

# PREDIKSI KEKUATAN BETON BERDASARKAN PARAMETER DESIGN, HAMMER TEST DAN TEST UPV DENGAN MENGGUNAKAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

Yulia Helena Margarita Rada<sup>a</sup> dan Pujo Aji<sup>b</sup>

**Abstract:** This study aims to predict the compressive strength of existing concrete without using destructive tests which can damage the surface of the concrete. Destructive testing has the disadvantage of damaging the surface of the concrete, requires a long time and need expensive cost, while the Non Destructive Test (NDT) has the advantage of not damaging the surface of the concrete and faster when combined with the Artificial Neural Network (ANN) method. In this research, the Non Destructive Test (NDT) result such as hammer test and UPV were combined with concrete mix design properties and used to predict the compressive strength of concrete at three and 28 days. The Artificial Neural Network (ANN) method is used to make correlation of mix design properties data and NDT. In this study experimental tests were performed using variation of design parameters such as water per cement ratio and weight ratio of fly ash. The water per cement ratio used in this research was in range 0.45 until 0.55. Furthermore, the weight ratio of fly ash was in range 0% until 25%. Based on the modeling result using ANN method, it found that that the neural network method successfully predicts the compressive strength of concrete at three and 28 days with the mean square error (MSE) value and regression of concrete at three days are 5.83 and 0.89 respectively. While at 28 days the MSE and regression value are 4.7 and 0.87 respectively.

**Keywords:** Strength concrete, Mix design, Hammer test, Test UPV, ANN Method

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi kuat tekan beton existing tanpa menggunakan tes destruktif yang merusak permukaan beton. Pengujian Destruktif selain memiliki kelemahan merusak permukaan beton, pengujiannya membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang mahal, sedangkan pengujian Non Destruktif Test (NDT) mempunyai kelebihan tidak merusak permukaan beton dan lebih cepat apabila dikombinasikan dengan metode Artificial Neural Network (ANN). Pada penelitian ini, metode Non Destruktif Test (NDT) seperti hammer test dan UPV dikombinasikan dengan data mix desain beton dan digunakan untuk memprediksi kekuatan beton pada umur 3 dan 28 hari. Metode Artificial Neural Network (ANN) digunakan untuk membuat korelasi data input mix desain dan NDT. Pada penelitian ini dilakukan experimental tes dengan menggunakan variasi parameter desain seperti faktor air semen dan rasio berat fly ash. Rasio faktor air semen yang digunakan berkisar antara 0.45 sampai dengan 0.55. Sedangkan rasio berat fly ash yang digunakan berkisar antara 0% hingga 25%. Berdasarkan hasil dari pemodelan dengan metode ANN, didapatkan bahwa metode ini berhasil memberikan prediksi kekuatan beton pada usia 3 dan 28 hari dengan nilai Mean Square Error (MSE) dan regresi beton umur 3 hari adalah 5,83 dan 0,89. Sedangkan pada usia 28 hari, nilai MSE dan regresi yang didapatkan adalah 4,70 dan 0,87.

**Kata Kunci:** Kekuatan beton, Mix desain, Hammer test, Test UPV, Metode ANN

## PENDAHULUAN

Dilapangan saat terjadi keraguan terhadap kekuatan beton biasanya dilakukan tes *core drill* yang bersifat destruktif. Penelitian ini ditujukan untuk menghindari test destruktif untuk menentukan kuat tekan beton existing. Metode *Non Destruktif Test* (NDT) dikombinasikan dengan data Mix desain beton digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton umur 3 hari dan 28 hari.

Pengujian Non Destruktif Test (NDT) adalah salah satu metode yang digunakan untuk memprediksi kekuatan beton tanpa merusak benda uji, pelaksanaannya dapat dilakukan ditempat kerja (*insitu*), hasilnya berupa data kekuatan yang bersifat perkiraan, alat yang umum dipakai adalah hammer test dan test *Ultrasonik Pulse Velocity* (UPV) [1].

