

**IMPLEMENTESI ALGORITMA GRAMMATICAL EVOLUTION  
MENGUNAKAN STEADY STATE UNTUK PREDIKSI KETINGGIAN  
GELOMBANG LAUT**

**Bondan Chorisma**

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Maritim Raja Ali Haji

Email : bondanchorisma.umrah@gmail.com

**Nerfita Nikentari, S.T, M.Cs**

Dosen Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Maritim Raja Ali Haji

Email : private.niken@gmail.com

**Muhamad Radzi Rathomi, S.Kom, M.Cs**

Dosen Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik Universitas Maritim Raja Ali Haji

Email : razietom@gmail.com

**ABSTRAK**

Kepulauan Riau memiliki pulau-pulau kecil diantaranya ialah pulau Bintan. Mayoritas penduduk di Pulau Bintan bermata pencaharian sebagai nelayan, selain itu kegiatan perairannya juga sebagai sarana transportasi untuk menyebrangi pulau-pulau disekitarnya termasuk juga Negara yang berbatasan langsung dengan pulau Bintan yaitu Malaysia dan Singapura. Kondisi cuaca faktor terpenting yang sangat mempengaruhi kelancaran dalam kegiatan di perairan salah satunya adalah ketinggian gelombang air laut. Ketinggian gelombang dapat di prediksi berdasarkan data masa lampau yang telah didapatkan yang nantinya dijadikan sebagai pola untuk menentukan ketinggian gelombang dimasa yang akan datang. Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan dengan memanfaatkan dua metode seleksi survivor didapatkan persentase rata-rata kesalahan metode *steady state* sebesar 4,243% sedangkan *generational replacement* sebesar 4,897%. Dengan kombinasi pada metode *steady state* jumlah generasi 30, ukuran populasi 100, Probabilitas crossover (Pc) 0,8 Probabilitas mutasi (Pm) 0,2 sedangkan metode *generational replacement* jumlah generasi 50, ukuran populasi 100, Probabilitas crossover (Pc) 0,7 Probabilitas mutasi (Pm) 0,2.

**Kata Kunci** : Prediksi, Probabilitas, Crossover, Mutasi, Steady State, Generational Replacement.

## ABSTRACT

Riau islands have small islands of which is the Bintan island. The majority of people in Bintan island fishermen, addition to his activities in sea as means of transport to cross the nearby islands including the state directly neighbor to Bintan island specifically Malaysia and Singapore. The weather conditions were very important factors influencing the smooth running of activities at sea one of them is the height of sea waves. The wave height can be predicted based on the data time series that have been obtained which will serve as a pattern to determine the height of a wave of the future. Based on the results of observations made by using two methods of survivor selection obtained the average percentage error steady state method of 4.243% while the generational replacement of 4,897%. The combination with the methods of steady state with 30 generations, the population size of 100, crossover probability (Pc) 0.8, Probability of mutation (Pm) 0.2, whereas the method of generational replacement using 50 generations, the population size of 100, crossover probability (Pc) 0.7 The probability of mutation (Pm) 0.2.

**Keywords** : Prediction, Probability, Crossover, Mutation, Steady State, Generational Replacement.

## I. PENDAHULUAN

Kepulauan Riau dikenal dengan luasnya perairan dibandingkan dengan daratan. Kepulauan Riau sendiri berbatasan langsung beberapa negara seperti Malaysia dan Singapura. Salah satu pulau yang ada di Kepulauan Riau ialah pulau Bintan. Seperti yang diketahui wilayah Kepulauan Riau yang memiliki persentase luas daratan yang lebih kecil dari wilayah perairannya, yaitu kurang dari 5% dari jumlah seluruh luas wilayahnya. Dengan demikian sudah sepatutnya wilayah perairan dari Kepulauan Riau menjadi perhatian utama pihak-pihak terkait. Beberapa kegiatan yang sangat banyak dilakukan didaerah ini seperti sebagai jalur transportasi juga sebagai tempat mata pencaharian masyarakat sekitar. Kondisi cuaca akan sangat berpengaruh pada produktifitas masyarakat. Kondisi cuaca yang sangat mempengaruhi salah satunya adalah ketinggian gelombang air laut.

