

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/362761619>

# Estimasi Parameter Hidraulik Akuifer Airtanah Tertekan dengan Algoritma Genetika.

Conference Paper · November 2018

CITATIONS

0

READS

14

3 authors, including:



**Lilik Eko Widodo**

Bandung Institute of Technology

70 PUBLICATIONS 58 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Irwan Iskandar**

Bandung Institute of Technology

67 PUBLICATIONS 216 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



PAAI 2016 [View project](#)



PERHAPI 2014 [View project](#)

# ESTIMASI PARAMETER HIDRAULIK AKUIFER AIRTANAH TERTEKAN DENGAN ALGORITMA GENETIKA

## *Hydraulic Parameter Estimation of Confined Aquifer using Genetic Algorithm*

Achmad Ridho Hartono<sup>1</sup>, Lilik Eko Widodo<sup>2</sup>, Irwan Iskandar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PT Darma Henwa

<sup>2</sup>Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi FTTM-ITB

### ABSTRAK

Pengolahan data pumping test seringkali dilakukan dengan menggunakan *curve fitting*, berupa pencocokan kurva observasi dengan kurva model teoritik. Karena dilakukan secara manual, ketelitian metode ini sangat rawan terhadap kesalahan. Untuk mengurangi kesalahan tersebut pencocokan secara digital dapat dijadikan alternatif, padamana dilakukan minimalisasi perbedaan antara kurva observasi dan kurva digital (model). Dengan cara ini, komputer akan membangkitkan setiap nilai parameter hidraulik yang mungkin menjadi solusi terbaik, sehingga dihasilkan kurva digital terkait yang kemudian dicocokkan dengan kurva observasi. Dengan cara ini, estimasi nilai transmisivitas dan storativitas dapat dipandang sebagai suatu permasalahan optimasi yang dilakukan dengan menggunakan algoritma genetika. Dengan menggunakan algoritma genetika, diperoleh nilai transmisivitas dan storativitas pada suatu sumur uji di Jakarta masing-masing sebesar  $3.922 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{menit}$  dan  $6.941 \times 10^{-5}$ . Terdapat perbedaan antara hasil metode algoritma genetika dengan metode konvensional, yang disebabkan perbedaan akurasi *curve fitting*. Metode algoritma genetika memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, terbukti dengan nilai *least square error* algoritma genetika yang jauh lebih rendah.

*Pumping test data processing is often carried out using curve fitting, in the form of matching observation curve with theoretical model curve. Because it is performed manually, the accuracy of the results of this method is very vulnerable to errors. To reduce these errors, digital matching can be an alternative, when minimizing the difference between the observation curve and the digital curve at each point on both curves. In this way, the computer will generate any value of the hydraulic parameters that may be the best solution, resulting in an associated digital curve which is then matched to the observation curve. In this way, the estimated value of transmissivity and storativity can be viewed as an optimization problem. Optimization is conducted by using genetic algorithm. Using genetic algorithm, the value of transmissivity and storativity in the one of test well in Jakarta were  $3.922 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{min}$  and  $6.941 \times 10^{-5}$ , respectively. There is a difference between the results of genetic algorithm method and conventional method, due to the difference of curve fitting accuracy. Genetic algorithm methods have higher accuracy than conventional methods, as evidenced by the least-square error of genetic algorithm is much lower.*

### PENDAHULUAN (INTRODUCTION)

Informasi tentang karakteristik hidraulik formasi geologi dimana airtanah berada atau bergerak perlu diketahui. Dua parameter hidraulik yang paling sering dicari adalah transmisivitas dan storativitas akuifer. Transmisivitas adalah laju aliran pada suatu unit gradien hidraulik dan melalui suatu unit luas

penampang tertentu. Storativitas merupakan koefisien yang menunjukkan besarnya volume air yang dapat dikeluarkan atau disimpan oleh akuifer setiap unit luas per unit perubahan kedudukan atau tinggi muka airtanah.

