingga. Bertambah banyaknya data-data baru hasil eksperimental memberikan nilai tambah bagi pendekatan dengan JST dalam penelitian ini dimana data terakhir yang digunakan adalah penelitian eksperimental pada tahun 2019.

2. Jaringan Saraf Tiruan

Suatu sistem JST adalah sekumpulan dari unit-unit pemrosesan sederhana atau nodal-nodal yang terhubung melalui sambungan-sambungan yang disebut koneksi. Arsitektur dari jaringan saraf dapat digambarkan secara skematik pada gambar 1



Gambar 1. Ilustrasi layer Jaringan Saraf Tiruan

Gambar 1 menggambarkan 3 layer JST, dimana nodal persegi merepresentasikan unit pemrosesan, garis merepresentasikan hubungan-hubungan dan kepala panah pada garis menunjukkan arah normal dari aliran sinyal. Unit-unit pemrosesan dapat dikelompokkan sebagai *input layer*, *hidden layer* dan *output layer* unit pemrosesan. Tujuan utama dari unit pemrosesan adalah menerima input dari unit bersebelahan yang menyediakan masukan aktivasi, menghitung keluaran dan mengirim keluaran kepada unit sebelah yang akan menerima outputnya. Kekuatan dari hubungan diantara unit pemrosesan disediakan oleh suatu set pembobotan yang mempengaruhi besarnya input yang akan diterima oleh unit-unit **sebelahnya**. Output yang dihasilkan dari unit pemrosesan keluaran dibandingkan dengan target data keluaran/output dan bobot dimodifikasi secara tepat atau disesuaikan berdasarkan aturan *training* dan pembelajaran. Pada akhirnya jika masalah dapat dipelajari, suatu kumpulan bobot yang stabil berkembang secara adaptif akan **memberikan hasil yang bagus**.

Fase training JST dalam penelitian ini menggunakan algoritma pembelajaran dengan algoritma *Back Propagation Network* (BPN). Fase *training* dari algoritma BPN ini terdiri dari dua arah. Umpan ke depan menghitung output jaringan untuk suatu set bobot koneksi dan data input. Umpan balik menghitung error dari jaringan yang sesuai dengan target keluaran dan error ini menjadi umpan balik untuk jaringan dan digunakan untuk memodifikasi bobot koneksi. Pada umumnya kriteria error dalam jaringan output ditentukan bersamaan dengan maksimum jumlah siklus untuk memberikan kondisi diselesaikan atau terus berlanjutnya proses simulasi. Kinerja suatu JST dapat dimonitor dari konvergensi errornya sepanjang jumlah siklus yang terjadi, simulasi dengan JST idealnya akan menghasilkan nilai error yang semakin mendekati nilai minimumnya. Setelah melalui fase training maka JST dapat diuji dengan menggunakan

Commented [MOU1]: Akan lebih bagus kalau disebut dengan berikutnya. (Unit pemrosesan berikutnya)

Commented [MOU2]: Dibandingkan dengan apa ?

input data lain dengan menggunakan nilai bobot terakhir hasil dari proses pembelajarannya tersebut, pada fase ini tidak ada modifikasi bobot, semua nilai diambil dari siklus terakhir proses pembelajaran.

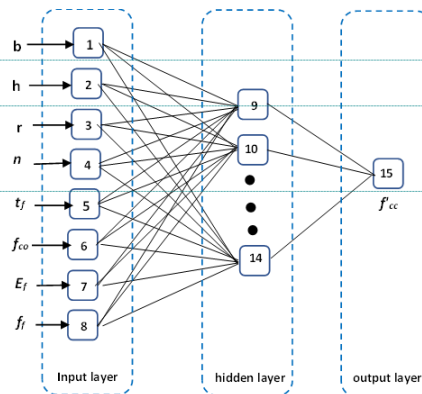
Hasil dari JST yang merupakan pola pembelajaran harus divalidasi secara empiris. Evaluasi dan validasi dari suatu prediksi model JST dapat dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata kesalahan mutlak (Mean Absolute Error, MAE) atau akar rata-rata kuadrat nilai kesalahannya (Root Mean Squared Error, RMSE). Definisi dari MAE dan RMSE diberikan dalam persamaan (1)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |o_{ij} - y_{ij}|}{n.m} \quad (1)$$

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan JST dengan menggunakan MATLAB untuk memprediksi kekuatan tekan (f'_{cc}) spesimen beton persegi yang diberi perkuatan FRP. Data base yang digunakan diambil dari beberapa penelitian yaitu : Rochette and Labossiere (2000), Ilki and Kumbasar (2003), Lam and Teng (2003b), Masia et al. (2004), Harajili et al. (2006), Rousakis et al. (2007), Al-Salloum (2007), Tao et al. (2008), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012), Li et al. (2019). Data dengan kurva tegangan regangan yang menurun tidak digunakan, juga data yang kurang lengkap. Total jumlah data yang digunakan adalah 113 spesimen kolom persegi yang diberi kekangan FRP. Seluruh data penelitian yang dipilih merupakan hasil eksperimen benda uji yang memiliki kesamaan skema pengujian, tipikal grafik hubungan tegangan dan regangan yang mirip serta bentuk kegagalan yang sama yaitu putusnya FRP sebagai pengekang. Parameter input yang diambil berdasarkan variabel yang menentukan kuat tekan beton dengan FRP dari data eksperimen adalah : dimensi penampang (b dan h), radius kelengkungan sudut (r), jumlah lapisan FRP (n), tebal FRP (t_f), mutu beton tidak terkekang (f'_{co}), Modulus Elastisitas FRP (E_f), kapasitas tarik FRP (f_f). Jumlah hidden layer yang dilakukan dalam studi ini mulai dari 1 hingga 5 hidden layer. Jumlah neuron pada input layer 8, jumlah neuron dalam hidden layer adalah 6, output layer digunakan 1 neuron. Fungsi training yang digunakan dalam metoda back propagasi adalah Levenberg-Marquardt, fungsi pelatihan menggunakan Trainlm, fungsi pembelajaran menggunakan Learngdm, fungsi kinerja menggunakan MSE, fungsi transfer baik pada hidden layer maupun output layer menggunakan Tansig. Arsitektur Jaringan dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari 113 data hasil eksperimen dibagi menjadi 79 data untuk training, 34 data untuk uji dan validasi. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan dengan 5 jenis arsitektur JST untuk mendapatkan arsitektur JST yang

paling optimum. JST dengan 1 sampai dengan 5 hidden layer yaitu J8-1-1, J8-2-1, J8-3-1, J8-4-1, J8-5-1, dimana angka 8 adalah jumlah input, sementara angka 1 hingga 4 adalah jumlah hidden layer, sementara angka 1 paling belakang menunjukkan jumlah output.



Gambar 2. Arsitektur jaringan yang digunakan

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis dari ke-5 arsitektur JST diperlihatkan pada Tabel 1. Berdasarkan nilai MSE pada Tabel 1, arsitektur jaringan J8-4-1 (4 hidden layer) memberikan tingkat kinerja yang paling optimum, hal ini terlihat dari nilai mse yang paling kecil. Grafik kinerja pada setiap iterasi (epoch) untuk J8-4-1 dapat dilihat pada Gambar 3. Kinerja terbaik didapat pada iterasi ke-53 dengan nilai mse sebesar 0.00131. Pada gambar ini juga memperlihatkan kinerja training yang lebih baik daripada kinerja test dan validasi. Kinerja test dan validasi dalam tren yang berdekatan memperlihatkan kinerja yang konstan sepanjang iterasi yang dilakukan.

Tabel 1. Kinerja berdasarkan MSE untuk setiap arsitektur JST

Arsitektur JST	Mean Square Error (MSE)
J8-1-1	0.00726
J8-2-1	0.00278
J8-3-1	0.00207
J8-4-1	0.00131
J8-5-1	0.00149

Korelasi antara target (hasil eksperimen) dengan output yang merupakan hasil prediksi JST dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai korelasi R baik pada fase training

Commented [MOU3]: Yang digunakan MSE / MAE/ RMSE ?

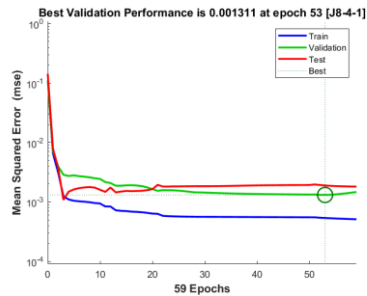
Commented [MOU4]: Persamaan untuk menghitung RMSE ?

Commented [MOU5]: Perlu disampaikan o_{ij} dan y_{ij} itu merepresentasikan apa ?
i dan j merepresentasikan apa ? apakah data dua dimensi ?

Commented [MOU7]: Ini kinerja pada data training ?
Sebaiknya dilengkapi dengan kinerja pada data validasi dan data uji.

Commented [MOU6]: Data berjumlah 113 dibagi menjadi data training (79) dan validasi (34). Data uji yang digunakan berjumlah berapa diambil darimana ?

(Gambar 4(a)), fase validasi (Gambar 4(b)) maupun fase uji (Gambar 4(c)) memperlihatkan nilai korelasi R berturut-turut adalah 0.992, 0.982 dan 0.983. Sementara Gambar 4(d) memberikan korelasi nilai R untuk semua data.