Pada penelitian ini penulis mengusulkan algoritma *Grammatical Evolution* (GE) yang merupakan pengadopsian “evolusi” dan “genetika”

sederhana ke dalam dunia komputer dan merupakan salah satu bagian algoritma *Evolutionary Algorithms* (EAs). Pemilihan algoritma ini dikarenakan *grammatical evolution* memiliki tingkat adaptif yang baik, sehingga memberikan sebuah pola model prediksi (Annisa, 2015).

Terdapat dua metode seleksi survivor yang akan digunakan pada algoritma *Grammatical Evolution*, yaitu *generational replacement* dan *steady state*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Grammatical evolution

*Grammatical Evolution* (GE) merupakan salah satu dari *learning algorithm* yang digunakan dalam membangkitkan suatu aturan. GE sendiri mampu menghasilkan sebuah solusi untuk memprediksi sebuah model pola yang bersifat non-linier dengan lebih tepat berbasis grammar. *Grammatical Evolution* (GE) adalah suatu bentuk pemrograman genetik yang memanfaatkan algoritma evolusioner untuk mengubah kode yang ditulis dalam bahasa apapun, asalkan tata bahasa untuk bahasa dapat dinyatakan

dalam notasi Backus Naur Form (BNF). (Rosyid dkk, 2010).

Berikut ini operator dalam grammatical evolution

a. *Duplicate*

Duplikasi gen dilakukan dengan cara membuat salinan dari suatu gen, dan dapat digunakan berulang kali.

b. Pruning

Dalam algoritma GE disebut pemangkasan gen, tidak semua gen dalam sebuah kromosom digunakan.

**B. Means Absolute Percentage Kesalahan**

*Mean Absolute Percentage Kesalahan* (MAPE) adalah persentase kesalahan yang didapat dari selisih antara data hasil peramalan dan data sebenarnya.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|X_t - F_t|}{X_t}}{n} \times 100\%$$

**C. Jenis Tata Bahasa**

Dasar-dasar studi formal tata bahasa yang ditetapkan pada tahun 1956 dan 1957 oleh Noam Chomsky (1957) dalam Brabazon (2015) menyatakan ada empat jenis tata bahasa yang didefinisikan dalam taksonomi, berdasarkan asumsi yang berbeda-beda pada sifat dari aturan produksi, yaitu *free grammar* (FG), *context-sensitive grammars* (CSG), *context-free grammars* (CFG), *regular grammars* (RG). Tata bahasa yang digunakan dalam algoritma GE adalah BNF, yang merupakan cara lain untuk mewakili hal-hal yang ditampilkan dalam CFG.

**a. Backus Naur Form (BNF)**

*Backus Naur Form* (BNF) adalah notasi yang menginterpretasikan individu menjadi sebuah aturan atau fungsi tertentu. BNF merupakan penotasian dari sebuah grammar, dimana sebuah grammar terdiri dari tuple {N, T, S, P}. Dimana N adalah simbol untuk non-terminal, T untuk

terminal, S untuk start/mulai sedangkan P untuk *production-rules* (Annisa, 2015).

Selain itu BNF adalah cara lain untuk mengekspresikan tata bahasa dari bahasa; sebenarnya BNF adalah bahasa untuk dirinya sendiri sehingga dianggap sebagai meta-bahasa untuk representasi dari bahasa lain. BNF memformalisasikan dan menyederhanakan ekspresi sintaksis dan karena itu sebagian besar tidak ambigu (Stankovic, 2011).

Tata bahasa (*grammar*) pada BNF dapat berupa terminal dan non-terminal sebagai berikut (Suyanto, 2008):

1. Terminal-terminal, berupa item atau operator yang dapat muncul dalam bahasa akhir (*final language*).

T:={Sin, Cos, Tan, Log, +, -, /, \*, (, )}

2. Non-terminal, dapat dikembangkan ke dalam satu atau lebih terminal dan non-terminal.

N:={*expr, op, pre\_op*}

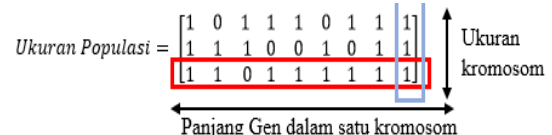
**D. Proses Grammatical Evolution**

Pada algoritma *grammatical evolution* memiliki persamaan dalam proses evolusinya dengan beberapa algoritma yang mengimplementasikan *Evolutionary Computation* (EC), seperti algoritma genetika dan sebagainya.

