

Prediksi Gaya Hambat Terhadap Jarak Jangkauan Mortir 60 mm Dengan Jaringan Syaraf Tiruan

Slamet Widodo, M. Aziz Muslim, Didik R. Santoso

Abstract--- Analysis of the influence of drag force on the range of grenade 60 mm mortar is one approach to calculate the firing distance. Some methods can be used for calculating the 60 mm mortar firing range such that the aerodynamic and ballistic method. As performance reference, the firing book table of 60 mm mortar is used.

This research aims to design and build software with neural network method to predict the drag that affects mortar firing range so that we will get the drag prediction. It will be used to perform calculations of the shooting range. Experimental results of drag prediction using a unit neural network with 2 input units, 4 hidden units and 1 output can produce the Mean Square Error (MSE) of $4,03 \times 10^{-5}$. The prediction results can be used to determine the distance to achieve mortar although still not as precise as the firing table book with an average of 13.8013% error

Keywords: Mortars 60 mm, firing Book Table, Ballistic, Aerodynamics, Artificial Neural Networks.

Abstrak—Analisis pengaruh gaya hambat terhadap jarak jangkauan granat mortir 60 mm adalah salah satu cara pendekatan dalam menghitung jarak tembaknya. Beberapa metode yang kemungkinan dapat digunakan dalam melakukan perhitungan jarak tembak mortir 60 mm diantaranya yaitu metode aerodinamika dan balistik. Metode tersebut digunakan untuk melakukan pendekatan perhitungan dengan pembandingan buku tabel tembak mortir 60 mm.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan membangun perangkat lunak dengan metode jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi gaya hambat yang mempengaruhi jarak penembakkan mortir sehingga akan didapatkan gaya hambat prediksi yang akan digunakan untuk melakukan pendekatan perhitungan terhadap jarak tembak. Hasil prediksi gaya hambat dengan jaringan syaraf tiruan yang memiliki 2 masukan 4 layer tersembunyi dan 1 keluaran dapat menghasilkan Mean Square Error (MSE) sebesar $4,03 \times 10^{-5}$. Sedangkan penerapan hasil prediksi dapat digunakan untuk menentukan jarak capai mortir meskipun masih belum setepat seperti pada buku tabel tembak dengan rata-rata kesalahan 13.8013 %.

Kata Kunci— Mortir 60 mm, Buku Tabel Tembak, Balistik, Aerodinamika, Jaringan Syaraf Tiruan.

Slamet Widodo, mahasiswa Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia dan dosen di Politeknik TNI AD (e-mail: freeslametwido@yahoo.com).

M. Aziz Muslim, dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp. 0341-554166).

Didik R. Santoso, dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp. 0341-554166)

I. PENDAHULUAN

MORTIR 60 mm merupakan senjata laras licin (tanpa alur dan galangan). Pengisian granat dilakukan dari mulut laras dengan menggunakan sistem drop, yaitu granat dimasukkan langsung ke dalam mortir. Ketika granat masuk ke dalam mortir, maka penggalak granat akan menyentuh pena pemukul, sehingga isian granat terbakar dan mendorong granat keluar dari dalam laras menuju sasaran [1].

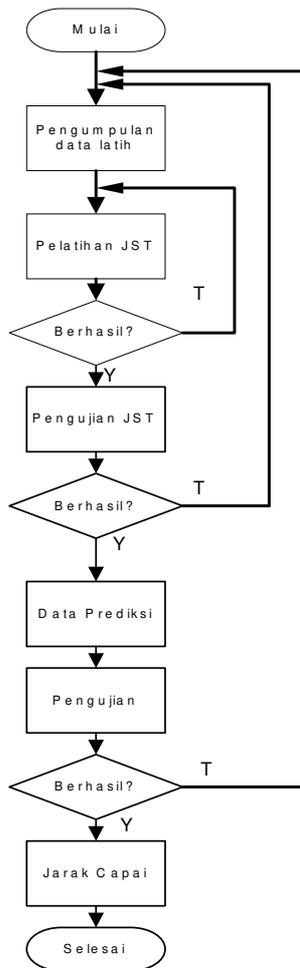
Dalam pelaksanaan penembakan mortir 60 mm ke sasaran selalu diawali dengan tembakan peninjauan. Tembakan ini bertujuan untuk mengetahui apakah terjadi penyimpangan arah dan jarak dari sasaran. Penyimpangan ini selalu terjadi pada setiap penembakan mortir 60 mm meskipun sudah menggunakan data tabel tembak dari mortir tersebut. Hal ini terjadi karena adanya beberapa faktor yang mempengaruhi laju granat mortir saat di udara, salah satunya adalah gaya hambat. Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk menganalisis pengaruh gaya hambat pada penembakan mortir adalah metode peramalan menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan pendekatan perhitungan aerodinamika.