Metode yang paling sering digunakan untuk menentukan kedua parameter di atas adalah uji

pemompaan atau *pumping test*, padamana pengolahan datanya didasarkan pada model teoritis yang dibuat berdasarkan informasi geologi dimana uji pemompaan berlangsung. Salah satu metode konvensional yang digunakan dalam pengolahan data uji pemompaan adalah pencocokan kurva (*curve fitting*), yaitu membandingkan kurva observasi dengan kurva model. Salah satu kurva model yang paling dekat dengan kurva observasi selanjutnya dipilih dan dijadikan dasar selanjutnya untuk perhitungan parameter hidraulik. Namun demikian kekurangan metode ini adalah parameter hidraulik yang dihasilkannya sangat tergantung pada ketelitian pengolah data dalam melakukan pencocokan kurva, sehingga rawan terjadi kesalahan.

Untuk mengurangi kesalahan tersebut, pencocokan digital melalui komputasi numerik dapat dijadikan alternatif. Inti dari pencocokan kurva digital adalah perhitungan selisih nilai tiap titik yang identik pada kedua kurva. Dengan cara ini, komputer akan membangkitkan setiap kemungkinan nilai parameter hidraulik kandidat solusi yang menghasilkan kurva model terkait. Selanjutnya kurva observasi dicocokkan dengan kurva model, sehingga diperoleh nilai selisih minimum antara kedua kurva. Dengan cara ini, estimasi nilai transmisivitas dan storativitas dapat dipandang sebagai suatu permasalahan optimasi.

Ada banyak metode yang digunakan dalam menyelesaikan masalah optimasi. Salah satunya adalah metode algoritma genetika yang pertama kali diperkenalkan oleh Holland (1975). Cara kerja metode ini berdasarkan pada proses evolusi makhluk hidup, dimana akan terdapat proses pewarisan sifat, mutasi, seleksi alam, dan rekombinasi, sehingga terpilih individu yang memiliki sifat-sifat yang diinginkan, yang dimaksudkan dapat bertahan hidup pada kondisi alam saat itu. Keluaran dari algoritma genetika ini adalah nilai parameter optimum yang merupakan solusi global.

Paper ini bertujuan membagi pengalaman hasil studi dalam penentuan parameter hidraulik, yaitu transmisivitas dan storativitas yang dihasilkan dari uji pemompaan pada jenis akuifer tertekan dengan menggunakan metode algoritma genetika serta menentukan perbandingan hasil

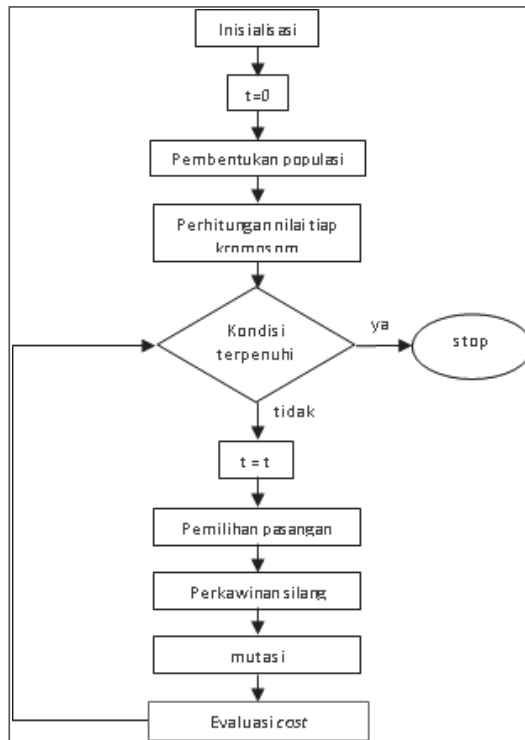
parameter tersebut dengan hasil dari metode kurva konvensional. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam menentukan parameter hidraulik akuifer dari suatu uji pemompaan dan dapat dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

## METODE (METHODS)

Metode studi dimulai dengan studi literatur mengenai *pumping test*, analisis data hasil *pumping test* dengan menggunakan metode kurva, serta algoritma genetika dengan basis bahasa pemrograman MATLAB (2013). Kemudian dilakukan analisis terhadap data input yang digunakan dalam algoritma genetika. Selanjutnya, penyusunan algoritma genetika untuk menyelesaikan permasalahan yang ada berdasarkan input yang tersedia, mulai dari inisialisasi hingga uji kriteria. Setelah algoritma selesai disusun dilanjutkan dengan penyusunan *script*, yaitu implementasi algoritma yang telah disusun ke dalam bahasa komputer. Penyusunan dan kompilasi *script* dilakukan dengan program MATLAB (2013). Selanjutnya dilakukan pengujian *script* yang telah disusun untuk mengolah data input yang tersedia, sehingga menghasilkan output yang diharapkan. Setelah diperoleh output yang diharapkan dilakukan kalibrasi yaitu dengan membandingkan hasil dari algoritma genetika dengan hasil metode kurva konvensional.