Hammer test merupakan peralatan NDT yang nyaman, mudah dikerjakan, murah pengukurannya dapat dilakukan dengan cepat yaitu suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton [1]. Hammer test atau Rebound Hammer Test (RHT), dikembangkan di Jerman pada tahun 1930, berdasarkan ASTM C805 dan BS 4408 bagian 4, dimanfaatkan untuk menguji kekerasan permukaan beton, kemudian pada tahun 1979, metode pengujian standar, menjelaskan bahwa metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan keseragaman beton dan mendeteksi daerah berkualitas beton, namun tidak berarti sebagai pengganti pada pengujian beton [2].

*Ultrasonik Pulse Velocity* (UPV) adalah pengujian kekuatan beton secara tidak langsung, melalui pengukuran kecepatan perambatan gelombang elektronik longitudinal pada media beton. Dalam Pengujian UPV ada 3 macam cara yaitu :

1. *Direct transmission* ( transmisi langsung)
2. *Semi- direct transmission* ( transmisi semi langsung)
3. *Indirect of surface transmission* (transmisi tidak langsung pada permukaan )

*Indirect transmission* ( transmisi tidak langsung) biasanya digunakan dalam pengujian untuk mengukur kedalaman retakan sedangkan *Direct transmission* (transmisi langsung) biasa digunakan dalam mengukur tingkat kepadatan beton, estimasi kuat tekan hingga modulus elastisitas. Banyak penelitian oleh para peneliti

<sup>a</sup>Student in the Department of Civil Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), ITS Campus, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia. Email: rada\_yuli@yahoo.com

<sup>b</sup>Lecturer in the Department of Civil Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology (ITS), ITS Campus, Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia. Email: pujo@ce.its.ac.id

Note. The manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on January 11, 2018. This paper is part of the ITS Journal of Civil Engineering, Vol. 34 No. 1, May 2019. © ITS Journal of Civil Engineering, ISSN 2579-9029/2017.

tentang hubungan kecepatan gelombang UPV dan kuat tekan beton menyimpulkan bahwa kecepatan gelombang UPV paling terpengaruh oleh kekuatan beton. Perubahan kekuatan beton pada tes UPV ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan gelombangnya, jika turun adalah tandanya bahwa beton mengalami penurunan kekuatan, sebaliknya jika kecepatannya naik, adalah tanda bahwa kekuatan meningkat [3].

*Artificial Neural Network (ANN)* merupakan salah satu metode *Artificial Intelligence* [4] yang mampu untuk membuat model atau mengkorelasikan data input dan data output. *Artificial Neural Network (ANN)* pertama kali diperkenalkan oleh Warren McCulloch dan walter Pitts pada tahun 1943. Kemudian mengalami perkembangan terus menerus hingga tahun 1990 dan pada saat itu perkembangan yang sangat ramai dibicarakan mengenai aplikasi model-model jaringan saraf tiruan untuk menyelesaikan beberapa masalah didunia nyata [5].

*Artificial Neural Network (ANN)* atau bisa juga digunakan istilah *Neural Network* merupakan kategori ilmu *Soft Computing*. *Neural Network* sebenarnya mengadopsi dari kemampuan otak manusia yang mampu memberikan stimulasi/rangsangan, melakukan proses, dan memberikan output. Output diperoleh dari variasi stimulasi dan proses yang terjadi di dalam otak manusia. Kemampuan manusia dalam memproses informasi merupakan hasil kompleksitas proses di dalam otak. Kekuatan komputasi yang luar biasa dari otak manusia ini merupakan sebuah keunggulan di dalam kajian ilmu pengetahuan [6]. Fungsi dari *Neural Network* diantaranya adalah:

1. Pengklasifikasian pola
2. Memetakan pola yang didapat dari input ke dalam pola baru pada output
3. Penyimpan pola yang akan dipanggil kembali
4. Memetakan pola-pola yang sejenis
5. Pengoptimasi permasalahan
6. Prediksi

Dengan fungsi ANN yang diketahui dalam penggunaannya dapat membentuk hubungan antara input, target dan output dalam bentuk performance yang terbaik dan nilai *Mean Square Error (MSE) validation* mendekati nol yang berarti, nilai prediksi telah menghasilkan relatif kecil yaitu lebih kecil dari 5%, sedangkan nilai regresi mengidentifikasi hasil prediksi mendekati nilai aktualnya [7].