Jaringan Syaraf Tiruan dibentuk untuk memecahkan suatu masalah tertentu seperti pengenalan pola atau klasifikasi karena proses pembelajaran. Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk mengenali pola, melakukan proses pengolahan sinyal, dan melakukan proses peramalan. Berdasarkan pola suatu kejadian/nilai sebelumnya, jaringan syaraf tiruan juga dapat digunakan untuk meramalkan kejadian/nilai yang akan terjadi di masa datang. Hal ini terjadi karena jaringan syaraf tiruan memiliki kemampuan dalam mengingat dan membuat generalisasi dari data yang sudah ada sebelumnya [2].

Berdasarkan hal tersebut di atas penulis akan membahas tentang analisis pengaruh gaya hambat pada penembakan mortir 60 mm dengan menerapkan metode jaringan syaraf tiruan. Penerapan metode jaringan syaraf tiruan bertujuan untuk membuat prediksi gaya hambat yang akan digunakan untuk menganalisis perhitungan jarak capai mortir ke sasaran.

II. METODOLOGI

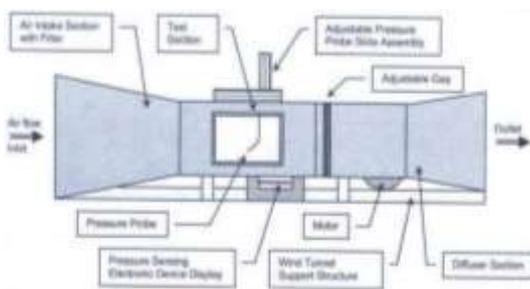
Penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan data latih untuk memprediksi gaya hambat, yang terdiri atas gaya hambat, kecepatan udara dan sudut serang. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan mengatur sudut serang spesimen dan *kecepatan* udara yang sudah ditentukan di dalam terowongan angin (*Wind Tunnel*).

Wind Tunnel adalah suatu peralatan berbentuk ruangan yang terlindung yang dirancang secara khusus dimana udara dapat dihembuskan maupun dihisap secara mekanik untuk mencapai kecepatan dan bentuk aliran yang telah ditentukan [3]. Bentuk *Wind Tunnel* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Arsitektur jaringan

Pengambilan data dilakukan dengan urutan-urutan sebagai berikut:

- Buka bagian seksi uji dengan cara menarik ke depan agar terpisah menjadi 2 bagian antara saluran masuk (*Intake*) dengan bagian Diffuser.
- Pasang spesimen uji yang memiliki tiang penyangga pada lubang tiang yang berhubungan

dengan alat pengukur gaya.

- Tutup kembali seksi uji terowongan ke posisi semula sehingga merapat agar tidak terjadi kebocoran angin yang akan dihisap oleh kipas/*blower*.
- Atur alat pengukur dengan melakukan proses *Zeroing*.
- Menentukan sudut serang. Dalam percobaan ini digunakan sudut serang 0° sampai dengan 30°
- Nyalakan kipas penghisap dan putar potensio meter secara perlahan-lahan sampai fluida pada manometer menunjukkan angka kecepatan yang telah ditentukan, yaitu 8 m/s, 10 m/s, 12 m/s, 14 m/s dan 16 m/s.
- Mengatur bandul pada mistar timbangan alat ukur gaya hambat dan angkat. Tunggu beberapa saat sehingga benar-benar seimbang. Selanjutnya mencatat besarnya nilai gaya angkat dan gaya hambat.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pelatihan jaringan syaraf tiruan (JST), yang dilanjutkan dengan pengujian dan implementasi jaringan syaraf tiruan.