Data input yang akan digunakan merupakan data *pumping test* berikut informasi tentang debit pemompaan, jarak piezometer dari sumur uji, serta waktu dan *drawdown* selama *pumping test* berlangsung. Dari data input ini akan disusun algoritma genetika untuk mengestimasi nilai transmisivitas dan storativitas akuifer. Tahapan – tahapan utama yang dilakukan dalam penggunaan algoritma genetika untuk melakukan estimasi nilai transmisivitas dan storativitas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Inisialisasi
- 2) Pembentukan populasi awal
- 3) Penentuan nilai tiap kromosom
- 4) Pemilihan pasangan
- 5) Perkawinan silang
- 6) Mutasi
- 7) Uji kriteria



**Gambar 1.** Alur algoritma genetika untuk estimasi parameter hidrolik akuifer

## 1. Inisialisasi

Pada tahap ini, dilakukan definisi parameter dari algoritma genetika, kromosom, fungsi obyektif, serta variabel yang digunakan untuk melakukan estimasi nilai transmisivitas dan storativitas.

### a. Parameter algoritma genetika

Sebelum menjalankan algoritma genetika, perlu didefinisikan dahulu parameter parameter dari algoritma genetika yang digunakan. Parameter – parameter tersebut antara lain adalah ukuran populasi, laju mutasi, *survival rate*, jumlah variabel, serta jumlah bit. Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan pada algoritma genetika pada paper ini:

Ukuran populasi	: 64
Laju mutasi	: 15%
<i>Survival rate</i>	: 50%
Jumlah bits / variabel	: 8
Jumlah <i>decision variable</i>	: 2
Jumlah bits / kromosom	: 16

### b. Kromosom

Dalam algoritma genetika ini, suatu kromosom didefinisikan sebagai suatu *array* dari nilai variabel yang akan dioptimalkan, yaitu nilai transmisivitas (T) dan storativitas (S). Kromosom direpresentasikan dalam bilangan biner. Karena jumlah variabel adalah dua (2) dan jumlah *bit* adalah delapan (8), maka kromosom akan berupa *array* berisi kombinasi angka 1 dan 0 dengan jumlah elemen  $2 \times 8 = 16$ , seperti diilustrasikan sebagai berikut.

$$\text{Kromosom} = [1101100111011010] \quad (1)$$

Kromosom bersifat acak, dan selanjutnya dilakukan *decode* untuk mengubahnya menjadi bilangan rasional. Hasil dari *decode* kromosom ini akan menghasilkan *array* berukuran  $1 \times$  jumlah variabel, misalnya sebagai berikut

$$\text{Kromosom} = [0.3627 \quad 1.5 \times 10^{-4}] \quad (2)$$

Dimana kolom pertama merepresentasikan transmisivitas dan kolom kedua storativitas. Setelah kromosom telah mengalami *decode* dan memiliki nilai dalam bentuk bilangan rasional, baru kemudian *cost* dapat dihitung oleh fungsi  $f$ , dimana  $f$  merupakan fungsi obyektif dan *cost* merupakan fungsi dari transmisivitas dan storativitas.

$$\text{cost} = f(\text{kromosom}) = f([T \ S]) \quad (3)$$

### c. Model keputusan - fungsi obyektif

Fungsi obyektif yang digunakan dalam algoritma genetika untuk estimasi nilai transmisivitas dan storativitas ini bertujuan menghitung selisih antara nilai *drawdown* model dengan *drawdown* hasil observasi. Fungsi ini akan menerima masukan berupa kromosom, nilai debit, data pengamatan, dan jarak piezometer ke sumur uji. Secara kualitatif fungsi obyektif adalah meminimalkan ekspresi berikut.