## METODOLOGI

Benda uji yang akan diteliti adalah kuat tekan beton umur 3 hari dan 28 hari proses pembuatan sampel, model dan analisa dapat ditunjukkan sebagai berikut :

1. Pembuatan sampel beton dengan data eksperimen sebagai berikut :

Benda uji silinder ukuran  $\phi$  10 x 20 cm<sup>2</sup> sebanyak 45 pasang untuk masing-masing beton umur 3 hari dan umur 28 hari. Sampel beton yang di buat memiliki variasi campuran beton sebagai berikut : w/c 0,45;0,50;0,55 dan rasio berat fly ash sebanyak 0%,10%,15%,20%,25%, agregat kasar dan agregat halus. *Curing* beton dilakukan

dengan cara merendam benda selama 2 hari dan 27 hari sebelum melakukan pengujian selanjutnya.

## 2. Pengujian Non Destruktif Test (NDT)

Pada pengujian hammer test dilakukan dengan memberikan tumbukan sebanyak 10 titik pada posisi sudut 0° (tegak lurus horizontal) sedangkan untuk posisi sudut -90° (tegak lurus keatas) dan posisi sudut + 90° (tegak lurus kebawah) diapit oleh alat *Compression Testing Machine (CTM)* kemudian diambil nilai rata-rata dengan menggunakan alat palu rebound hammer. Cara pengujian hammer test ditunjukkan pada gambar 1,



**Gambar 1.** Pengujian rebound hammer posisi sudut 0° tegak lurus horizontal

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tekan rata-rata adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{bm} = \frac{\sum_1 N(\sigma_b)}{N} \quad (1)$$

Dimana :

- $\sigma_{bm}$  : Kuat tekan beton rata-rata
- N : Jumlah pukulan
- $\sigma_b$  : Kuat tekan dari angka pantul rata-rata

Alat yang digunakan dalam pengujian UPV adalah 1 set alat monitor mekanis Profometer 4 yang terdiri dari alat monitor, kabel konektor, satu pasang *transducer* dan *receiver* yang terbuat dari logam dan alat pendukung berupa gemuk (fat). Pengujian UPV di lakukan dengan metode *direct transmission* (langsung) yaitu dengan memberikan getaran longitudinal lewat cairan perangkai dalam bentuk gemuk (fat) yang diolesi pada permukaan beton sebelum tes di mulai. Saat gelombang merambat pada batas gemuk dan beton akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang geser dan longitudinal. Pertama kali yang akan mencapai *transducer* penerima adalah gelombang longitudinal oleh *transducer* menjadi sinyal gelombang elektronik yang dapat dideteksi oleh *transducer* penerima. Sehingga waktu tempuh, jarak dan kecepatan gelombang yang diukur muncul pada tampilan monitor. Percobaan ini dapat dilakukan lebih dari sekali. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tekan rata-rata adalah sebagai berikut :

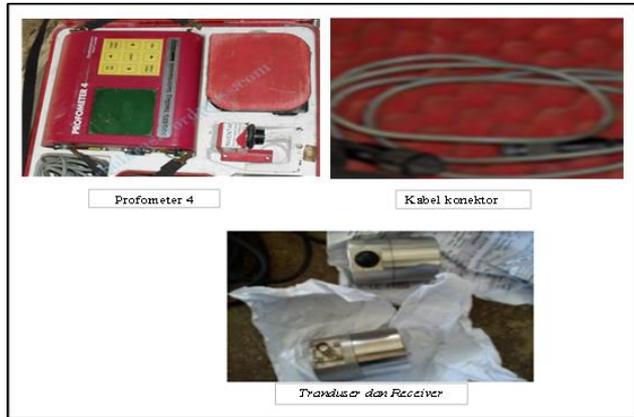
$$V = \frac{L}{T} \quad (2)$$

Dimana :