Berikut ini adalah tahapan proses pengerjaan algoritma *Grammatical Evolution*:

a. Inisialisasi populasi

Stankovic (2011) menyebutkan populasi secara umum dapat dipahami sebagai sekumpulan objek yang terbatas atau tak terbatas yang bisa dihitung.



**Gambar 1.** Inisialisasi populasi

b. Dekode kromosom

Dekode kromosom adalah proses yang dilakukan setelah proses inisialisasi populasi, dekode kromosom digunakan untuk mengubah tiap kromosom dalam sebuah generasi menjadi sebuah aturan

dengan cara menggunakan *production rules* yang terdapat pada BNF (Suyanto, 2008).

c. Evaluasi individu

Evaluasi individu dilakukan hanya apabila suatu kromosom sudah menghasilkan sebuah fungsi yang didapat dari proses dekode kromosom, tiap hasil fungsi yang didapat akan dicari selisih antara data sebenarnya dan data hasil prediksi yang akan digunakan untuk mencari nilai fitness (Annisa, 2015). Tiap fitness yang dihasilkan akan mengungkapkan bagaimana tiap individu menyelesaikan masalah yang didapat.

d. Terminasi

Proses terminasi akan terjadi jika proses evolusi telah mendapatkan hasil akhir, yaitu menemukan kromosom dengan *fitness* terbaik dari satu generasi. Jika belum mencapai generasi terakhir, maka akan dilakukan tahapan selanjutnya (Agusta, 2016).

e. Elitisme

Elitisme berfungsi untuk menyalin kromosom yang dengan nilai *fitness* tertinggi dari setiap populasi secara sementara. Hal ini dilakukan agar anggota terbaik dari suatu populasi pada saat ini untuk menjamin bahwa individu terbaik tidak hilang dari tiap generasi (Annisa, 2015).

f. Seleksi orang tua

Proses pemilihan kromosom sebagai orang tua. Salah satu metode seleksi orangtua ialah *roulette wheel*. Pemilihan orang tua dilakukan dengan membangkitkan nilai acak antara 0 dan 1. Jika nilai acak lebih kecil dibanding nilai kromosom, maka kromosom tersebut yang dipilih sebagai induk. Putar roulette wheel sebanyak jumlah populasi (Muliadi, 2007).

g. Crossover

Proses persilangan yang dilakukan pada dua kromosom untuk menghasilkan sebuah kromosom baru yang dilakukan pada dua kromosom untuk menghasilkan kromosom anak (*offspring*). Proses perkawinan silang

ini dipengaruhi oleh probabilitas perkawinan silang ( $P_c$ ).

h. Mutasi

Mutasi merupakan proses untuk mengubah satu atau lebih gen dalam satu kromosom, berdasarkan probabilitas mutasi ( $P_m$ ). Proses mutasi ini bertujuan untuk mengubah isi suatu gen dalam kromosom. Gen yang terpilih akan dimutasi, mutasi yang dilakukan adalah dengan cara mengganti nilai pada gen yang terpilih dengan nilai acak dengan rentang [1,255].

i. Seleksi survivor

Seleksi survivor merupakan proses penggantian kromosom untuk generasi selanjutnya, terdapat dua metode seleksi survivor yaitu (Suyanto, 2008):

1. *Generational Replacement* pada *Generational Replacement*, seluruh kromosom baru hasil tahap *CrossOver* dan mutasi menggantikan seluruh kromosom lama tanpa memperhatikan usia dan nilai *fitness*-nya (Suyanto, 2008).
2. *Steady State*. Pada metode ini tidak semua kromosom diganti, hanya dilakukan pada sejumlah kromosom yang memiliki nilai *fitness* terburuk dengan cara membandingkan diantara kromosom lama dari proses evaluasi individu dengan kromosom baru dari proses mutasi dan dipilih berdasarkan nilai *fitness* tertinggi (Rismala, 2016).

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, yaitu data yang sudah melewati proses pengolahan lebih lanjut.

Pada penelitian ini data yang diperoleh dari BMKG kota Tanjungpinang berupa data grafik ketinggian gelombang per hari selama bulan dari tanggal 2 Februari sampai dengan 7 Desember 2015.