$$\text{Min} = [\text{Selisih} = \text{drawdown model} - \text{drawdown observasi}] \quad (4)$$

Atau secara kuantitatif dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{cost} = \sum (s_{\text{model}} - s_{\text{observed}})^2 \quad (5)$$

Disini *cost* juga menunjukkan *least square error* antara kurva model dengan kurva observasi.

d. Model keputusan - fungsi kendala

Pada saat *decode* populasi,  $T$  dan  $S$  yang muncul akan selalu berada pada rentang nilai tertentu sebagai berikut.

$$T_{bawah} \leq T \leq T_{atas} \quad (6)$$

$$S_{bawah} \leq S \leq S_{atas} \quad (7)$$

Dimana nilai batas bawah dan batas atas kedua parameter tersebut adalah sebagai berikut (Todd & Mays, 2005).

**Tabel 1.** Batas bawah dan batas atas nilai parameter hidraulik akuifer

Parameter akuifer	Batas bawah	Batas atas
Transmisivitas	0	1
Storativitas	0.00005	0.005

*Drawdown* model diperoleh dengan menggunakan model (Theis, 1935) seperti dinyatakan oleh persamaan (1) untuk akuifer tertekan dengan aliran *unsteady state*. Sehingga untuk mendapatkan nilai *drawdown* model diperlukan nilai  $Q$ ,  $t$ ,  $r$ ,  $T$ , dan  $S$ . Nilai debit  $Q$  dan jarak piezometer ke sumur uji  $r$  telah didefinisikan di awal sebelum fungsi dijalankan. Nilai  $T$  dan  $S$  didefinisikan didalam fungsi obyektif dengan memilih kolom manakah pada populasi yang akan dipilih sebagai  $T$  dan  $S$ . Nilai  $t$  didefinisikan didalam fungsi obyektif dengan membentuk *array* berukuran  $N_{data} \times 1$  dengan nilai yang sama dengan kolom pertama dari *array* data observasi. Dengan demikian, nilai *drawdown* model yang dibuat hanya nilai *drawdown* untuk nilai  $t$  yang sama (identik) dengan data observasi sehingga proses perhitungan tidak memakan waktu dan sumberdaya yang banyak. Berikut adalah contoh *array* untuk  $t$ .

$$t = \begin{bmatrix} 6 \\ 15 \\ \vdots \\ 49800 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Nilai  $t$  ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung nilai  $u$  sebagai mana model (Theis, 1935) seperti dinyatakan pada persamaan (2). Karena  $t$  berbentuk *array*, maka  $u$  yang dihasilkan juga akan berbentuk *array* dengan ukuran yang sama dengan  $t$ , yaitu  $N_{data} \times 1$  sebagai berikut.

$$u = \begin{bmatrix} 0.2251 \\ 0.09 \\ \vdots \\ 0.00 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Selanjutnya nilai  $u$  yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung *Theis well function* seperti yang dinyatakan oleh persamaan (3). Sebagaimana  $t$  dan  $u$ ,  $W(u)$  juga akan berbentuk *array* berukuran  $N_{data} \times 1$ .

$$W(u) = \begin{bmatrix} 1.1274 \\ 1.9187 \\ \vdots \\ 9.9384 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Setelah nilai  $W(u)$  diperoleh, maka nilai *drawdown* model dapat dihitung. Nilai *drawdown* yang diperoleh juga akan berupa *array* berukuran  $N_{data} \times 1$ . Selanjutnya nilai  $t$  dan *drawdown* yang diperoleh disatukan menjadi satu *array*, sehingga diperoleh *array* dengan ukuran dan nilai  $t$  yang sama dengan *array* hasil input data observasi. Misalkan *array drawdown* model adalah  $z$ , *array* waktu model adalah  $t$ , dan *array drawdown* model adalah  $d$ , maka  $z = [t \ d]$ .

$$z = \begin{bmatrix} 6 & 0.1183 \\ 15 & 0.2013 \\ \vdots & \vdots \\ 49800 & 1.0429 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Dimana kolom pertama dari *array* merepresentasikan waktu dalam menit dan kolom kedua merepresentasikan *drawdown* dalam meter.

$$cost = \left| \sum_{i=1}^{N_{data}} (Z(i, 2) - dataobservasi(i, 2))^2 \right| \quad (12)$$

e. Model keputusan – variabel keputusan (*decision variable*)

Variabel yang akan dioptimalkan pada estimasi ini adalah transmisivitas ( $T$ ) dan storativitas ( $S$ ). Satuan yang digunakan untuk transmisivitas adalah  $m^2/menit$ , sedangkan untuk storativitas tidak ada satuan mengingat storativitas bersifat *dimensionless*.