V : Kecepatan gelombang longitudinal (Km/detik atau m/detik)

L : Jarak lintasan (Km, m, mm)

T : Waktu yang ditempuh gelombang (detik)/ dipeoleh dari pengujian



**Gambar 2.** Alat pengujian UPV (1 set alat monitor mekanis profometer 4)

Selain pengujian NDT dilakukan juga pengujian kuat tekan beton untuk diambil nilai aktualnya sebagai data target. Dengan cara memberi beban terhadap benda uji sehingga benda uji tersebut ditekan sampai retak dan hancur (jarum sudah tidak bergerak lagi) dan besarnya beban yang diberikan dapat dibaca pada alat pembacaan kemudian dicatat. Peralatan yang digunakan dalam pengujian kuat tekan beton adalah *Compression Testing Machine* (CTM), yang ditunjukkan pada gambar 3



**Gambar 3.** Alat pengujian kuat tekan beton *Compression Testing Machine* (CTM)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kuat tekan rata-rata adalah sebagai berikut :

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

Dimana :

$f_c$  : Kuat tekan beton pada umur tertentu (MPa)

P : Beban tekan maksimum (N)

A : Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

### 1. Pemodelan ANN

Langkah awal dari pemodelan adalah *training* data input dan output pada data *testing* kemudian diuji dengan metode ANN untuk membentuk relasi input dan output. Untuk membandingkan hasil output dengan target untuk setiap masukan diperlukan perhitungan error. Fungsi error yang umum digunakan adalah Mean Square Error (MSE) yang merupakan rata-rata kuadrat dari selisih antara output dengan target. MSE dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$MSE = \frac{\sum(o-t)^2}{n} \quad (4)$$

Dimana :

o : Output jaringan

t : Target output

n : Jumlah data

Pemodelan ANN dalam *Software Matlab* dibuat menggunakan *algoritma backpropagation*, secara umum dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

#### ❖ Masukan data input dan output

Data input dan output yang akan di gunakan adalah data mix desain dan data pengujian NDT yang dibagi dalam dua kasus sebagai berikut :

- Pada simulasi pertama yang akan dicari prediksi kekuatan beton umur 3 hari dengan menggunakan komponen input terdiri dari komposisi mix desain beton, (w/c 0,45-0,55, rasio berat fly ash sebanyak 0-25%, hasil pengujian hammer test umur 3 hari, hasil pengujian UPV umur 3 hari, sedangkan data target kekuatan beton umur 3 hari.
- Pada simulasi kedua yang akan dicari adalah prediksi kekuatan beton umur 28 hari dengan menggunakan komponen input terdiri dari komposisi mix desain beton, (w/c 0,45-0,55, rasio berat fly ash (0-25%), hammer test umur 28 hari, sedangkan data target adalah kekuatan beton umur 28 hari.