Gambar 3. Kinerja validasi pada arsitektur jaringan J8-4-1

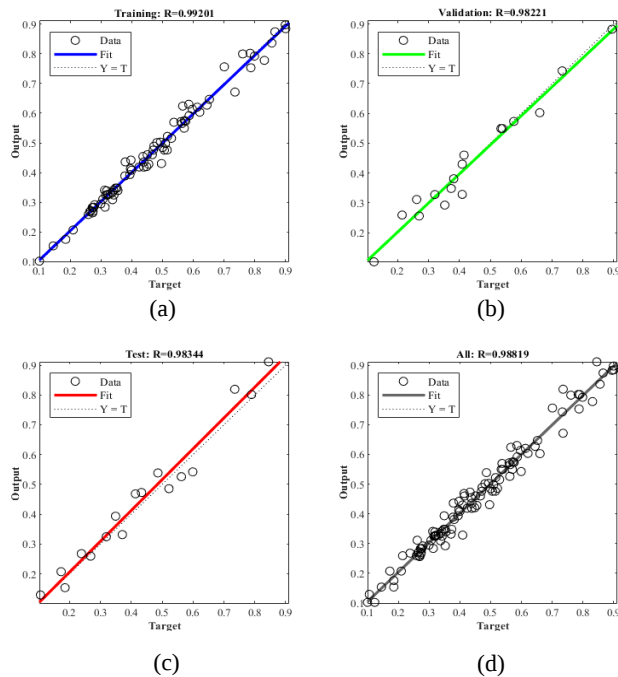
Tingkat korelasi yang tinggi memberikan dasar penggunaan JST sebagai alternatif analisis untuk mempelajari perilaku tegangan terkekang beton persegi (f'_{cc}) yang diperkuat dengan FRP.

Pham dan Hadi (2014) menggunakan pendekatan analitis membran hipotesis dalam penelitiannya untuk menganalisis perilaku lembaran FRP pada daerah sudut kolom persegi memberikan usulan persamaan untuk menganalisis besarnya tegangan terkekang yang terjadi pada kolom persegi dengan memperhitungkan kelengkungan sudutnya sesuai persamaan (2).

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 0.68 + 3.91 \frac{f_{Le}}{f'_{co}} \quad (2)$$

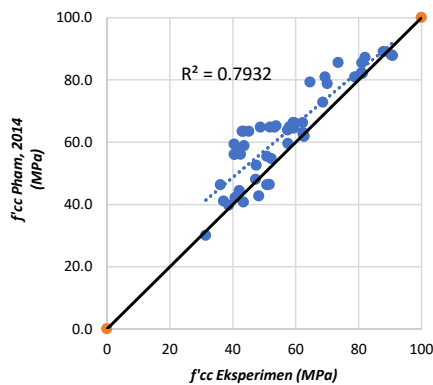
Untuk membuktikan sejauh mana keberhasilan pendekatan tersebut dilakukan korelasi antara tegangan terkekang hasil eksperimen beberapa penelitian terkait.

Commented [MOU8]: Bisa ditambahi penjelasan apakah ada kemungkinan model jst anda telah mengalami overfitting!



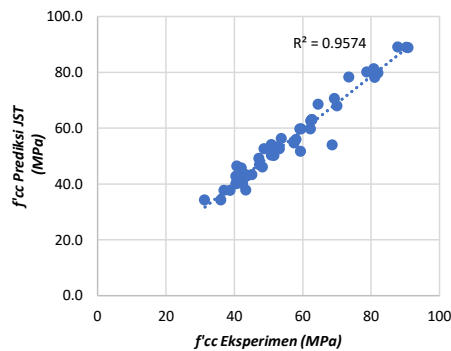
Gambar 4. Korelasi target dan prediksi JST J8-4-1

Hasil studi eksperimental dari Rochette and Labossière(2000), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012) dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan persamaan (2) diperlihatkan pada Gambar 5.



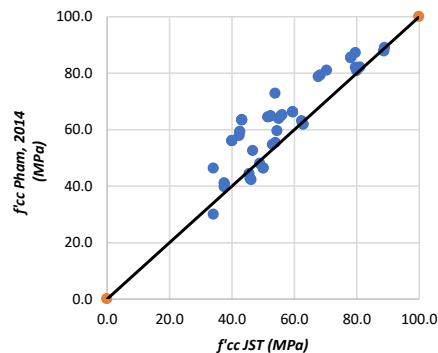
Gambar 5. Korelasi antara model prediksi (Pham, 2014) dengan hasil eksperimen

Korelasi antara persamaan yang diusulkan Pham (2014) dengan hasil eksperimen cukup dekat dengan nilai $R^2 = 0.79$. Pada Gambar 6 diperlihatkan hasil prediksi dengan menggunakan JST dibandingkan dengan eksperimen yang dilakukan oleh Rochette and Labossière(2000), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012).



Gambar 6. Korelasi antara hasil eksperimen dengan prediksi JST

Berdasarkan korelasi yang diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6 terlihat model analitis yang diusulkan oleh Pham memiliki nilai R^2 yang lebih rendah daripada hasil prediksi dengan JST yang memiliki nilai $R^2 = 0.95$. Kondisi ini memberikan gambaran keakuratan JST dalam menganalisis tegangan pengekanan yang terjadi. Pham dan Hadi (2014) memberikan hasil yang cenderung lebih tinggi dari hasil eksperimen hal ini akan memberikan nilai keamanan yang kurang bagi kebutuhan desain, sementara prediksi dengan JST memberikan keunggulan pada hasil prediksinya yang lebih akurat sehingga dapat memberikan kepastian hasil peningkatan tegangan aksial kolom yang diperoleh bila diperkuat dengan FRP. Gambar 7 memperlihatkan korelasi antara usulan Pham (2014) dengan hasil analisis menggunakan JST. Sebaran hasil analisis pada Gambar 7 memperlihatkan dimana tegangan terkekang menggunakan usulan Pham dan Hadi (2014) cenderung lebih besar daripada prediksi JST.

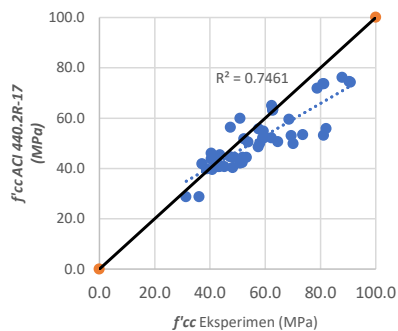


Gambar 7. Korelasi antara model analitis (Pham, 2014) dengan prediksi JST

Usulan Pham (2014) diturunkan dari model *thin shells* (cangkang tipis) dimana ketika beban aksial diberikan pada kolom dengan perkuatan FRP tegangan pengekanan yang terjadi diasumsikan hanya terkonsentrasi pada daerah sudut. Selain itu model ini memberikan rekomendasi perbandingan antara radius kelengkungan dan tebal FRP (r/t) harus lebih besar dari 20. Asumsi pemodelan ini memberikan keterbatasan dalam memprediksi besaran tegangan yang terjadi secara khusus pada beberapa eksperimen atau benda uji yang tidak memenuhi asumsi yang diberikan.

Untuk memberikan gambaran bagaimana perbandingan hasil eksperimen yang diprediksi dengan akurat oleh JST dengan standar desain yang diberikan

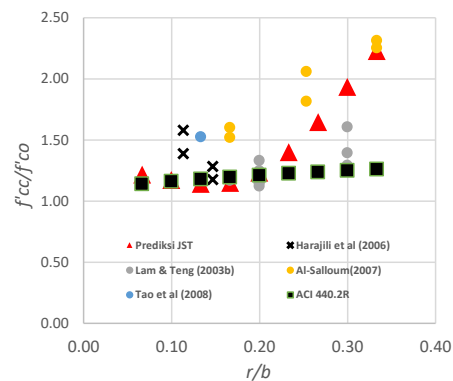
dalam ACI 440.2R-17 dilakukan korelasi antara target desain dan hasil eksperimen. Hasil eksperimen Rochette and Labossière(2000), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012) dibandingkan dengan tegangan standar desain diperlihatkan pada Gambar 8. Pada Gambar 8 terlihat bahwa hasil perhitungan untuk kebutuhan desain secara umum memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan hasil eksperimen. Kondisi ini memperlihatkan bahwa target desain tegangan pengekangan memberikan nilai yang konservatif daripada hasil eksperimen. Hal ini bisa dijelaskan karena untuk keperluan desain, ACI 440.2R-17 memberikan faktor reduksi seperti C_E (reduksi faktor lingkungan), ψ_f (reduksi kapasitas aksial) dan κ_e (reduksi regangan efektif).



Gambar 8. Korelasi antara perhitungan sesuai standar ACI 440.2R-17 dengan hasil eksperimen

Terkait pengaruh radius kelengkungan (r) terhadap peningkatan kapasitas aksial kolom dengan perkuatan FRP, Pham dan Hadi (2014) memberikan informasi bahwa faktor efisiensi regangan yang dihitung sebagai rasio antara tegangan ultimate FRP pada kolom dengan tegangan FRP pada kondisi uji tarik murninya adalah merupakan fungsi dari r/b dan rasio kekakuan pengekangan. Untuk melihat pengaruh radius kelengkungan yang diberikan pada kolom persegi dengan menggunakan hasil analisis JST maka pada penelitian ini dibuat suatu studi sederhana berupa analisis besarnya tegangan pengekang (f'_{cc}) pada kolom persegi yang diberikan radius kelengkungan pada sudutnya sebesar : 10 mm hingga 50mm. Data kolom yang digunakan adalah sebagai berikut : $b=150\text{mm}$, $h=150\text{mm}$, $f_{co} = 25\text{ MPa}$, tebal FRP $t=0.13\text{mm}$, jumlah lapisan $n=1$, kuat tarik FRP = 3500 MPa dan $E_F=230000\text{Mpa}$. Korelasi antara r/b dan peningkatan kekuatan tegangan terkekang yang terjadi (f'_{cc}/f_{co}) dengan prediksi JST dapat dilihat grafik pada Gambar 9 dengan tanda segitiga. Untuk

memberikan perbandingan dengan hasil eksperimen dan standar desain maka pada grafik di Gambar 9 juga disajikan juga hasil eksperimen beberapa penelitian yang menggunakan benda uji kolom persegi dengan radius kelengkungan pada sudut kolomnya dan menggunakan 1 lembar lapisan FRP.