#### B. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah metode dokumentasi, yaitu dengan mengumpulkan

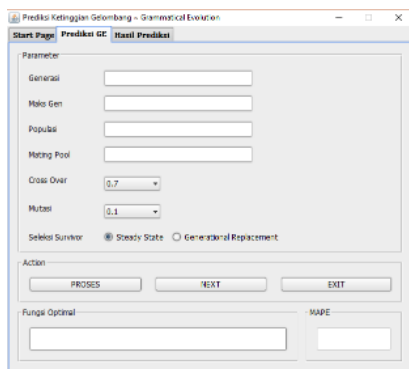
data dan informasi yang didapat dari instansi terkait, dalam hal ini adalah BMKG kota Tanjungpinang.

#### IV. IMPLEMENTASI

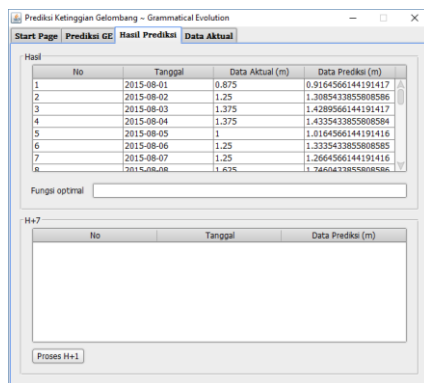
Berikut ini implementasi sistem prediksi ketinggian gelombang berdasarkan perancangan antar muka yang telah dilakukan sebelumnya.



Gambar 2. Implementasi form start



Gambar 3. Implementasi form prediksi GE



Gambar 4. Implementasi form

#### V. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### A. Skenario Pengujian Data

Skenario pengujian yang dilakukan menggunakan dua metode seleksi survivor *generational replacement* dan *study state*. Parameter yang digunakan adalah dengan

panjang maksimal gen 600. Sedangkan populasi yang digunakan adalah 80 dan 100. Berikut penjelasan parameter yang digunakan:

Tabel 1. Skenario pengujian data

No	Parameter Generasi	Parameter Populasi	Probabilitas Crossover	Probabilitas Mutasi
1	30	80	0,7	0,2
2				0,3
3			0,8	0,2
4				0,3
5	30	100	0,7	0,2
6				0,3
7			0,8	0,2
8				0,3
9	50	80	0,7	0,2
10				0,3
11			0,8	0,2
12				0,3
13	50	100	0,7	0,2
14				0,3
15			0,8	0,2
16				0,3

##### B. Hasil dan Analisis Pengujian Data

Pada pengujian ini menggunakan dua metode seleksi survivor yaitu *generational replacement* dan *steady state*. Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan parameter yang sudah ditentukan sebelumnya. Pengujian bertujuan untuk mengetahui selisih nilai antara hasil prediksi dan data aktual menggunakan *mean absolute percentage kesalahan* (MAPE). Berikut adalah hasil observasinya:

Tabel 2. Hasil pengujian steady state

Generasi	Pop	PC	PM	MAPE					
				1	2	3	4	5	
30	80	0,7	0,2	7,852%	4,673%	6,777%	0,995%	3,966%	
			0,3	5,189%	1,557%	4,673%	5,102%	4,616%	
		0,8	0,2	3,962%	3,966%	5,572%	5,723%	3,962%	
	0,3		6,207%	2,585%	3,678%	4,117%	6,013%		
	30	100	0,7	0,2	5,401%	6,277%	13,946%	3,055%	2,112%
				0,3	2,112%	4,873%	4,910%	11,064%	2,196%
0,8			0,2	1,850%	4,882%	1,388%	0,603%	3,135%	
		0,3	2,435%	4,631%	2,514%	3,966%	6,259%		
50		80	0,7	0,2	2,369%	4,172%	11,115%	4,615%	2,196%
				0,3	3,869%	3,971%	2,198%	1,558%	2,112%
	0,8		0,2	4,921%	11,977%	2,197%	3,960%	6,483%	
		0,3	10,871%	2,196%	3,869%	11,015%	4,625%		
	100	0,7	0,2	2,196%	1,648%	3,966%	2,360%	5,941%	
			0,3	2,229%	3,960%	3,961%	5,396%	2,196%	
0,8		0,2	0,905%	4,673%	2,360%	1,271%	3,882%		
	0,3	2,360%	2,359%	4,991%	2,359%	1,347%			

Setelah dilakukan pengujian, kita dapat melihat kombinasi parameter yang memiliki tingkat kesalahan terkecil disetiap metode seleksi survivornya. Pada metode seleksi survivor menggunakan *steady state* performansi terbaik terjadi pada kombinasi generasi sebanyak 30, populasi sebesar 100 dengan probabilitas *crossover* dan mutasi sebesar 0,8 dan 0,2 yaitu dengan kesalahan sebesar 0,603%.