III. JARINGAN SYARAF TIRUAN BACKPROPAGATION.

Metode jaringan saraf tiruan backpropagation atau yang juga disebut sebagai propagasi berbalik merupakan bagian dari jaringan saraf tiruan yang menggunakan metode pelatihan terbimbing (*supervised learning*) yang memasukkan target keluaran dalam data untuk memproses pelatihan dari jaringan saraf tiruan tersebut didesain untuk operasi pada jaringan saraf tiruan *feed forward* lapis jamak (*multi-layer*). Jenis jaringan saraf tiruan ini banyak diaplikasikan karena pada proses pelatihannya didasarkan pada interkoneksi. Artinya apabila keluaran dari program jaringan saraf tiruan salah maka penimbang (*weight*) akan mengoreksi dengan memberikan nilai yang baru agar kesalahannya dapat direduksi, sehingga didapatkan nilai yang mendekati hasil akhir yang diharapkan.

Pada metode ini disebut sebagai *backpropagation* atau propagasi terbalik karena saat jaringan saraf tiruan diberikan nilai inputan maka nilai tersebut akan diteruskan menuju lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan selanjutnya akan diteruskan pada unit lapis keluaran. Saat hasil dari unit keluaran tidak sama dengan hasil yang diharapkan maka akan terjadi proses *backpropagation* atau data dari unit keluaran tersebut disebarkan mundur untuk menuju lapisan tersembunyi dan diteruskan sampai pada unit lapis masukan. Proses pergerakan maju dan mundur tersebut yang dinamakan sebagai *backpropagation*. Pada jaringan saraf tiruan terdapat dua fase yaitu yang pertama adalah fase pelatihan yang akan mengumpulkan semua data penimbang yang bersesuaian, dan fase kedua adalah fase pengujian atau disebut juga sebagai fase *testing*.

Algoritma pelatihan jaringan syaraf tiruan backpropagation sebagai berikut:

- Tahapan 0 : Pemberian inisialisasi penimbang. Sebaiknya pada tahap ini bobot dari penimbang diberi nilai kecil secara acak.

- Tahapan 1 : Menjalankan semua tahapan dari tahapan ke 2 sampai dengan tahapan ke 9 hingga kondisi iterasi terpenuhi.
- Tahapan 2 : Setiap data pelatihan melakukan langkah 3 sampai dengan langkah 8.
- Tahapan 3 : Untuk setiap unit masukan ($X_i = 1, \dots, n$) menerima sinyal masukan dan diberi notasi X_i kemudian dikirimkan ke unit berikutnya yaitu unit lapis tersembunyi.
- Tahapan 4 : Pada masing-masing unit tersembunyi, input X_i dikalikan dengan penimbang dan dijumlahkan serta di tambah dengan biasnya.

$$Z_{in_j} = V_{oj} + \sum_{i=1}^n X_i V_{ij} \quad (1)$$

Kemudian melakukan fungsi pengaktifan menggunakan:

$$Z_j = f(z_{in_j}) \quad (2)$$

Dalam bentuk sigmoid fungsi pengaktifannya menjadi:

$$Z_j = \frac{1}{1 + \exp(-z_{in_j})} \quad (3)$$

Setelah melewati tahap pengaktifan maka keluarannya dikirim ke semua unit keluaran.

- Tahapan 5 : Untuk setiap unit keluaran ($y_k, k=1,2,\dots,m$), unit Z_j dikalikan dengan penimbang dan dijumlahkan serta ditambahkan dengan biasnya:

$$Y_{in_k} = W_{ok} + \sum_{j=1}^p Z_j W_{jk} \quad (4)$$

Kemudian dilakukan fungsi pengaktifan:

$$Y_k = f(y_{in_k}) \quad (5)$$

Dalam fungsi sigmoid menjadi :

$$Y_k = \frac{1}{1 + \exp(-y_{in_k})} \quad (6)$$

- Tahapan 6 : Pada setiap unit keluaran berupa y_k mendapatkan pola target seperti pola masukan saat pelatihan dan dihitung galatnya:

$$\delta_k = (t_k - Y_k) f'(Y_{in_k}) \quad (7)$$

Karena menggunakan sigmoid maka digunakan:

$$f'(Y_{in_k}) = Y_k(1 - Y_k) \quad (8)$$

Menghitung perbaikan penimbang :