Gambar 9. Korelasi antara r/b dengan peningkatan kekuatan

Hasil prediksi JST memperlihatkan kecenderungan meningkatnya tegangan terkekang seiring dengan bertambah besarnya radius kelengkungan sudut yang diberikan. Hasil eksperimen dari beberapa penelitian juga menunjukkan kecenderungan yang mirip. Hal ini mengkonfirmasi pengertian bahwa peningkatan besarnya radius kelengkungan akan mengakibatkan dimensi kolom semakin mendekati bentuk penampang lingkaran, kondisi ini membuat tegangan lateral yang bekerja pada FRP di sisi-sisi kolom menjadi lebih seragam. Kondisi tegangan lateral yang lebih seragam mengakibatkan kemampuan FRP untuk memberikan kekangan menjadi lebih baik dibandingkan dengan adanya konsentrasi tegangan yang bisa terjadi pada sudut kolom akibat radius kelengkungan yang kecil. ACI 440.2R memberikan batasan minimum radius kelengkungan yang harus diberikan pada sudut kolom persegi sebesar 15 mm. Data eksperimen yang digunakan dalam training JST tidak ada yang memiliki radius kelengkungan sudut dibawah 15mm, sehingga dalam kasus ini analisis JST tidak akurat apabila diberikan r yang kurang dari 15mm ($r/b < 0.1$).

Pada prinsipnya standar ACI 440.2R juga memperhatikan pengaruh radius kelengkungan terhadap peningkatan tegangan yang terjadi, namun dari hasil analisis pada Gambar 9 terlihat bagaimana peningkatan yang terjadi tidak begitu signifikan bila dibandingkan

analisis dari prediksi JST dan hasil eksperimen. Grafik ini juga mengkonfirmasi bahwa sebagai suatu standar desain, ACI 440.2R memberikan kapasitas desain yang relatif aman dan hasil penelitian dapat dijadikan usulan untuk perbaikan agar memberikan target desain yang lebih akurat.

4. Kesimpulan

Penggunaan JST untuk menganalisis kuat tekan beton persegi yang diberikan perkuatan FRP pada penelitian ini memberikan hasil yang akurat dengan menggunakan 4 hidden layer (J8-4-1), nilai mse yang didapat paling optimum sebesar 0.00131 dengan nilai korelasi R baik pada fase training, fase validasi maupun fase uji berturut-turut adalah 0.99, 0.98 dan 0.98 untuk 113 benda uji. JST dalam penelitian ini memberikan hasil prediksi kuat tekan dengan tingkat korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan metoda analisis dengan teori *thin layer* yang dilakukan Pham dan Hadi (2014). Penggunaan JST dapat memberikan gambaran korelasi antara kenaikan radius kelengkungan sudut dengan tegangan terkekang mendekati hasil eksperimen sehingga dapat menjadi usulan untuk standar perkuatan FRP pada ACI 440.2R.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Kristen Maranatha yang telah mendanai penelitian ini pada tahun anggaran 2022

Daftar Pustaka

- ACI (American Concrete Institute). 2017. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. ACI Committee 440 Rep., Technical Committee Document 440.2R. Farmington Hills, MI: ACI.
- Al-Salloum, Y. A. (2007). Influence of edge sharpness on the strength of square concrete columns confined with FRP composite laminates. *J.Compos. Part B: Eng.* 38 (5–6): 640–650.
- Campione, G., N. Miraglia, and M. Papia. (2004). Strength and strain enhancements of concrete columns confined with FRP sheets. *Struct. Eng. Mech.* 18 (6): 769–790.
- Eid, R., and P. Paultre. (2017). Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns. *Eng. Struct.* 132 (Feb): 518–530.
- Giovanni Minafò, Ph.D.1; Mohsen Rezaee-Hajidehi, Ph.D.2; and Giuseppe Giambanco3. (2019). A Mechanical Approach for Evaluating the Distribution of Confinement Pressure in FRP-Wrapped Rectangular Columns. *Journal of Engineering Mechanics* 145(12).
- Jalal, M., and Ramezani-pour, A. A. (2012). Strength enhancement modeling of concrete cylinders confined with CFRP composites using artificial neural networks. *Compos. Part B Eng.*, 43(8), 2990–3000
- Karam, G., and M. Tabbara. (2005). Confinement effectiveness in rectangular concrete columns with fiber reinforced polymer wraps. *J. Compos. Constr.* 9 (5): 388–396.
- Lam, L., and Teng, J. G. (2003b). Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns. *J. Reinf. Plast. Compos.*, 22(13), 1149–1186.
- Li Pengda, A.M. et al (2019). Stress–Strain Relation of FRP-Confined Predamaged Concrete Prisms with Square Sections of Different Corner Radii Subjected to Monotonic Axial Compression. *J. Compos. Constr.*, 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000921, 1-15
- Masia, M. J., Gale, T. N., and Shrive, N. G. (2004). Size effects in axially loaded square-section concrete prisms strengthened using carbon fibre reinforced polymer wrapping. *Can. J. Civ. Eng.*, 31(1), 1–13
- Naderpour, H., Kheyroddin, A., and Amiri, G. G. (2010). Prediction of FRP-confined compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Compos. Struct.*, 92(12), 2817–2829
- Oreta, A. W. C., & Kawashima, K. (2003). Neural Network Modeling of Confined Compressive Strength and Strain of Circular Concrete Columns. *Journal of Structural Engineering*, 129(April), 554–561.
- Ozbakkaloglu, T., J. C. Lim, and T. Vincent. (2013). FRP-confined concrete in circular sections: Review and assessment of stress-strain models. *Eng. Struct.* 49(Apr):1068–1088.
- Pham, T. M., and M. N. S. Hadi. (2014). Stress prediction model for FRP confined rectangular concrete columns with rounded corners. *J. Compos. Constr.* 18 (1): 04013019.
- Richart, F. E., A. Brandtzaeg, and R. L. Brown. (1928). A study of the failure of concrete under combined compressive stresses: University of Illinois Bulletin; v. 26, no. 12. Urbana, IL: Univ. of Illinois.
- Rochette, P., and Labossière, P. (2000). Axial testing of rectangular column models confined with composites. *J.Compos.Constr.*,10.1061/(ASCE)1090-0268(2000)4:3(129), 129–136.
- Rousakis, T. C., Karabinis, A. I., and Kiouisis, P. D. (2007). FRP-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modelling. *Eng. Struct.*, 29(7), 1343–1353

Commented [MOU9]: Ini mse untuk data training. Sebaiknya kesimpulan ditarik berdasarkan kinerja MSE di data uji (data yang tidak pernah dilibatkan dalam pelatihan baik sebagai data training maupun data validasi – unseen data). Jika dari data training perlu juga disebutkan supaya tidak misleading.

TEKNIK, 39 (1), 2018, 9

- Tao, Z., Yu, Q., and Zhong, Y. Z. (2008). Compressive behaviour of CFRP-confined rectangular concrete columns. *Mag. Concrete Res.*, 60(10), 735–745.
- Sharma, S. S., U. V. Dave, and H. Solanki. (2013). FRP wrapping for RC columns with varying corner radii. *Procedia Eng.* 51: 220–229
- Wang, L. M., and Y. F. Wu. (2008). Effect of corner radius on the performance of CFRP-confined square concrete columns: Test. *Eng. Struct.* 30 (2): 493–505.
- Wang, Z. Y., Wang, D. Y., Smith, S. T., and Lu, D. G. (2012). CFRPconfined square RC columns. I: Experimental investigation. *J. Compos. Constr.*, 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000245, 150–160
- Zeng, J. J., Y. C. Guo, W. Y. Gao, J. Z. Li, and J. H. Xie. (2017). Behavior of partially and fully FRP-confined circularized square columns under axial compression. *Constr. Build. Mater.* 152 (Oct): 319–332.

Analisis Tegangan Terkekang Beton Persegi dengan Perkuatan FRP (Fiber Reinforced Polymer) menggunakan Jaringan Saraf Tiruan

...

1 ...
2 ...
...

Abstrak

Penggunaan FRP untuk meningkatkan kapasitas kekuatan elemen struktur telah banyak diaplikasikan pada bangunan, baik dalam rangka perkuatan untuk mencapai kapasitas yang diperlukan dalam desain sebagai akibat perubahan fungsi bangunan atau untuk memenuhi persyaratan terhadap beban desain gempa yang saat ini diperbaharui. Perkuatan kolom beton persegi dengan FRP memerlukan penelitian lebih lanjut terkait dengan sudut pada penampang persegi yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Pada penelitian ini digunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memprediksi tegangan terkekang (f'_{cc}) kolom beton persegi yang diberikan perkuatan FRP. Penggunaan JST dengan 4 hidden layer (J8-4-1) dalam memprediksi 113 benda uji hasil eksperimen memberikan hasil akurat dengan nilai mse yang optimum yaitu sebesar 0.00131 dengan nilai korelasi R baik pada fase training, fase validasi maupun fase uji berturut-turut adalah sebesar 0.99, 0.98 dan 0.98. Analisis dengan JST J8-4-1 untuk memprediksi besarnya tegangan pengekan memberikan hasil prediksi dengan korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan metoda analisis yang telah banyak dilakukan selama ini pada beberapa penelitian perkuatan kolom persegi dengan FRP. Analisis dengan JST juga memberikan gambaran yang akurat mengenai korelasi kenaikan radius kelengkungan sudut kolom persegi terhadap peningkatan tegangan terkekangnya, hal ini konsisten dengan beberapa hasil studi eksperimental yang telah dilakukan dan juga dengan standar ACI 440.2R-17.