Jika dilihat pada pengujian diatas, penggunaan ukuran populasi yang besar dapat mempengaruhi performansi yang dihasilkan. Penggunaan jumlah populasi yang besar dapat memberikan variasi individu yang dihasilkan, sehingga dapat memberikan solusi yang lebih baik. Selain itu penggunaan jumlah generasi juga mempengaruhi rata-rata kesalahan yang dihasilkan.

**Tabel 3.** Hasil pengujian generational replacement

Generasi	Pop	PC	PM	MAPE				
				1	2	3	4	5
30	80	0,7	0,2	1,376%	2,197%	5,963%	11,622%	4,984%
			0,3	3,966%	3,962%	3,966%	1,610%	5,131%
		0,8	0,2	4,582%	34,648%	2,109%	4,451%	2,758%
			0,3	4,580%	7,920%	3,959%	14,015%	2,109%
	100	0,7	0,2	11,197%	4,627%	2,198%	0,931%	3,165%
			0,3	2,122%	1,215%	3,958%	5,055%	3,428%
		0,8	0,2	7,919%	3,102%	5,189%	5,960%	22,522%
			0,3	2,358%	7,012%	3,00%	2,884%	14,004%
50	80	0,7	0,2	5,332%	5,503%	4,286%	11,097%	4,332%
			0,3	5,599%	3,958%	5,568%	5,185%	3,959%
		0,8	0,2	2,833%	2,197%	1,399%	3,694%	3,961%
			0,3	5,189%	3,965%	4,627%	1,527%	4,640%
	100	0,7	0,2	0,572%	3,052%	5,328%	5,163%	4,910%
			0,3	2,193%	2,196%	2,109%	1,071%	1,055%
		0,8	0,2	4,369%	4,631%	2,443%	0,978%	6,491%
			0,3	4,869%	0,815%	3,961%	6,844%	2,110%

Sedangkan pada seleksi survivor yang menggunakan metode *generational replacement* performansi kesalahan yang dihasilkan sebesar 0,572% yang terdapat pada kombinasi parameter generasi sebanyak 50, jumlah populasi sebesar 100 dengan probabilitas *crossover* dan mutasi sebesar 0,7 dan 0,2.

### C. Hasil Analisa Perbandingan Metode Seleksi Survivor

Setelah dilakukannya pengujian terhadap kedua metode seleksi survivor, selanjutnya akan dilakukan analisa

perbandingan hasil prediksi dari kedua metode untuk mengetahui metode terbaik dalam memprediksi ketinggian gelombang air laut dengan menggunakan hasil analisa yang telah dilakukan sebelumnya baik menggunakan fungsi optimal maupun keseluruhan percobaan pengujian.

Dari hasil kombinasi pengujian yang telah dilakukan dari kedua metode seleksi survivor, maka akan dilakukan perhitungan rata-rata kesalahan seluruh kombinasi pengujian dari tiap metode seleksi survivor. Berikut adalah hasil yang didapat :

**Tabel 4.** Rata-Rata Kesalahan Metode Seleksi Survivor

No	Metode Seleksi Survivor	Rata-rata error
1	<i>Generational Replacement</i>	4,897%
2	<i>Steady State</i>	4,243%

Dari observasi yang telah dilakukan, maka didapatkan dua fungsi terbaik dari masing-masing metode seleksi survivor:

**Tabel 5.** Hasil fungsi optimal

No	Seleksi Survivor	Generasi	Populasi	Pc	Pm	Fungsi Optimal
1.	Generational Replacement	50	100	07	02	$(0.9 * x1) + (0.5 * (0.3 * x1) * (0.6 + (0.3 * x4) * y5))$
2.	Steady State	30	100	08	02	$(1.1 * x1) * (0.9 + (0.1 * x4) * (1.1 * y3))$