$$\Delta W_{jk} = \alpha \delta_k Z_j \quad (9)$$

Menghitung perbaikan koreksi :

$$\Delta W_{ok} = \alpha \delta_k \quad (10)$$

- Tahapan 7 : Masing-masing penimbang yang menghubungkan unit lapis keluaran dengan unit lapis tersembunyi dikalikan dengan δ_k dan dijumlahkan sebagai unit lapis berikutnya

$$\delta_{in_k} = \sum_{k=1}^m \delta_k W_{jk} \quad (11)$$

Tahap selanjutnya adalah dikalikan dengan turunan fungsi pengaktif galat.

$$\delta_j = \delta_{in_j} f'(z_{in_j}) \quad (12)$$

Tahap berikutnya adalah perbaikan penimbang

$$\Delta V_{ij} = \alpha \delta_j X_i \quad (13)$$

Kemudian menghitung perbaikan bias

$$\Delta V_{oj} = \alpha \delta_j \quad (14)$$

- Tahapan 8 : Untuk unit keluaran y_k diperbaiki bias dan penimbangnya

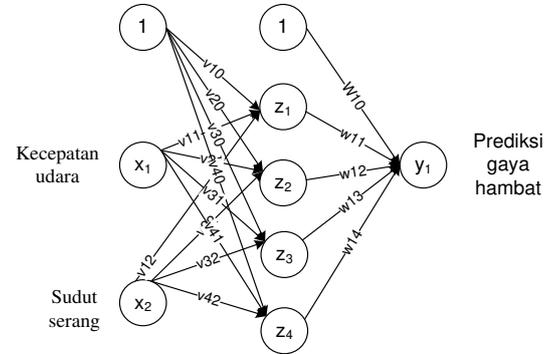
$$W_{jk}(\text{baru}) = W_{jk}(\text{lama}) + \Delta W_{jk} \quad (15)$$

Untuk unit tersembunyi juga diperbaiki bias penimbangnya

$$V_{jk}(\text{baru}) = V_{jk}(\text{lama}) + \Delta V_{jk} \quad (16)$$

- Tahapan 9 : Iterasi berakhir

Struktur jaringan pada penelitian ini disusun dengan menggunakan 2 buah masukan, 4 lapisan tersembunyi dan 1 keluaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 3. Arsitektur jaringan

IV. HASIL PENGUJIAN

Pada proses pengambilan data latih dan data uji diperoleh 155 data eksperimen yang dibagi menjadi 120 data untuk data latih dan 35 data untuk data uji pada proses simulasi. Kemudian disiapkan 6 buah data masukan berupa sudut serang (elevasi) dan kecepatan udara yang diambil dari buku tabel tembak sebagai data yang akan diprediksi. Data latih yang diperoleh kemudian digunakan untuk melatih JST. JST dengan 2 masukan memiliki masukan dari kecepatan udara dan sudut serang. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui bobot jaringan dan performa jaringan yang dibuat.

Learning rate pada simulasi JST yang digunakan adalah 0.01. Jumlah *epoch* dibatasi sebanyak 2000 epoch. Target performa yang digunakan adalah *Mean Square Error* (MSE) sebesar 0,0001.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa sampai dengan epoch ke 2000 performa yang dihasilkan dari hasil simulasi adalah 0.0004033, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 4. Grafik Hasil Simulasi JST

Setelah diperoleh bobot akhir jaringan seperti yang ditunjukkan pada Tabel I, JST kemudian diuji dengan data uji. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui

apakah JST dapat mengenali data yang bukan merupakan data latih. Dari hasil pengujian JST, nilai MSE yang diperoleh adalah 0.0011719. Nilai ini mendekati nilai MSE 1 pelatihan yaitu 0.00040343.