Kata kunci: Jaringan Saraf Tiruan, kolom, tegangan terkekang, FRP

Abstract

[Title: Confined Stress of Square Concrete Analysis with FRP (Fiber Reinforced Polymer) Reinforcement using Artificial Neural Networks] The use of FRP to increase the strength capacity of structural elements has been widely applied to buildings, either in the context of reinforcement to achieve the capacity required in the design due to changes in the function of the building or to comply with the currently updated earthquake design loads. Reinforcement of square concrete columns with FRP requires further research related to the corner radius in the square cross-section that causes stress concentration. This study used an Artificial Neural Network (ANN) to predict the confined stress (f'_{cc}) of square concrete columns reinforced with FRP. The use of ANN with 4 hidden layers (J8-4-1) in predicting 113 experimental specimens gave accurate results with an optimum mse value of 0.00131 with a correlation value R both in the training phase, validation phase, and test phase of 0.99, 0.98, and 0.98, respectively. Analysis with ANN (J8-4-1) gives better prediction results to predict the confined concrete stress than the analytical method that has been widely used in several studies of reinforcing square columns with FRP reinforcement. The ANN analysis also accurately describes the correlation between the increase in the radius of curvature of the square column corners and the increase in confined concrete stress, which is consistent with the results of several experimental studies conducted and the standard ACI 440.2R-17

Keywords: Artificial Neural Network, column, confined stress, FRP

Commented [A1]: hapus

Commented [A2]: jelaskan dahulu kepanjangan FRP

Commented [A3]: Susunan kalimatnya dibuat SPOK

Commented [A4]: menggunakan

Commented [A5]: kapital

Commented [A6]: training

Commented [A7]: 0.992, 0.982 dan 0.983

Commented [A8]: metode

Commented [A9]: eksperimental

Commented [A10]: hapus

1. Pendahuluan

Peraturan terbaru pemerintah terkait desain struktur terhadap beban gempa (SNI 1726-2019) mengalami perubahan khususnya pada besarnya beban gempa yang terjadi pada beberapa daerah rawan gempa dan juga perubahan terkait persyaratan detailing tulangan pengekang pada kolom persegi. Kondisi ini mengakibatkan bangunan-bangunan gedung pada beberapa daerah rawan gempa harus diperkuat elemen strukturnya secara khusus kolom karena tidak lagi memenuhi persyaratan kekuatan. Salah satu perkuatan elemen struktur kolom yang saat ini banyak digunakan adalah menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). Penggunaan FRP saat ini sudah banyak diaplikasikan untuk meningkatkan kapasitas kekuatan elemen struktur bangunan, baik dalam rangka perkuatan agar sesuai dengan kapasitas yang didesain ataupun kebutuhan akan perkuatan terkait perubahan fungsi bangunan dan persyaratan terhadap beban desain gempa yang diperbaharui. Material yang ringan, relatif mudah dan cepat dipasang sekaligus memiliki kapasitas tarik yang besar merupakan salah satu kelebihan FRP yang banyak diaplikasikan pada elemen struktur bangunan secara khusus elemen kolom. Penggunaan lembaran FRP pada kolom eksisting memberikan kemampuan kekangan pasif yang dapat meningkatkan kapasitas aksialnya.

Studi terkait peningkatan kapasitas aksial pada kolom didasarkan pada penelitian Richart et al (1928) dengan mengasumsikan suatu penampang lingkaran dengan distribusi tegangan pengekang yang seragam. Kondisi ini memungkinkan perhitungan tegangan pengekangan secara langsung sebagai fungsi dari ketebalan lembaran FRP, sifat mekanis nya dan diameter penampang. Studi literatur yang komprehensif dapat dilihat pada penelitian Ozbakkaloglu et al (2013) yang menganalisis berbagai model untuk memprediksi perilaku tegangan dan regangan pengekangan kolom lingkaran yang diberi perkuatan FRP.

Perkuatan FRP pada kolom persegi yang memiliki sudut tajam di bagian sudut dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan sebagai akibat tidak terpenuhinya kekakuan lentur dari FRP yang membungkusnya (Campione et al.2004). Pada prakteknya kondisi ini mengharuskan penghalusan sudut kolom persegi dalam bentuk melengkung dengan jari-jari tertentu, pembuatan sudut melengkung ini akan mereduksi konsentrasi tegangan dan menghindari terjadinya kegagalan prematur pada FRP. Berbagai penelitian yang berfokus pada parameter jari-jari kelengkungan yang digunakan pada kolom yang dibungkus FRP telah dilakukan. Wang and Wu, (2008) dalam penelitiannya memberikan konfirmasi pengaruh r/b (rasio jari-jari kelengkungan sudut dan lebar kolom) serta mutu beton dalam meningkatkan kapasitas aksial kolom persegi yang diberi perkuatan FRP, hasil

penelitian ini dikonfirmasi secara ekperimental juga oleh peneliti lainnya (Al-Salloum 2007; Sharma et al. 2013).

Meskipun beberapa penelitian secara eksperimental telah dilakukan untuk memperlihatkan efek radius kelengkungan sudut pada peningkatan tegangan pengekangan namun membuat pemodelannya merupakan tugas yang tidak mudah karena banyaknya fenomena fisik yang harus diperhitungkan (Giovanni M et al. 2019). Hal inilah yang membuat sedikit model tersedia untuk penampang persegi, sebagian besar dari pemodelan yang digunakan adalah berdasarkan asumsi distribusi tegangan yang seragam. Penampang persegi di idealisasikan sebagai penampang lingkaran dengan ekuivalensi diameternya dan diberikan faktor bentuk atau faktor efisiensi untuk memperhitungkan perbedaan distribusi tegangan yang terjadi (Zeng et al. 2017; Eid and Paultre 2017). Pendekatan secara praktis ini telah digunakan dalam standar resmi ACI 440.2R (ACI 2008), meskipun demikian pendekatan ini belum memperhitungkan regangan efektif yang terjadi pada lembaran FRP pada saat mengalami keruntuhan.

Beberapa pendekatan telah dilakukan untuk memodelkan perilaku kolom dengan perkuatan FRP diantaranya adalah pendekatan secara mekanik dimana lembaran FRP dimodelkan seperti balok yang bertumpu pada tanah elastis, yang mensimulasikan interaksi FRP dengan inti beton yang dikekangnya (Campione et al. 2004). Giovanni et al, 2019 melakukan pendekatan secara mekanik pada kolom persegi dengan sudut melingkar yang diberi perkuatan FRP dengan memodelkan lembaran FRP sebagai elemen balok yang berinteraksi dengan inti beton kolom. Model balok ini terkoneksi melalui spring yang terdistribusi sepanjang arah radial dan circumferential dengan inti beton yang rigid. Pada penelitian ini diusulkan pendekatan secara mekanik dengan menggunakan persamaan konstitutif yang merupakan fungsi dari circumferential dan radial springnya.

Pendekatan dengan model elemen hingga (finite element) dengan bantuan software telah dilakukan oleh Karam and Tabbara, 2005, yang menganalisis pengaruh radius kelengkungan sudut terhadap distribusi tegangan yang terjadi. Penelitian ini juga mengkonfirmasi secara numerik bahwa tegangan pengekangan sepanjang bagian tepi yang lurus sangat kecil bila dibandingkan dengan tegangan pada bagian sudut.

Pendekatan secara analitis dilakukan oleh Pham and Hadi (2014), dimana pada penelitian ini tegangan tarik yang terjadi pada lembaran FRP merupakan suatu formula yang diturunkan dari model *thin shells* (cangkang tipis). Penelitian memberikan informasi bahwa faktor efisiensi regangan yang dihitung sebagai rasio antara tegangan ultimate FRP pada kolom dengan tegangan FRP pada kondisi uji tarik murninya adalah merupakan fungsi dari r/b dan rasio kekakuan pengekangan. Pendekatan

Commented [A16]: pakai mendeley/zotero

Commented [A11]: tidak ada di daftar pustaka, sebaiknya Anda pakai mendeley / zotero agar sinkron

Commented [A12]: detail

Commented [A17]: pakai mendeley/zotero

Commented [A13]: mohon didukung citasi yang relevan dan carilah referensi dari jurnal ini

Commented [A14]: pakai mendeley / zotero agar tanda titikkoma sesuai aturan citasi jurnal ini

Commented [A15]: pakai mendeley/zotero

Commented [A18]: konstitutif

Commented [A19]: dan

Commented [A20]: dan

secara regresi logaritma hasil eksperimen dilakukan untuk menghasilkan usulan formula yang memberikan nilai besarnya rasio efisiensi regangan pada lembaran FRP yang digunakan sebagai perkuatan.

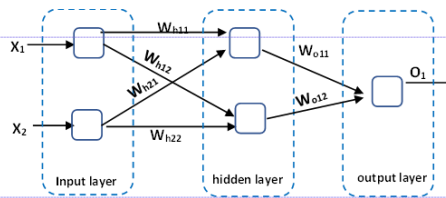
Dengan banyaknya data-data hasil penelitian eksperimental yang telah dilakukan, pendekatan modern mulai digunakan dengan memanfaatkan model Jaringan Saraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) untuk memprediksi besarnya tegangan dan regangan ultimate kolom beton dengan perkuatan FRP. Pendekatan dengan Jaringan Saraf Tiruan tidak membutuhkan asumsi suatu hubungan fungsi diantara berbagai variabel yang menentukan seperti yang dilakukan pada pendekatan secara analitis maupun mekanik. JST (*Jaringan Saraf Tiruan*) secara otomatis mengkonstruksi hubungan dan melakukan adaptasi berdasarkan data-data yang digunakan sebagai apa yang disebut pelatihan. Alasan inilah yang membuat pendekatan JST menjadi menarik sebagai alat untuk memodelkan dan memprediksi perilaku suatu masalah dalam hal ini bidang engineering.