Dapat dilihat bahwa metode yang menggunakan *generational replacement* membutuhkan ukuran populasi yang besar dan membutuhkan jumlah generasi yang besar untuk dapat memperbaiki *fitness* individunya. Sedangkan metode yang menggunakan *steady state* membutuhkan jumlah populasi yang besar pula, namun hanya membutuhkan jumlah generasi yang cukup kecil sudah cukup memberikan solusi optimal. Dari fungsi optimal yang didapatkan, maka fungsi tersebut dapat digunakan untuk memprediksi ketinggian gelombang untuk hari berikutnya atau H+1, prediksi yang dilakukan sebanyak 7hari, yaitu pada tanggal 8 desember hingga 14 desember 2015. Berikut hasilnya.

**Tabel 6.** Prediksi H+7 *Steady State* dan *Generational Replacement*

No.	Tanggal	H+1 <i>Steady State</i>	H+1 <i>Generational Replacement</i>	Perbedaan
1.	8 Desember 2015	1.238134429	1,238336467	0,0002
2.	9 Desember 2015	1.225765015	1,226534398	0,00077
3.	10 Desember 2015	1.214856848	1,214953279	0.000096431
4.	11 Desember 2015	1.221082989	1,203226731	0.017856
5.	12 Desember 2015	1.227165725	1,191657938	0.035508
6.	13 Desember 2015	1.233095091	1,186318601	0.046776
7.	14 Desember 2015	1.238890352	1,180941363	0.057949

## VI. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pengujian data maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

- 1) Dalam kasus prediksi ketinggian gelombang, algoritma *grammatical evolution* memberikan performansi yang baik, sehingga algoritma *grammatical evolution* dapat digunakan untuk memprediksi.
- 2) Berdasarkan hasil analisa pengujian, metode seleksi *survivor* menggunakan *steady state* memberikan hasil yang lebih baik, yaitu memiliki rata-rata keseluruhan pengujian dengan persentase kesalahan lebih kecil dari metode *generational replacement*, dimana metode *steady state* memiliki persentase kesalahan (MAPE) sebesar 4,243% sedangkan *generational replacement* sebesar 4,897%.
- 3) Dari kedua metode seleksi *survivor*, fungsi optimal yang dihasilkan metode *steady state* memberikan performansi yang lebih baik.
- 4) Kombinasi probabilitas *crossover* memberikan *kesalahan* yang cukup signifikan pada setiap metode seleksi *survivor*. Dalam metode *generational replacement* semakin besar nilai probabilitas *crossover* maka akan memberikan hasil kesalahan yang semakin besar, yakni

hingga 1,5% perbedaan *kesalahan* yang didapat. Sebaliknya dalam metode *steady state* memberikan hasil *kesalahan* lebih kecil pada probabilitas *crossover* yang lebih besar.

- 5) Kombinasi probabilitas mutasi pada kedua metode memberikan pola yang sama, yaitu semakin besar nilai mutasi maka nilai *kesalahan* yang didapat akan semakin kecil.

### B. Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

- 1) Penggunaan data training yang lebih *up-to-date*, sehingga hasil prediksi yang dihasilkan lebih bermanfaat.
- 2) Penambahan kuantitas data training yang digunakan agar fungsi yang dihasilkan lebih optimal.
- 3) Penggunaan algoritma pengacakan angka selain *blum blum shub*, sehingga dapat memberikan efisiensi waktu yang lebih baik pada saat melakukan prediksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, Z.P., 2016, *Implementasi Algoritma Weighted Moving Average pada Fuzzy Evolutionary Algorithm (Fuzzy EAs) untuk Peramalan Kalender Masa Tanam Berbasis Curah Hujan*, Skripsi, Universitas Telkom, Bandung.
- Annisa, S., 2015, *Prediksi Curah Hujan Menggunakan Algoritma Grammatical Evolution*, Skripsi, Universitas Telkom, Bandung.
- Brabazon, A., O'Neill, M., & McGarraghy, S, 2015, *Natural computing algorithms*. Berlin: Springer.