#### ❖ Menentukan Jumlah *node hidden layer*

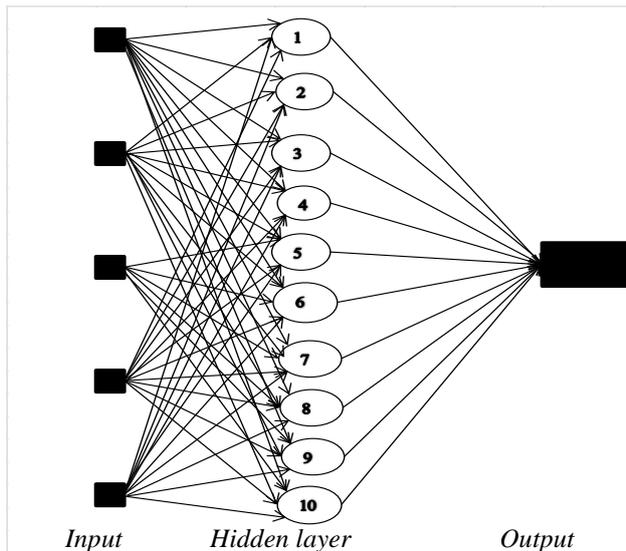
*Hidden Layer* berpengaruh terhadap kemampuan model ANN untuk menggeneralisasi suatu fungsi / pola. Penelitian ini menggunakan 1 *hidden layer* dengan jumlah *node hidden layer* 10.

#### ❖ Menentukan prosentasi data

Porsi terbesar adalah data *training*, data ini digunakan untuk mendefinisikan parameter model (melatih kemampuan model). Data *validasi* digunakan untuk menguji kemampuan model selama proses pembentukannya. Sedangkan data *testing* digunakan untuk memeriksa keakuratan pemodelan jika diuji pada data diluar sampel. Dalam penelitian ini menggunakan prosentasi data *training*, *testing* dan *validasi*, yaitu kombinasi 70% data *training*, 15% data *testing* dan 15% data *validation*.

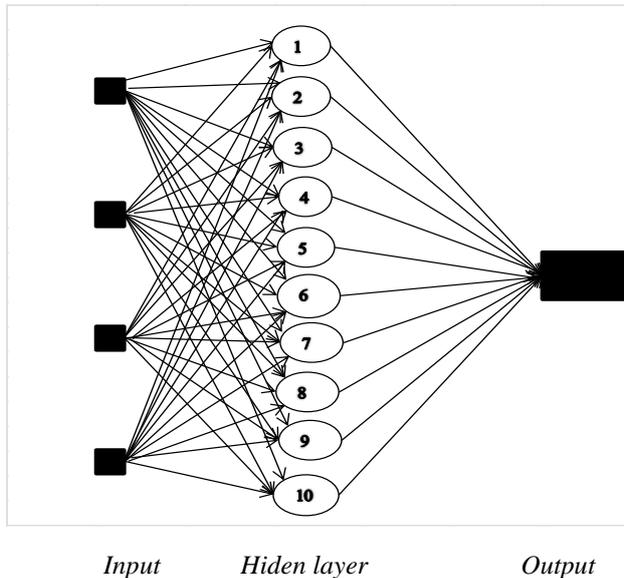
#### ❖ Arsitektur jaringan

Arsitektur jaringan yang digunakan pada penelitian ini adalah arsitektur layer jamak yang memiliki tiga jenis *layer* yakni *layer input*, *layer tersembunyi* dan *layer output* yang ditunjukkan pada gambar 4 dan 5



**Gambar 4.** Arsitektur lapisan *layer* jamak pada kasus pertama

Arsitektur jaringan pada gambar 4. merupakan hasil terbaik dari kombinasi mix design dan pengujian NDT umur 3 hari yang terdiri dari 5 *layer input* adalah : w/c, jumlah semen, fly ash, data pengujian hammer test umur 3 hari, data pengujian test UPV 3 hari, *layer tersembunyi* 1 *hidden layer* dan 10 *node hidden layer*, sedangkan output adalah kuat tekan beton umur 3 hari



**Gambar 5.** Arsitektur lapisan *layer* jamak kasus kedua

Arsitektur jaringan pada gambar 5. merupakan hasil terbaik dari kombinasi mix design dan pengujian NDT umur 28 hari yang terdiri dari 4 *layer input* adalah : w/c, jumlah semen, fly ash, data pengujian hammer test umur 28 hari, *layer tersembunyi* berjumlah 1 *hidden layer* dan 10 *node hidden layer*, sedangkan output adalah kuat tekan beton umur 28 hari