Oreta et al (2003) menggunakan pendekatan Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi besarnya kapasitas tegangan dan regangan pada kolom lingkaran yang diberikan perkuatan FRP. Data yang digunakan berjumlah 38 spesimen dari hasil eksperimental kolom lingkaran yang diberi perkuatan FRP yaitu : Mander et al. 1988b; Sakai et al. 2000 dan Sakai 2001. Arsitektur JST yang digunakan terdiri dari 7 nodal input, hidden layer dengan divariasikan dari 2 hingga 4 nodal, sementara output berjumlah 2 nodal. Pendekatan dengan JST pada penelitian ini memberikan perbedaan nilai prediksi tegangan dan regangan sebesar 1% hingga 3% dari nilai hasil eksperimental. Oreta juga memberikan saran untuk menambah jumlah data eksperimental sebagai bagian dari proses "training" dari JST agar mendapatkan hasil prediksi yang semakin akurat. Penelitian lain untuk kolom lingkaran dilakukan oleh Naderpour et al. 2010, Jalal dan Ramezani-pour, 2012.

Pada penelitian ini akan diberikan penggunaan Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi kuat tekan kolom beton persegi yang diberikan perkuatan FRP. Seperti diketahui bahwa analisis tegangan pengekang kolom persegi hingga saat ini masih menggunakan pendekatan dengan asumsi kolom lingkaran yang diberikan faktor bentuk atau faktor efisiensi. Penelitian ini memberikan alternatif pendekatan lain dari yang selama ini digunakan seperti model analitis, pendekatan mekanik serta metode elemen hingga. Bertambah banyaknya data-data baru hasil eksperimental memberikan nilai tambah bagi pendekatan dengan JST dalam penelitian ini dimana data terakhir yang digunakan adalah penelitian eksperimental pada tahun 2019.

2. Jaringan Saraf Tiruan

Suatu sistem JST adalah sekumpulan dari unit-unit pemrosesan sederhana atau nodal-nodal yang terhubung melalui sambungan-sambungan yang disebut koneksi. Arsitektur dari jaringan saraf dapat digambarkan secara skematik pada gambar 1



Gambar 1. Ilustrasi layer Jaringan Saraf Tiruan

Gambar 1 menggambarkan 3 layer JST, dimana nodal persegi merepresentasikan unit pemrosesan, garis merepresentasi hubungan-hubungan dan kepala panah pada garis menunjukkan arah normal dari aliran sinyal. Unit-unit pemrosesan dapat dikelompokkan sebagai *input layer*, *hidden layer* dan *output layer* unit pemrosesan. Tujuan utama dari unit pemrosesan adalah menerima input dari unit bersebelahan yang menyediakan masukan aktivasi, menghitung keluaran dan mengirim keluaran kepada unit sebelah yang akan menerima outputnya. Kekuatan dari hubungan diantara unit pemrosesan disediakan oleh suatu set pembobotan yang mempengaruhi besarnya input yang akan diterima oleh unit-unit sebelahnya. Output yang dihasilkan dari unit pemrosesan keluaran dibandingkan dengan target data keluaran/output dan bobot dimodifikasi secara tepat atau disesuaikan berdasarkan aturan *training* dan pembelajaran. Pada akhirnya jika masalah dapat dipelajari, suatu kumpulan bobot yang stabil berkembang secara adaptif akan memberikan hasil yang bagus.

Fase training JST dalam penelitian ini menggunakan algoritma pembelajaran dengan algoritma *Back Propagation Network* (BPN). Fase *training* dari algoritma BPN ini terdiri dari dua arah. Umpan ke depan menghitung output jaringan untuk suatu set bobot koneksi dan data input. Umpan balik menghitung error dari jaringan yang sesuai dengan target keluaran dan error ini menjadi umpan balik untuk jaringan dan digunakan untuk memodifikasi bobot koneksi. Pada umumnya kriteria error dalam jaringan output ditentukan bersamaan dengan maksimum jumlah siklus untuk memberikan kondisi diselesaikan atau terus berlanjutnya proses simulasi. Kinerja suatu JST dapat dimonitor dari konvergensi errornya sepanjang jumlah siklus yang terjadi, simulasi dengan JST idealnya akan menghasilkan nilai error yang semakin mendekati nilai minimumnya. Setelah melalui fase *training* maka JST dapat diuji dengan menggunakan

Commented [A21]: efisiensi

Commented [A22]: JTS

Commented [A23]: hapus

Commented [A24]: italic

Commented [A25]: memprediksi

Commented [A29]: italic

Commented [A26]: tidak ada di daftar pustaka. Mohon pakai mendeley/zotero

Commented [A30]: output-nya

Commented [A31]: italic

Commented [A32]: italic

Commented [A33]: hapus

Commented [A27]: menggunakan

Commented [A34]: italic

Commented [A35]: italic

Commented [A36]: italic

Commented [A37]: italic

Commented [A38]:

Commented [A39]: output italic

Commented [A28]: penelitian

Commented [A40]: error-nya

Commented [A41]: italic

Commented [A42]: italic

input data lain dengan menggunakan nilai bobot terakhir hasil dari proses pembelajarannya tersebut, pada fase ini tidak ada modifikasi bobot, semua nilai diambil dari siklus terakhir proses pembelajaran.

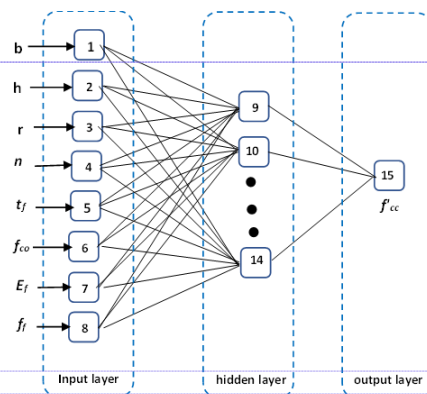
Hasil dari JST yang merupakan pola pembelajaran harus divalidasi secara empiris. Evaluasi dan validasi dari suatu prediksi model JST dapat dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata kesalahan mutlak (Mean Absolute Error, MAE) atau akar rata-rata kuadrat nilai kesalahannya (Root Mean Squared Error, RMSE). Definisi dari MAE dan RMSE diberikan dalam persamaan (1)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |o_{ij} - y_{ij}|}{n.m} \quad (1)$$

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan JST dengan menggunakan MATLAB untuk memprediksi kekuatan tekan (f'_{cc}) spesimen beton persegi yang diberi perkuatan FRP. Data base yang digunakan diambil dari beberapa penelitian yaitu : Rochette and Labossiere (2000), Ilki and Kumbasar (2003), Lam and Teng (2003b), Masia et al. (2004), Harajili et al. (2006), Rousakis et al. (2007), Al-Salloum (2007), Tao et al. (2008), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012), Li et al. (2019). Data dengan kurva tegangan regangan yang menurun tidak digunakan, juga data yang kurang lengkap. Total jumlah data yang digunakan adalah 113 spesimen kolom persegi yang diberi kekangan FRP. Seluruh data penelitian yang dipilih merupakan hasil eksperimen benda uji yang memiliki kesamaan skema pengujian, tipikal grafik hubungan tegangan dan regangan yang mirip serta bentuk kegagalan yang sama yaitu putusnya FRP sebagai pengekang. Parameter input yang diambil berdasarkan variabel yang menentukan kuat tekan beton dengan FRP dari data eksperimen adalah : dimensi penampang (b dan h), radius kelengkungan sudut (r), jumlah lapisan FRP (n), tebal FRP (t_f), mutu beton tidak terkekang (f'_{co}), Modulus Elastisitas FRP (E_f), kapasitas tarik FRP (f_t). Jumlah hidden layer yang dilakukan dalam studi ini mulai dari 1 hingga 5 hidden layer. Jumlah neuron pada input layer 8, jumlah neuron dalam hidden layer adalah 6, output layer digunakan 1 neuron. Fungsi training yang digunakan dalam metoda back propagasi adalah Levenberg-Marquardt, fungsi pelatihan menggunakan Trainlm, fungsi pembelajaran menggunakan Learngdm, fungsi kinerja menggunakan MSE, fungsi transfer baik pada hidden layer maupun output layer menggunakan Tansig. Arsitektur Jaringan dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari 113 data hasil eksperimen dibagi menjadi 79 data untuk training, 34 data untuk uji dan validasi. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan dengan 5 jenis arsitektur JST untuk mendapatkan arsitektur JST yang

paling optimum. JST dengan 1 sampai dengan 5 hidden layer yaitu J8-1-1, J8-2-1, J8-3-1, J8-4-1, J8-5-1, dimana angka 8 adalah jumlah input, sementara angka 1 hingga 4 adalah jumlah hidden layer, sementara angka 1 paling belakang menunjukkan jumlah output.



Gambar 2. Arsitektur jaringan yang digunakan

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis dari ke-5 arsitektur JST diperlihatkan pada Tabel 1. Berdasarkan nilai MSE pada Tabel 1, arsitektur jaringan J8-4-1 (4 hidden layer) memberikan tingkat kinerja yang paling optimum, hal ini terlihat dari nilai mse yang paling kecil. Grafik kinerja pada setiap iterasi (epoch) untuk J8-4-1 dapat dilihat pada Gambar 3. Kinerja terbaik didapat pada iterasi ke-53 dengan nilai mse sebesar 0.00131. Pada gambar ini juga memperlihatkan kinerja training yang lebih baik daripada kinerja test dan validasi. Kinerja test dan validasi dalam tren yang berdekatan memperlihatkan kinerja yang konstan sepanjang iterasi yang dilakukan.