TABEL I
BOBOT AKHIR JARINGAN HASIL PELATIHAN JST

Var	Nilai	Var	Nilai	Var	Nilai	Var	Nilai
V10	-28.0564	V11	0.6863	V12	0.9327	w10	2.4484
V20	274.1838	V12	-5.9652	V22	-17.3129	w11	0.7953
V30	4.6036	V13	-0.1000	V32	-0.1461	w12	-0.0099
V40	-2.4495	V14	0.0521	V42	0.2111	W13	-1.5360
						W14	0.0838

Proses berikutnya adalah menguji program dengan bobot terakhir untuk memprediksi dengan sudut serang yang ada pada buku tabel tembak dengan kecepatan udara 16 m/s.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN KEMAMPUAN PREDIKSI

No	Sudut Serang (°)	Kecepatan Udara (m/s)	Hasil Prediksi Gaya Hambat (N)
1	29	16	0.9625
2	27	16	0.9575
3	23	16	0.9272
4	22	16	0.9131
5	18	16	0.8112
6	13	16	0.5607

Setelah data hasil prediksi gaya hambat didapat, seperti yang ditunjukkan pada Tabel II, selanjutnya data tersebut digunakan untuk mencari nilai koefisien hambat dengan gaya hambat (D) dari hasil prediksi, kecepatan udara (v) 16 m/s, rapat jenis udara (ρ) 1,2 kg/m³ [4], dan massa granat mortir seperti yang ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III
KARAKTERISTIK MORTIR 60 MM

No.	Data Karakteristik	Batasan
1	Kaliber	60 mm
2	Berat Senjata Lengkap	5,7 kg
3	Panjang Mortir Lengkap	553 mm
4	Jarak Capai Minimum	100 m
	Jarak Capai Maksimum	800 m
5	Kecepatan Awal	57-94,4 m/s
6	Berat Granat	1,8 kg
7	Jumlah Isian Granat	0 dan 1
8	Jarak Capai Isian 0	100 – 300 m
	Jarak Capai Isian 1	250 – 800 m
9	Panjang Granat	300 mm

Koefisien hambat yang dihasilkan pada Tabel IV, selanjutnya dimasukkan ke dalam rumus perhitungan untuk mendapatkan jarak capai mortir.

Perhitungan jarak capai mortir dihitung mulai dengan luasan permukaan (A), kecepatan awal dalam arah horizontal (v_{0x}), kecepatan awal dalam arah vertikal (v_{0y}), kecepatan terminal (v_t), waktu tempuh mencapai

tinggi maksimum (t_{y_{max}}), tinggi maksimum (y_{max}), jarak horisontal pada tinggi maksimum (x_{y_{max}}), kecepatan vertikal (v_y), waktu tempuh kembali ke permukaan (t_{max}) dan jarak horisontal kembali ke permukaan (x_{max}).

TABEL IV
HASIL PENGUJIAN KEMAMPUAN PREDIKSI

No	Sudut Serang (°)	Kecepatan Udara (m/s)	Hasil Prediksi Gaya Hambat (N)	Koefisien Gaya Hambat
1	29	16	0.9625	2.061710
2	27	16	0.9575	2.050961
3	23	16	0.9272	1.985989
4	22	16	0.9131	1.955735
5	18	16	0.8112	1.737449
6	13	16	0.5607	1.201053

- Luasan permukaan (A).

$$A = \pi d^2 / 4 \quad (17)$$

- Kecepatan awal dalam arah horisontal (v_{0x}).

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta \quad (18)$$

- Kecepatan awal dalam arah horisontal (v_{0y}).

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta \quad (19)$$

- Kecepatan terminal (v_t).

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{c_d \rho A}} \quad (20)$$

- Waktu tempuh mencapai tinggi maksimum (t_{y_{max}}).

$$t_{y_{max}} = \frac{v_t}{g} \tan^{-1} \frac{v_{0y}}{v_t} \quad (21)$$

- Tinggi maksimum (y_{max})

$$y_{max} = \frac{v_t^2}{2g} \ln \left(\frac{v_t^2 + v_{0y}^2}{v_t^2} \right) + y_0 \quad (22)$$

- Jarak horisontal pada tinggi maksimum (x_{y_{max}})

$$x_{y_{max}} = \frac{v_t^2}{g} \ln \left(\frac{v_t^2 + v_{0x} g t_{y_{max}}}{v_t^2} \right) \quad (23)$$

- Kecepatan vertikal (v_y)

$$v_y = \sqrt{e^{\frac{2gy_0}{v_t^2}} (v_t^2 + v_{0y}^2) - v_t^2} \quad (24)$$

- Waktu tempuh kembali ke permukaan (t_{max})

$$t_{max} = \frac{v_t}{g} \tan^{-1} \frac{v_t(v_{0y} - v_y)}{v_{0y}v_y + v_t^2} \quad (25)$$