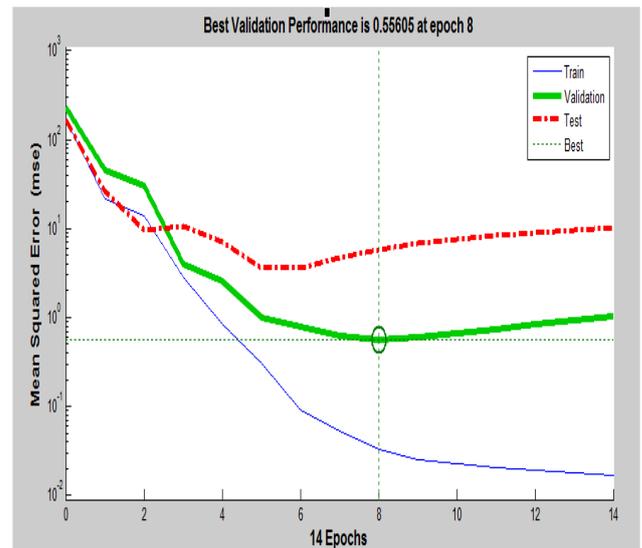
❖ Menyampaikan hasil

Setelah dilakukan training dengan beberapa kombinasi parameter input dari hasil *training* tersebut tiap kombinasi dipilih hasil *training* yang terbaik dengan menghasilkan *Mean Square Error* (MSE)

*validation* yang terkecil. Hasil *training* dikatakan terbaik jika didapatkan pada tampilan *performance* menunjukkan kurva *validation* dan *testing* memiliki bentuk yang hampir sama, tampilan *regresi* mendekati 45°.

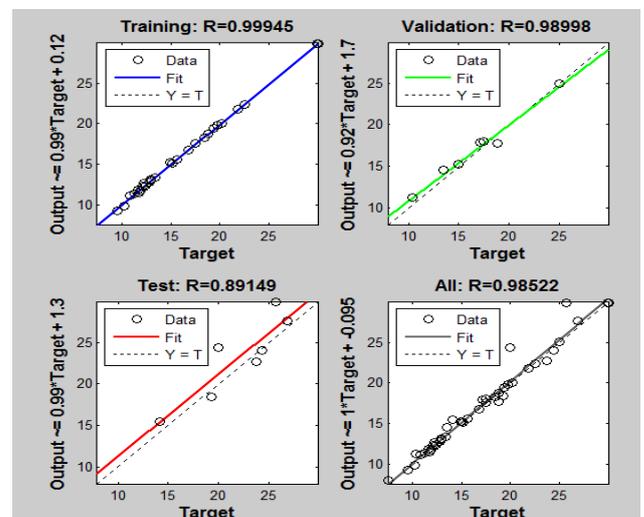
**ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Hasil *training* jaringan dari kombinasi mix design dan pengujian NDT pada simulasi pertama diperoleh nilai MSE *validation* sebesar 0,55, nilai MSE *testing* sebesar 5,83. Untuk hasil *plot performance* dan *plot regression* di tunjukkan pada gambar 6.



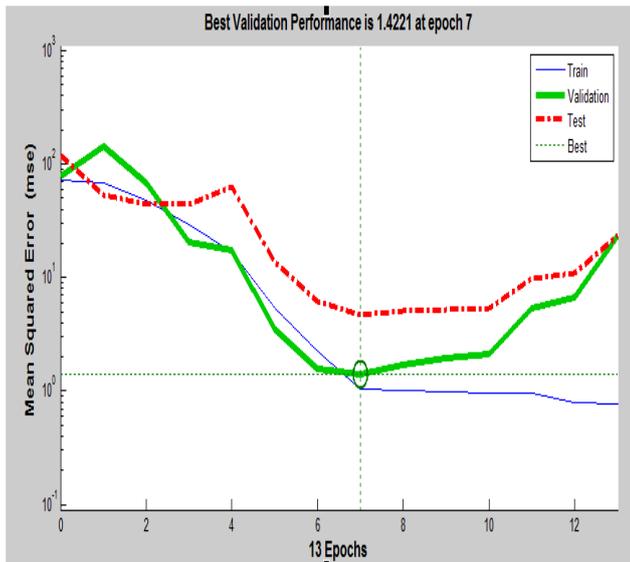
**Gambar 6.** *plot performance* permodelan ANN pada simulasi I