Tabel 1. Kinerja berdasarkan MSE untuk setiap arsitektur JST

Arsitektur JST	Mean Square Error (MSE)
J8-1-1	0.00726
J8-2-1	0.00278
J8-3-1	0.00207
J8-4-1	0.00131
J8-5-1	0.00149

Korelasi antara target (hasil eksperimen) dengan output yang merupakan hasil prediksi JST dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai korelasi R baik pada fase training

Commented [A43]: tersebut

Commented [A44]: italic

Commented [A45]: hapus

Commented [A46]: tidak ada di daftar pustaka

Commented [A47]: tidak ada di daftar pustaka

Commented [A48]: pakai mendeley/zotero

Commented [A58]: kapital

Commented [A59]: italic

Commented [A60]: kapital

Commented [A49]: neuron

Commented [A50]: italic

Commented [A51]: italic

Commented [A52]: italic

Commented [A53]: metode

Commented [A54]: italic

Commented [A55]: cek....????

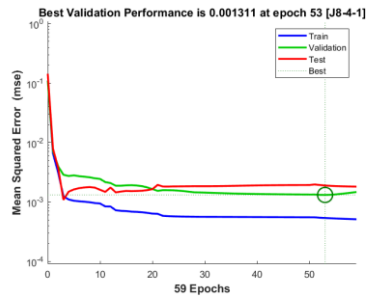
Commented [A56]: cekkk....???

Commented [A57]: italic

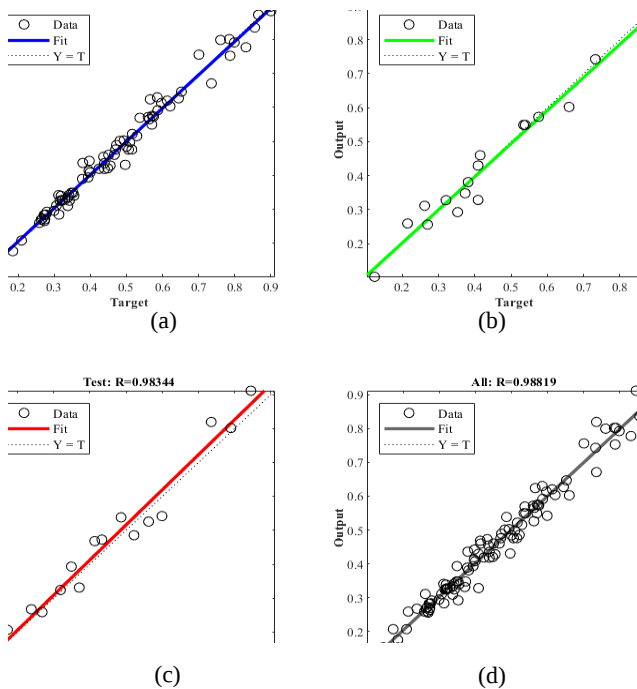
Commented [A61]: italic

Commented [A62]: italic

(Gambar 4(a)), fase validasi (Gambar 4(b)) maupun fase uji (Gambar 4(c)) memperlihatkan nilai korelasi R berturut-turut adalah 0.992, 0.982 dan 0.983. Sementara Gambar 4(d) memberikan korelasi nilai R untuk semua data.



Gambar 3. Kinerja validasi pada arsitektur jaringan J8-4-1



Gambar 4. Korelasi target dan prediksi JST J8-4-1

Tingkat korelasi yang tinggi memberikan dasar penggunaan JST sebagai alternatif analisis untuk mempelajari perilaku tegangan terkekang beton persegi (f'_{cc}) yang diperkuat dengan FRP.

Pham dan Hadi (2014) menggunakan pendekatan analitis membran hipotesis dalam penelitiannya untuk menganalisis perilaku lembaran FRP pada daerah sudut kolom persegi memberikan usulan persamaan untuk menganalisis besarnya tegangan terkekang yang terjadi pada kolom persegi dengan memperhitungkan kelengkungan sudutnya sesuai persamaan (2).

$$\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} = 0.68 + 3.91 \frac{f_{le}}{f'_{co}} \quad (2)$$

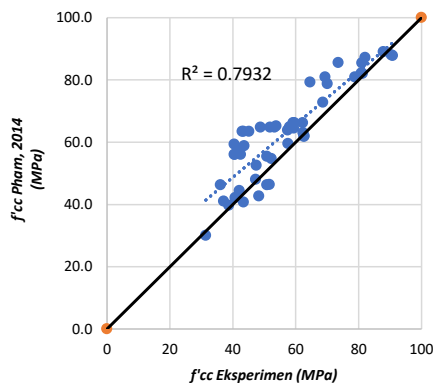
Untuk membuktikan sejauh mana keberhasilan pendekatan tersebut dilakukan korelasi antara tegangan terkekang hasil eksperimen beberapa penelitian terkait.

Commented [A63]: tulisan dan angka tidak jelas.....dibesarkan!!

Commented [A64]: mohon djelaskan perbedaannya dan signifikansinya apa dari ketiga performance tersebut. Mengapa yang garis hijau dilingkari ada maksud apa? Mohon dijelaskan

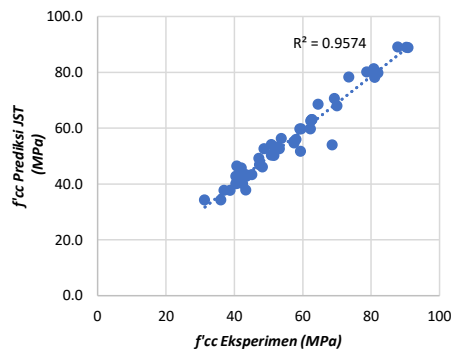
Commented [A65]: tulisan dan angka tidak jelas.....dibesarkan!!

Hasil studi eksperimental dari Rochette and Labossière(2000), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012) dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan persamaan (2) diperlihatkan pada Gambar 5.



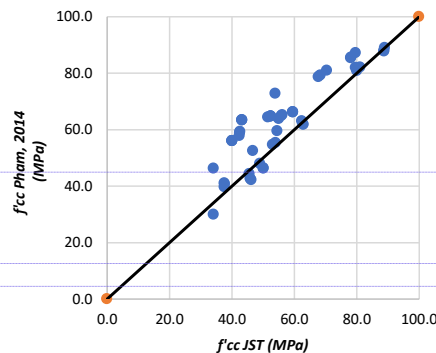
Gambar 5. Korelasi antara model prediksi (Pham, 2014) dengan hasil eksperimen

Korelasi antara persamaan yang diusulkan Pham (2014) dengan hasil eksperimen cukup dekat dengan nilai $R^2 = 0.79$. Pada Gambar 6 diperlihatkan hasil prediksi dengan menggunakan JST dibandingkan dengan eksperimen yang dilakukan oleh Rochette and Labossière(2000), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012).



Gambar 6. Korelasi antara hasil eksperimen dengan prediksi JST

Berdasarkan korelasi yang diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6 terlihat model analitis yang diusulkan oleh Pham memiliki nilai R^2 yang lebih rendah daripada hasil prediksi dengan JST yang memiliki nilai $R^2 = 0.95$. Kondisi ini memberikan gambaran keakuratan JST dalam menganalisis tegangan pengekangan yang terjadi. Pham dan Hadi (2014) memberikan hasil yang cenderung lebih tinggi dari hasil eksperimen hal ini akan memberikan nilai keamanan yang kurang bagi kebutuhan desain, sementara prediksi dengan JST memberikan keunggulan pada hasil prediksinya yang lebih akurat sehingga dapat memberikan kepastian hasil peningkatan tegangan aksial kolom yang diperoleh bila diperkuat dengan FRP. Gambar 7 memperlihatkan korelasi antara usulan Pham (2014) dengan hasil analisis menggunakan JST. Sebaran hasil analisis pada Gambar 7 memperlihatkan dimana tegangan terkekang menggunakan usulan Pham dan Hadi (2014) cenderung lebih besar daripada prediksi JST.



Gambar 7. Korelasi antara model analitis (Pham, 2014) dengan prediksi JST

Usulan Pham (2014) diturunkan dari model *thin shells* (cangkang tipis) dimana ketika beban aksial diberikan pada kolom dengan perkuatan FRP tegangan pengekang yang terjadi diasumsikan hanya terkonsentrasi pada daerah sudut. Selain itu model ini memberikan rekomendasi perbandingan antara radius kelengkungan dan tebal FRP (r/t) harus lebih besar dari 20. Asumsi pemodelan ini memberikan keterbatasan dalam memprediksi besaran tegangan yang terjadi secara khusus pada beberapa eksperimen atau benda uji yang tidak memenuhi asumsi yang diberikan.