- Jarak horisontal kembali ke permukaan (x_{max})

$$x_{max} = \frac{v_t^2}{g} \ln \left(\frac{v_t^2 + v_{0x} g t_{max}}{v_t^2} \right) \quad (26)$$

Jarak tembak dapat dihitung dengan memberikan kecepatan awal (v₀) sebesar 57 m/s, dan sudut serang serta koefisien hambat sesuai pada Tabel IV, maka hasil yang didapat ditunjukkan pada Tabel V.

TABEL V
PREDIKSI JARAK CAPAI MORTIR

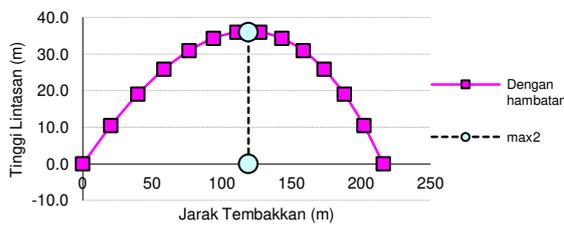
Elevasi (°)	Kecepatan Awal (M/S)	Jarak Prediksi (M)
29	57	216
27	57	209
23	57	192
22	57	188
18	57	166
13	57	133

Untuk mendapatkan gambaran tentang bentuk lintasan peluru maka jarak tembakan dibagi menjadi empat belas titik pada lintasan, sehingga untuk sudut serang 29° dan gaya hambat hasil prediksi 0.9625 N didapatkan waktu, jarak horisontal, kecepatan vertikal

dan tinggi lintasan setiap titiknya yang ditunjukkan pada Tabel VI dan Gambar 5.

TABEL VI
DATA LINTASAN PADA GAYA HAMBAT 0.9625 N SUDUT 29°

No	t	x	vy	y
1	0	0	27.6	0.0
2	0.41285	20.19957	23.03497	10.4
3	0.8257	39.63616	18.63578	19.0
4	1.238551	58.36531	14.36632	25.9
5	1.651401	76.43672	10.19425	30.9
6	2.064251	93.89503	6.089938	34.3
7	2.477101	110.7805	2.025579	36.0
8	2.889952	127.1294	-2.02558	36.0
9	3.302802	142.975	-6.08994	34.3
10	3.715652	158.3472	-10.19425	30.9
11	4.128502	173.2735	-14.36632	25.9
12	4.541352	187.7791	-18.63578	19.0
13	4.954203	201.887	-23.035	10.4
14	5.367053	216	-27.6	0.0

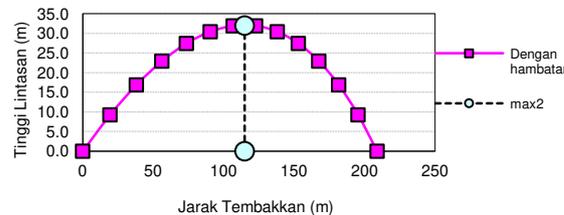


Gambar 5. Lintasan pada gaya hambat 0.9625 N sudut 29°

Pada sudut serang 27° dan gaya hambat hasil prediksi 0.9575 N didapatkan waktu, jarak horisontal, kecepatan vertikal dan tinggi lintasan setiap titiknya yang ditunjukkan pada Tabel VII dan Gambar 6.

TABEL VII
DATA LINTASAN PADA GAYA HAMBAT 0.9575 N SUDUT 27°

No	t	x	vy	y
1	0	0	25.9	0.0
2	0.389581	19.42154	21.65184	9.3
3	0.779161	38.14026	17.54011	16.9
4	1.168742	56.20527	13.5357	22.9
5	1.558323	73.66069	9.612169	27.4
6	1.947903	90.54632	5.745086	30.4
7	2.337484	106.8982	1.911352	31.9
8	2.727065	122.749	-1.91135	31.9
9	3.116645	138.1285	-5.74509	30.4
10	3.506226	153.0641	-9.61217	27.4
11	3.895807	167.5805	-13.5357	22.9
12	4.285387	181.7006	-17.5401	16.9
13	4.674968	195.4456	-21.6518	9.3
14	5.064549	209	-25.9	0.0