Dari gambar dilihat bahwa *running* pemodelan berhenti pada iterasi ke 8. Hasil dari kurva *validation* (warna hijau) dan kurva *test* (warna merah) memiliki bentuk yang hampir sama. Hasil ini sudah sesuai dengan kriteria hasil pemodelan yang baik, grafik *plot performance* ini pada dasarnya sebagai generalisasi dari hasil pemodelan. Untuk hasil nilai *regresi* ditunjukkan pada gambar 7.( grafik *plot regresi* )



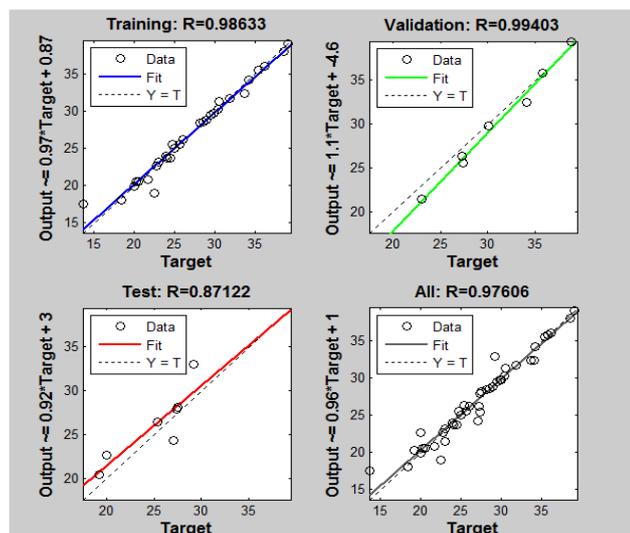
**Gambar 7.** *plot regression* permodelan ANN pada simulasi I

Dari Gambar 7 terdapat tiga hasil yang menggambarkan data *training*, *validation* dan *testing*. Garis solid menggambarkan sudut 45° antara output dan target. Nilai *regresi* (R) mengindikasikan hubungan antara *output* dan target. Nilai R *testing* yang dihasilkan 0,89, hal ini mengindikasikan bahwa terdapat hubungan linier yang tepat antara *output* dan target. Hasil *training* jaringan dari kombinasi mix design dan pengujian NDT pada simulasi kedua diperoleh nilai MSE *validation* sebesar 1,42, nilai MSE *testing* sebesar 4,70. Untuk hasil *plot performance* dan *plot regression* ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. *plot performance* permodelan ANN pada simulasi II

Dari gambar 8 dilihat bahwa *running* pemodelan berhenti pada iterasi ke 7. Hasil dari kurva *validation* (warna hijau) dan kurva *test* (warna merah) memiliki bentuk yang hampir sama. Hasil ini sudah sesuai dengan kriteria hasil pemodelan yang baik, grafik *plot performance* ini pada dasarnya sebagai generalisasi dari hasil pemodelan. Untuk hasil nilai *regresi* ditunjukkan pada gambar 9. (grafik *plot regresi*)



Gambar 9. *plot regression* permodelan ANN pada simulasi II

Pada gambar 9, terdapat tiga hasil yang menggambarkan data *training*, *validation* dan *testing*. Garis solid menggambarkan sudut 45° antara output dan target. Nilai *regresi* (R) mengindikasikan hubungan antara *output* dan target. Nilai R *testing* yang dihasilkan 0,87, hal ini mengindikasikan bahwa terdapat hubungan linier yang tepat antara *output* dan target. Rekapitulasi hasil pemodelan ANN simulasi pertama dan kedua ditunjukkan pada table 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pemodelan ANN