Untuk memberikan gambaran bagaimana perbandingan hasil eksperimen yang diprediksi dengan akurat oleh JST dengan standar desain yang diberikan

Commented [A66]: studi

Commented [A67]: pakai mendeley/zotero

Commented [A68]: persamaan

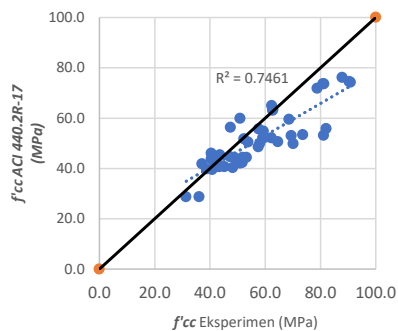
Commented [A69]: dan

Commented [A70]: dan

Commented [A72]: pada sumbu Y, nol dibelakang koma dihilangkan

Commented [A71]: pada sumbu Y, nol dibelakang koma dihilangkan

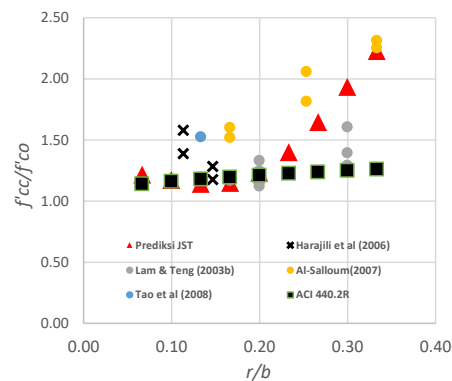
dalam ACI 440.2R-17 dilakukan korelasi antara target desain dan hasil eksperimen. Hasil eksperimen Rochette and Labossière(2000), Wang and Wu (2008), Wang et al. (2012) dibandingkan dengan tegangan standar desain diperlihatkan pada Gambar 8. Pada Gambar 8 terlihat bahwa hasil perhitungan untuk kebutuhan desain secara umum memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan hasil eksperimen. Kondisi ini memperlihatkan bahwa target desain tegangan pengekangan memberikan nilai yang konservatif daripada hasil eksperimen. Hal ini bisa dijelaskan karena untuk keperluan desain, ACI 440.2R-17 memberikan faktor reduksi seperti C_E (reduksi faktor lingkungan), ψ_f (reduksi kapasitas aksial) dan κ_e (reduksi regangan efektif).



Gambar 8. Korelasi antara perhitungan sesuai standar ACI 440.2R-17 dengan hasil eksperimen

Terkait pengaruh radius kelengkungan (r) terhadap peningkatan kapasitas aksial kolom dengan perkuatan FRP, Pham dan Hadi (2014) memberikan informasi bahwa faktor efisiensi regangan yang dihitung sebagai rasio antara tegangan ultimate FRP pada kolom dengan tegangan FRP pada kondisi uji tarik murninya adalah merupakan fungsi dari r/b dan rasio kekakuan pengekangan. Untuk melihat pengaruh radius kelengkungan yang diberikan pada kolom persegi dengan menggunakan hasil analisis JST maka pada penelitian ini dibuat suatu studi sederhana berupa analisis besarnya tegangan pengekang (f'_{cc}) pada kolom persegi yang diberikan radius kelengkungan pada sudutnya sebesar : 10 mm hingga 50mm. Data kolom yang digunakan adalah sebagai berikut : $b=150\text{mm}$, $h=150\text{mm}$, $f_{co} = 25\text{ MPa}$, tebal FRP $t=0.13\text{mm}$, jumlah lapisan $n=1$, kuat tarik FRP = 3500 MPa dan $E_F=230000\text{MPa}$. Korelasi antara r/b dan peningkatan kekuatan tegangan terkekang yang terjadi (f'_{cc}/f_{co}) dengan prediksi JST dapat dilihat grafik pada Gambar 9 dengan tanda segitiga. Untuk

memberikan perbandingan dengan hasil eksperimen dan standar desain maka pada grafik di Gambar 9 juga disajikan juga hasil eksperimen beberapa penelitian yang menggunakan benda uji kolom persegi dengan radius kelengkungan pada sudut kolomnya dan menggunakan 1 lembar lapisan FRP.



Gambar 9. Korelasi antara r/b dengan peningkatan kekuatan

Hasil prediksi JST memperlihatkan kecenderungan meningkatnya tegangan terkekang seiring dengan bertambah besarnya radius kelengkungan sudut yang diberikan. Hasil eksperimen dari beberapa penelitian juga menunjukkan kecenderungan yang mirip. Hal ini mengkonfirmasi pengertian bahwa peningkatan besarnya radius kelengkungan akan mengakibatkan dimensi kolom semakin mendekati bentuk penampang lingkaran, kondisi ini membuat tegangan lateral yang bekerja pada FRP di sisi-sisi kolom menjadi lebih seragam. Kondisi tegangan lateral yang lebih seragam mengakibatkan kemampuan FRP untuk memberikan kekangan menjadi lebih baik dibandingkan dengan adanya konsentrasi tegangan yang bisa terjadi pada sudut kolom akibat radius kelengkungan yang kecil. ACI 440.2R memberikan batasan minimum radius kelengkungan yang harus diberikan pada sudut kolom persegi sebesar 15 mm. Data eksperimen yang digunakan dalam training JST tidak ada yang memiliki radius kelengkungan sudut dibawah 15mm, sehingga dalam kasus ini analisis JST tidak akurat apabila diberikan r yang kurang dari 15mm ($r/b < 0.1$).

Pada prinsipnya standar ACI 440.2R juga memperhatikan pengaruh radius kelengkungan terhadap peningkatan tegangan yang terjadi, namun dari hasil analisis pada Gambar 9 terlihat bagaimana peningkatan yang terjadi tidak begitu signifikan bila dibandingkan

Commented [A73]: citasi sesuai di daftar pustaka

Commented [A74]: eksperimen

Commented [A75]: dan

Commented [A76]: dan

Commented [A80]: tanda /legenda dan keterangan dibesarkan agar jelas

Commented [A77]: pada sumbu Y, nol dibelakang koma dihilangkan

Commented [A78]: italic

Commented [A79]: spasi dan MPa

analisis dari prediksi JST dan hasil eksperimen. Grafik ini juga mengkonfirmasi bahwa sebagai suatu standar desain, ACI 440.2R memberikan kapasitas desain yang relatif aman dan hasil penelitian dapat dijadikan usulan untuk perbaikan agar memberikan target desain yang lebih akurat.

4. Kesimpulan

Penggunaan JST untuk menganalisis kuat tekan beton persegi yang diberikan perkuatan FRP pada penelitian ini memberikan hasil yang akurat dengan menggunakan 4 hidden layer (J8-4-1), nilai mse yang didapat paling optimum sebesar 0.00131 dengan nilai korelasi R baik pada fase training, fase validasi maupun fase uji berturut-turut adalah 0.99, 0.98 dan 0.98 untuk 113 benda uji. JST dalam penelitian ini memberikan hasil prediksi kuat tekan dengan tingkat korelasi yang lebih baik dibandingkan dengan metoda analisis dengan teori thin layer yang dilakukan Pham dan Hadi (2014). Penggunaan JST dapat memberikan gambaran korelasi antara kenaikan radius kelengkungan sudut dengan tegangan terkekang mendekati hasil eksperimen sehingga dapat menjadi usulan untuk standar perkuatan FRP pada ACI 440.2R.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Kristen Maranatha yang telah mendanai penelitian ini pada tahun anggaran 2022

Daftar Pustaka

- ACI (American Concrete Institute). 2017. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. ACI Committee 440 Rep., Technical Committee Document 440.2R. Farmington Hills, MI: ACI.
- Al-Salloum, Y. A. (2007). Influence of edge sharpness on the strength of square concrete columns confined with FRP composite laminates. *J.Compos. Part B: Eng.* 38 (5–6): 640–650.
- Campione, G., N. Miraglia, and M. Papia. (2004). Strength and strain enhancements of concrete columns confined with FRP sheets. *Struct. Eng. Mech.* 18 (6): 769–790.
- Eid, R., and P. Paultre. (2017). Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns. *Eng. Struct.* 132 (Feb): 518–530.
- Giovanni Minafò, Ph.D.1; Mohsen Rezaee-Hajidehi, Ph.D.2; and Giuseppe Giambanco3. (2019). A Mechanical Approach for Evaluating the Distribution of Confinement Pressure in FRP-Wrapped Rectangular Columns. *Journal of Engineering Mechanics* 145(12).
- Jalal, M., and Ramezaniapour, A. A. (2012). Strength enhancement modeling of concrete cylinders confined with CFRP composites using artificial neural networks. *Compos. Part B Eng.*, 43(8), 2990–3000
- Karam, G., and M. Tabbara. (2005). Confinement effectiveness in rectangular concrete columns with fiber reinforced polymer wraps. *J. Compos. Constr.* 9 (5): 388–396.
- Lam, L., and Teng, J. G. (2003b). Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns. *J. Reinf. Plast. Compos.*, 22(13), 1149–1186.
- Li Pengda, A.M. et al (2019). Stress–Strain Relation of FRP-Confined Predamaged Concrete Prisms with Square Sections of Different Corner Radii Subjected to Monotonic Axial Compression. *J. Compos. Constr.*, 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000921, 1-15
- Masia, M. J., Gale, T. N., and Shrive, N. G. (2004). Size effects in axially loaded square-section concrete prisms strengthened using carbon fibre reinforced polymer wrapping. *Can. J. Civ. Eng.*, 31(1), 1–13
- Naderpour, H., Kheyroddin, A., and Amiri, G. G. (2010). Prediction of FRP-confined compressive strength of concrete using artificial neural networks. *Compos. Struct.*, 92(12), 2817–2829
- Oreta, A. W. C., & Kawashima, K. (2003). Neural Network Modeling of Confined Compressive Strength and Strain of Circular Concrete Columns. *Journal of Structural Engineering*, 129(April), 554–561.
- Ozbakkaloglu, T., J. C. Lim, and T. Vincent. (2013). FRP-confined concrete in circular sections: Review and assessment of stress-strain models. *Eng. Struct.* 49(Apr):1068–1088.
- Pham, T. M., and M. N. S. Hadi. (2014). Stress prediction model for FRP confined rectangular concrete columns with rounded corners. *J. Compos. Constr.* 18 (1): 04013019.
- Richart, F. E., A. Brandtzaeg, and R. L. Brown. (1928). A study of the failure of concrete under combined compressive stresses: University of Illinois Bulletin; v. 26, no. 12. Urbana, IL: Univ. of Illinois.
- Rochette, P., and Labossière, P. (2000). Axial testing of rectangular column models confined with composites. *J.Compos.Constr.*,10.1061/(ASCE)1090-0268(2000)4:3(129), 129–136.
- Rousakis, T. C., Karabinis, A. I., and Kiouisis, P. D. (2007). FRP-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modelling. *Eng. Struct.*, 29(7), 1343–1353