Gambar 6. Lintasan pada gaya hambat 0.9575 N sudut 27°

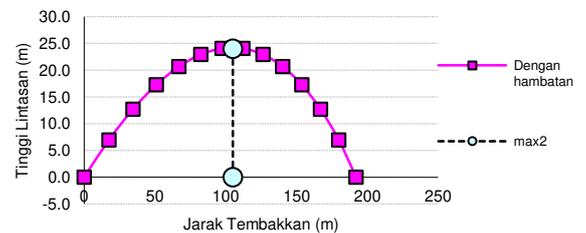
Pada sudut serang 23° dan gaya hambat hasil prediksi 0.9272 N didapatkan waktu, jarak horisontal, kecepatan vertikal dan tinggi lintasan setiap titiknya yang ditunjukkan pada Tabel VIII dan Gambar 7.

Pada sudut serang 22° dan gaya hambat hasil prediksi 0.9131 N didapatkan waktu, jarak horisontal, kecepatan

vertikal dan tinggi lintasan setiap titiknya yang ditunjukkan pada Tabel IX dan Gambar 8.

TABEL VIII
DATA LINTASAN PADA GAYA HAMBAT 0.9272 N SUDUT 23°

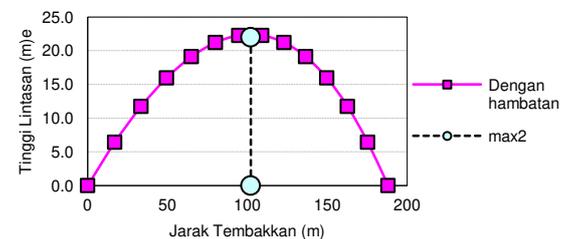
No	t	x	vy	y
1	0	0	22.3	0.0
2	0.339251	17.52022	18.70455	7.0
3	0.678501	34.48409	15.19357	12.7
4	1.017752	50.92585	11.74974	17.3
5	1.357003	66.87669	8.356949	20.7
6	1.696253	82.36508	5.000001	22.9
7	2.035504	97.41708	1.664318	24.1
8	2.374755	112.0566	-1.66432	24.1
9	2.714006	126.3056	-5	22.9
10	3.053256	140.1845	-8.35695	20.7
11	3.392507	153.712	-11.7497	17.3
12	3.731758	166.9053	-15.1936	12.7
13	4.071008	179.7807	-18.7046	7.0
14	4.410259	192	-22.3	0.0



Gambar 7. Lintasan pada gaya hambat 0.9272 N sudut 23°

TABEL IX
DATA LINTASAN PADA GAYA HAMBAT 0.9131 N SUDUT 22°

No	t	x	vy	y
1	0	0	21.4	0.0
2	0.32645	16.96839	17.964	6.4
3	0.652899	33.42212	14.60154	11.7
4	0.979349	49.39149	11.29768	16.0
5	1.305798	64.90421	8.038473	19.1
6	1.632248	79.98567	4.81066	21.2
7	1.958697	94.6592	1.601492	22.3
8	2.285147	108.9463	-1.60149	22.3
9	2.611597	122.8668	-4.81066	21.2
10	2.938046	136.439	-8.03847	19.1
11	3.264496	149.6799	-11.2977	16.0
12	3.590945	162.6054	-14.6015	11.7
13	3.917395	175.2301	-17.964	6.4
14	4.243844	188	-21.4	0.0



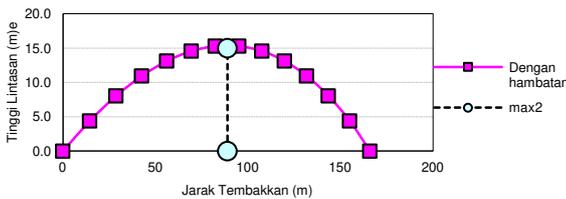
Gambar 8. Lintasan pada gaya hambat 0.9131 N sudut 22°

Pada sudut serang 18° dan gaya hambat hasil prediksi 0.8112 N didapatkan waktu, jarak horisontal, kecepatan vertikal dan tinggi lintasan setiap titiknya yang ditunjukkan pada Tabel X dan Gambar 9.