Simulasi	Input	Output	MSE		Regresi
			validasi	testing	
1	w/c semen fly ash hammer test upv 3 hari	3 hari	0.55	5.83	0.985
2	w/c semen fly ash hammer test	28hari	1.42	4.70	0.976

Nilai MSE *validation* yang didapat pada simulasi pertama dan kedua hanya digunakan untuk mencari hasil *training* terbaik saja. Pada tahap selanjutnya, akan dicari Nilai MSE *testing* dari hasil *training* pada Tabel 2 dan Tabel 3 untuk menguji hasil pemodelan ANN dengan Prediksi kuat tekan secara aktual.

Tabel 2. Hasil MSE *testing* simulasi pertama

No.	Kuat Tekan Aktual	Kuat Tekan Prediksi ANN (Mpa)	(o-t)^2
1	25.73	29.9	17.39
2	26.9	27.64	0.548
3	23.73	22.72	1.0
4	24.36	24.03	0.11
5	19.99	24.36	19.10
6	19.3	18.42	0.77
7	14.11	15.47	1.85
Σ :			40.79
MSE=Σ(o-t)^2/n :			5.83

Hasil MSE *testing* rata-rata pada simulasi pertama diperoleh dengan persamaan MSE sebesar 5,83

Tabel 3. Hasil MSE *testing* simulasi kedua

No.	Kuat Tekan Aktual	Kuat Tekan Prediksi ANN (Mpa)	(o-t)^2
1	29.17	33.00	14.6
2	19.17	20.36	1.41
3	27.1	24.30	7.84
4	19.98	22.65	7.12
5	27.35	27.93	0.33
6	27.48	28.15	0.44
7	25.36	26.43	1.14
Σ :			32.88
MSE=Σ(o-t)^2/n :			4.70

Hasil MSE *testing* rata-rata pada simulasi kedua diperoleh dengan menggunakan persamaan MSE sebesar 4,70

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Metode ANN dapat digunakan bersama data NDT dan Mix design untuk memprediksi kuat tekan beton umur 3 hari dengan error MSE 5,83 nilai regresi 0,89 dan umur 28 hari error MSE 4,70 nilai regresi 0,87.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan untuk beton mutu tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lubis, M.; “Pengujian Struktur Beton Dengan Metode Hammer test dan Metode Uji Pembebanan (Load Test)”, *Petunjuk Praktikum, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik USU*, Sumatera Utara, 2003; pp.15-21
- [2] Jen, C. Liu; Mou, L. Sue; Chang, H., Kou; “ Estimating the Strength of Concrete Using Surface Rebound value and Design Parameters of Concrete Material”, *Tamkang Journal of Science and Engineering*, Vol. 12 No. 1,2009, pp.1-7
- [3] Happy, S. Anggraeni; Eddy, E. Susilo; Sonny, W.; “Perbandingan Kekuatan Beton Berdasarkan Hasil Ultrasonik Pulse Velocity Test Dengan Uji Tekan (020M)”, *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTeks 7) Universitas Sebelas Maret (UNS) – Surakarta*, 24-26 Oktober 2013, pp. M9-M16
- [4] Siswanto; “Kecerdasan Tiruan”, GRAHA ILMU, Jakarta, Juli 2005, pp. 1-28
- [5] Siang, J. Jong; “Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan MATLAB”, Andi Yogyakarta, Juli 2004, pp.1-308
- [6] Derwin, S.; “Dasar Pemahaman Neural Network”, *SCC of Computing , School of Computer Science BINUSUniversity*,2012,<http://socs.binus.ac.id/2012/07/26/konsep-neural-network/>
- [7] Reni, S.; “Prediksi Kerusakan Model Tiang Jembatan Beton Bertulang Berdasarkan Mutu Beton dengan Metode jaringan Saraf Tiruan”, *Annual Civil Engineering Seminar 2015*, pp 368-375