Commented [A81]: italic

Commented [A82]: kapital

Commented [A83]: training

Commented [A84]: metode

TEKNIK, 39 (1), 2018, 9

- Tao, Z., Yu, Q., and Zhong, Y. Z. (2008). Compressive behaviour of CFRP-confined rectangular concrete columns. *Mag. Concrete Res.*, 60(10), 735–745.
- Sharma, S. S., U. V. Dave, and H. Solanki. (2013). FRP wrapping for RC columns with varying corner radii. *Procedia Eng.* 51: 220–229
- Wang, L. M., and Y. F. Wu. (2008). Effect of corner radius on the performance of CFRP-confined square concrete columns: Test. *Eng. Struct.* 30 (2): 493–505.
- Wang, Z. Y., Wang, D. Y., Smith, S. T., and Lu, D. G. (2012). CFRPconfined square RC columns. I: Experimental investigation. *J. Compos. Constr.*, 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000245, 150–160
- Zeng, J. J., Y. C. Guo, W. Y. Gao, J. Z. Li, and J. H. Xie. (2017). Behavior of partially and fully FRP-confined circularized square columns under axial compression. *Constr. Build. Mater.* 152 (Oct): 319–332.



User

You are logged in as...

anang_kristianto

- ▮ [My Journals \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/index/user\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/index/user)
- ▮ [My Profile \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/user/profile\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/user/profile)
- ▮ [Log Out \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/login/signOut\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/login/signOut)

About This Journal

[Focus and Scope \(/index.php/teknik/about/editorialPolicies#focusAndScope\)](/index.php/teknik/about/editorialPolicies#focusAndScope).
[Publication ethics \(/index.php/teknik/about/editorialPolicies#custom-1\)](/index.php/teknik/about/editorialPolicies#custom-1).
[Indexing \(/index.php/teknik/about/editorialPolicies#custom-3\)](/index.php/teknik/about/editorialPolicies#custom-3).
[p-ISSN: 0852-1697 \(http://issn.pdii.lipi.go.id/issn.cgi?daftar&1180434000&1&&\)](http://issn.pdii.lipi.go.id/issn.cgi?daftar&1180434000&1&&).
[e-ISSN: 2460-9919 \(http://u.lipi.go.id/1442566899\)](http://u.lipi.go.id/1442566899).

For Authors

[Author guidelines \(/index.php/teknik/about/submissions#authorGuidelines\)](/index.php/teknik/about/submissions#authorGuidelines).
[How to submit \(/index.php/teknik/about/submissions#onlineSubmissions\)](/index.php/teknik/about/submissions#onlineSubmissions).
[Manuscript template \(https://drive.google.com/file/d/170G8qvXShqScyASM0bVxE52Ls_KZ9k23/view?usp=sharing\)](https://drive.google.com/file/d/170G8qvXShqScyASM0bVxE52Ls_KZ9k23/view?usp=sharing). (DOC)
[Manuscript template \(https://drive.google.com/file/d/1PVVWwT0HULKmKVWpl-KfiKoHeAvoeyEfi/view?usp=sharing\)](https://drive.google.com/file/d/1PVVWwT0HULKmKVWpl-KfiKoHeAvoeyEfi/view?usp=sharing). (PDF)
[Copyright Transfer \(https://drive.google.com/file/d/1xM-zgidjIN3WAFkhaultZP6ZwIDeyZZI/view?usp=sharing\)](https://drive.google.com/file/d/1xM-zgidjIN3WAFkhaultZP6ZwIDeyZZI/view?usp=sharing). (DOC)
[Copyright Transfer \(https://drive.google.com/file/d/1He5TERdM3CA-5AcB6PebuWyrQqQq_EgV/view?usp=sharing\)](https://drive.google.com/file/d/1He5TERdM3CA-5AcB6PebuWyrQqQq_EgV/view?usp=sharing). (DOCX)
[Copyright Transfer \(https://drive.google.com/file/d/1_fkSdQMeY1W7KCgTA9Ij9Bo4a3Bpt96z/view?usp=sharing\)](https://drive.google.com/file/d/1_fkSdQMeY1W7KCgTA9Ij9Bo4a3Bpt96z/view?usp=sharing). (PDF)

Download articles

[Vol 44 No 2 2023 \(/index.php/teknik/issue/view/3489\)](/index.php/teknik/issue/view/3489)
[Vol 44 No 1 2023 \(/index.php/teknik/issue/view/3453\)](/index.php/teknik/issue/view/3453)
[Vol 43 No 3 2022 \(/index.php/teknik/issue/view/3349\)](/index.php/teknik/issue/view/3349)
[Vol 43 No 2 2022 \(/index.php/teknik/issue/view/3283\)](/index.php/teknik/issue/view/3283)
[Vol 43 No 1 2022 \(/index.php/teknik/issue/view/3179\)](/index.php/teknik/issue/view/3179)
[Vol 42 No 3 2021 \(/index.php/teknik/issue/view/3122\)](/index.php/teknik/issue/view/3122)
[Vol 42 No 2 2021 \(/index.php/teknik/issue/view/3056\)](/index.php/teknik/issue/view/3056)
[Vol 42 No 1 2021 \(/index.php/teknik/issue/view/2975\)](/index.php/teknik/issue/view/2975)
[Vol 41 No 3 2020 \(/index.php/teknik/issue/view/2913\)](/index.php/teknik/issue/view/2913)
[Vol 41 No 2 2020 \(/index.php/teknik/issue/view/2876\)](/index.php/teknik/issue/view/2876)
[Vol 41 No 1 2020 \(/index.php/teknik/issue/view/2798\)](/index.php/teknik/issue/view/2798)

Faculty of Engineering

Diponegoro University

Jln. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia. Postal Code: 50275; Ph. (024) 7460056, Fax: (024) 7460055, E-mail: jteknik@live.undip.ac.id

Publication Tools



Notifications

- [View \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/notification\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/notification). (3 new)
- [Manage \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/notification/settings\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/notification/settings)

Journal Content

Search

Search Scope

All

Search

Browse

- [By Issue \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/issue/archive\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/issue/archive)
- [By Author \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/search/authors\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/search/authors)
- [By Title \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/search/titles\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/search/titles)
- [Other Journals \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/index/search\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/index/search)
- [Categories \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/index/search/categories\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/index/search/categories)

Language (EN)

Select Language ☐ [. \(https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/user/setLocale/id_ID?source=%2Findex.php%2Fteknik%2Fauthor%2FsubmissionEditing%2F52812\)](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/user/setLocale/id_ID?source=%2Findex.php%2Fteknik%2Fauthor%2FsubmissionEditing%2F52812) ☐

Editor Yasser Wahyuddin (<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/user/email?redirectUrl=https%3A%2F%2Fejournal.undip.ac.id%2Findex.php%2Fteknik%2Fauthor%2FsubmissionEditing%2F52812&to%5B%5D>)

Copyediting

Review Metadata (<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewMetadata/52812>).

Copyedit Comments [_javascript:openComments\('https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewCopyeditComments/52812'\);](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewCopyeditComments/52812) No Comments

Layout

Supplementary Files File

None

Layout Comments ([javascript:openComments\('https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewLayoutComments/52812'\);](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewLayoutComments/52812)) No Comments

Proofreading

Review Metadata (<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewMetadata/52812>).

		Request	Underway	Complete
1.	Author	02-07-2024	04-07-2024	 21-07-2024
2.	Proofreader	10-09-2024	—	—
3.	Layout Editor	—	—	—

Proofreading Corrections [_javascript:openComments\('https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewProofreadComments/52812'\);](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik/author/viewProofreadComments/52812) No Comments

TEKNIK (p-ISSN: 0852-1697; e-ISSN: 2460-9919),

is a scientific journal published by Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jln. Prof. Soedarto, SH, UNDIP Tembalang Campus, Semarang, Central Java, ZIP: 50275; Telp. (024)7460056, Fax: (024)7460055, E-mail: jteknik@live.undip.ac.id



Journal Teknik can be accessed online by <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik> is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#). [View My Stats](#)



[TEKNIK] Copyediting Review Completed [Ms ID: TEKNIK-2023-52812]

From Dr. Anang Kristianto <mail@ejournal.undip.ac.id>
Date Tue 30/04/2024 17:07
To mail@ejournal.undip.ac.id <mail@ejournal.undip.ac.id>
Cc Yasser Wahyuddin <yasserwahyuddin@lecturer.undip.ac.id>

Journal Name: TEKNIK
Article Title: Penggunaan Jaringan Saraf Tiruan untuk Memprediksi Besarnya Kuat Tekan Beton Persegi dengan Perkuatan FRP (Fiber Reinforced Polymer)
Ms ID: Teknik-2023-52812

Dear Yasser Wahyuddin,

I have now reviewed the copyediting of the manuscript, "Penggunaan Jaringan Saraf Tiruan untuk Memprediksi Besarnya Kuat Tekan Beton Persegi dengan Perkuatan FRP (Fiber Reinforced Polymer)". It is ready for the final round of copyediting and preparation for Layout.

Thank you for all Editorial boards' s contribution in publishing my work.

Sincerely,
Dr. Anang Kristianto

Editor in Chief
Jurnal TEKNIK
Website:
<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>
<http://jteknik.undip.ac.id>
Online Submission: <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik>
Email: jteknik@live.undip.ac.id