Pada sudut serang 13° dan gaya hambat hasil prediksi 0.5607 N didapatkan waktu, jarak horisontal, kecepatan vertikal dan tinggi lintasan setiap titiknya yang ditunjukkan pada Tabel XI dan Gambar 10.

TABEL X
DATA LINTASAN PADA GAYA HAMBAT 0.8112 N SUDUT 18°

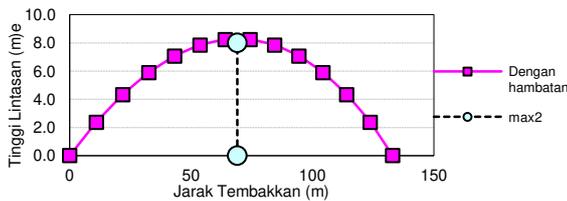
No	t	x	vy	y
1	0	0	17.6	0.0
2	0.271399	14.53544	14.82056	4.4
3	0.542797	28.73294	12.07751	8.0
4	0.814196	42.60785	9.363758	11.0
5	1.085595	56.17452	6.672508	13.1
6	1.356993	69.44633	3.997179	14.6
7	1.628392	82.43583	1.331342	15.3
8	1.899791	95.15478	-1.33134	15.3
9	2.171189	107.6142	-3.99718	14.6
10	2.442588	119.8246	-6.67251	13.1
11	2.713987	131.7955	-9.36376	11.0
12	2.985385	143.5363	-12.0775	8.0
13	3.256784	155.0556	-14.8206	4.4
14	3.528183	166	-17.6	0.0



Gambar 9. Lintasan pada gaya hambat 0.8112 N sudut 18°

TABEL XI
DATA LINTASAN PADA GAYA HAMBAT 0.5607 N SUDUT 13°

No	t	x	vy	y
1	0	0	12.8	0.0
2	0.199486	11.00268	10.8115	2.4
3	0.398972	21.87002	8.832682	4.3
4	0.598459	32.60529	6.861746	5.9
5	0.797945	43.21167	4.896909	7.1
6	0.997431	53.69222	2.936413	7.8
7	1.196917	64.04989	0.978516	8.2
8	1.396404	74.28753	-0.97852	8.2
9	1.59589	84.40788	-2.93641	7.8
10	1.795376	94.41361	-4.89691	7.1
11	1.994862	104.3073	-6.86175	5.9
12	2.194349	114.0914	-8.83268	4.3
13	2.393835	123.7683	-10.8115	2.4
14	2.593321	133	-12.8	0.0



Gambar 9. Lintasan pada gaya hambat 0.5607 N sudut 13°

V. ANALISIS.

Setelah dilakukan pengujian sistem dan didapatkan hasil prediksi jarak capai mortir, selanjutnya data tersebut dibandingkan dengan data dari buku tabel tembak, seperti ditunjukkan pada Tabel XII.

TABEL XII
PERBANDINGAN JARAK CAPAI MORTIR

Elevasi (°)	Kecepatan	JarakTabel	Jarak
	Awal (M/S)	Tembak [1] (M)	Prediksi (M)
29	57	260	216
27	57	250	209
23	57	240	192
22	57	220	188
18	57	190	166
13	57	130	133

Dari hasil perbandingan yang didapatkan kesalahan rata-rata adalah 13.8013 % dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$rata - rata\ kesalahan = \sum \left(\frac{prediksi - tabel}{tabel} \right) 100\% \quad (27)$$

VI. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa: Model jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk memprediksi gaya hambat dengan baik dan penerapan hasil prediksi dapat digunakan untuk menentukan jarak capai mortir meskipun masih belum setepat seperti pada buku tabel tembak dengan rata-rata kesalahan 13.8013 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keputusan Danpussenif Kodiklat TNI AD Nomor Kep/11/VII/2011. *Hanjar MO 60 mm Susbasenban Yonif.*
- [2] Siang, Jong Jek. 2004. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan MATLAB.* Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [3] Jorge Colman Lerner, 2011. *Wind Tunnels and Experimental Fluid Dynamics Research.* Publisher In Tech.
- [4] White, Frank. M., 1986, *Mekanika Fluida Jilid* , Erlangga, Jakarta.