- Chatfield, C, 1996, *The Analysis Of Time Series An Introduction Fifth Edition*, Springer US, New York.
- Chen, L., Chiang, P.K., dan Wang, T.S., 2007, A Grammatical Evolution Model for Reservoir Inflow Forecasting, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net), 21 januari 2017.
- Diana, 2015, *Simulasi Dan Prediksi Pasang Surut Air Laut Menggunakan Wavelet-Neural Network (Studi Kasus : Perairan Tarempa)*, Skripsi, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang.
- Eiben, A.E., Smith, J.E., 2003, *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer Berlin Heidelberg, New York.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., Hyndman, R.J., 1998, *Forecasting Methods and Applications*, John Wiley & Sons. Inc, New York.
- Muliadi, 2016, Pemodelan Algoritma Genetika Pada Sistem Penjadwalan Perkuliahan Prodi Ilmu Komputer Universitas Lambung Mangkurat, *Kumpulan Jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*, vol 01, no. 01, Hlm 74, <http://klik.unlam.ac.id/index.php/klik/article/view/8/7>, 21 januari 2017.
- Nhita, F., Adiwijaya., Sheila, S., dan Sekar, K., 2015, Comparative Study of Grammatical Evolution and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System on Rainfall Forecasting in Bandung, *International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT 2015)*, Hlm 6-10, <http://toc.proceedings.com/>, 29 September 2016.
- O'neill, M., Ryan, C., 2003, *Grammatical Evolution: Evolutionary Automatic Programming in an Arbitrary Language*, Kluwer Academic Publisher, New York.
- Pramudyo, A.S., Afriyudi, dan Akbar, M., 2008, Penyelesaian Puzzle Sudoku menggunakan Algoritma Genetik, *Prosiding SNASTI*, <https://www.researchgate.net/publication/283225372>, 15 Januari 2017.
- Rosyid, H.A., Wibowo, A.T., Yulianto, F.A., 2010, *Analisis dan Implementasi Spam Filtering Menggunakan Metode Grammatical Evolution*, Skripsi, Universitas Telkom, Bandung.
- Rismala, R., Sulistyono, M.D., 2016, Penerapan Teknik Klasifikasi Pada Sistem Rekomendasi Menggunakan Algoritma Genetika, *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, vol II, no. 03, Hlm 200, <http://jitter.widyatama.ac.id/index.php/jitter/article/viewFile/151/126>, 20 februari 2017.
- Ryan, C., Collins, J. J., & Neill, M. O., 1998, Grammatical evolution: Evolving programs for an arbitrary language. In *European Conference on Genetic Programming* (pp. 83-96). Springer Berlin Heidelberg.
- Salinas-Hilburg., J.C., 2015, Using Grammatical Evolution Techniques to Model the Dynamic Power Consumption of Enterprise Servers, *Ninth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems*, Hlm 110-117, <https://www.computer.org/web/search>, 1 Oktober 2016.
- Salusu, J., 1996, *Pengambilan Keputusan Stratejik untuk Organisasi Publik dan Non Profit*, Gramedia Widiasarana, Jakarta.



Suyanto, 2008, *Evolutionary Computation Komputasi Berbasis Evolusi dan Genetika*, Informatika, Bandung.

Suyanto, 2008, *Soft Computing Membangun Mesin ber-IQ Tinggi*, Informatika, Bandung.

Stankovic, T., 2011, *Grammatical Evolution of Technical Processes*, Thesis, University Of Zagreb, Zagreb.

Tan, F., Gracianti, G., Susanti., Steven., Lukas, S., 2012, Aplikasi Prediksi Harga Saham Menggunakan Jaringan Syaraf Radial Basis Function Dengan Metode Pembelajaran Hybrid, *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, **vol. 08, no. 02**, hlm 176, [dspace.library.uph.edu:8080](https://dspace.library.uph.edu:8080), 14 februari 2017.

Waruwu, T.S., Telaumbanua, K., 2016, Kombinasi Algoritma OTP Chiper dan Algoritma BBS dalam Pengamanan File, *JSM STMIK Mikroskil*, Hlm 119-126, <https://www.mikroskil.ac.id/ejurnal/index.php>, 2 Oktober 2016.

Wibowo Agung Toto, Widhiantika Bunga A., 2010, Peramalan Harga Dinar di Indonesia Menggunakan Grammatical Evolution, *Konferensi Nasional Sistem dan Informatika*, hlm.45, <https://repository.telkomuniversity.ac.id>, 1 Oktober 2016.