## 2. Pembentukan Populasi Awal

Tujuan tahapan ini adalah untuk membangkitkan suatu populasi yang mengandung sejumlah kromosom seperti yang telah didefinisikan pada tahap inisialisasi. Misalnya pada tahap

inisialisasi telah ditentukan ukuran populasi adalah 64. Artinya, populasi pada setiap generasi akan memiliki 64 kromosom.

Sebagaimana kromosom, populasi pada awalnya dibuat dalam bentuk bilangan biner dan selanjutnya akan dilakukan *decode* untuk mengubahnya menjadi bilangan rasional. Populasi yang dibentuk akan berupa array berukuran  $N_{pop} \times N_t$ , dimana  $N_{pop}$  merupakan banyaknya kromosom dalam satu populasi, dan  $N_t$  merupakan banyaknya bits dalam satu kromosom. Berikut adalah contoh bangkitan populasi awal

$$pop = \begin{bmatrix} 1100101111100111 \\ 1110001010100001 \\ 0100011111011000 \\ 1010110011100011 \\ 1001001001010110 \\ 0001100001001001 \\ 0101111001011000 \\ 1001101100011000 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Selanjutnya populasi tersebut dilakukan *decode* sehingga terbentuk *array* berukuran  $N_{pop} \times N_{var}$  dan disimpan dalam variabel *par* sebagai berikut:

$$par = \begin{bmatrix} 0.7961 & 0.0001 \\ 0.9059 & 0.0003 \\ 0.8863 & 0.0004 \\ 0.6314 & 0.0004 \\ 0.2784 & 0.0006 \\ 0.8471 & 0.0001 \\ 0.6745 & 0.0010 \\ 0.8902 & 0.0001 \end{bmatrix} \quad (14)$$

### 3. Penentuan Cost

*Cost* digunakan untuk menentukan seberapa baik individu direpresentasikan oleh suatu kromosom. Dalam kasus ini, semakin rendah *cost* maka semakin baik suatu individu. Penentuan *cost* pada setiap kromosom dilakukan setelah kromosom mengalami *decode* menjadi bilangan rasional oleh fungsi obyektif yang telah didefinisikan dan dinyatakan sebagai berikut.

$$Cost = f(kromosom) \quad (15)$$

**Tabel 2.** Binary string beserta hasil decode dan perhitungan nilai tiap kromosom

binary string	decoded value		Cost
1100101111100111	0.796	0.000	4.163

1110001010100001	0.906	0.000	6.404
0100011111011000	0.886	0.000	6.588
1010110011100011	0.631	0.000	4.157
1001001001010110	0.278	0.001	0.628
0001100001001001	0.847	0.000	4.617
0101111001011000	0.675	0.001	6.275
1001101100011000	0.890	0.000	4.980

### 4. Pemilihan Pasangan

Istilah *survival of the fittest* pada seleksi alam merupakan prinsip pada seleksi alam yang diterapkan pada algoritma genetika. Pada algoritma genetika, *survival of the fittest* diterjemahkan menjadi pemilihan kromosom berdasarkan nilai fungsi obyektif masing – masing. Pertama, kromosom pada populasi diurutkan dari nilai fungsi terendah ke nilai fungsi tertinggi. Selanjutnya, sejumlah kromosom dengan nilai fungsi tertinggi dibuang dari populasi, sehingga memberikan ruang bagi keturunan selanjutnya. Sedangkan anggota populasi yang bertahan atau tidak terbuang akan menjadi induk dan dikawinkan untuk menghasilkan keturunan.

**Tabel 3.** Nilai fungsi masing–masing kromosom

kromosom	Cost
1001001001010110	0.6281
1010110011100011	4.1567
1100101111100111	4.163
0001100001001001	4.6171
1001101100011000	4.9799
0101111001011000	6.2754
1110001010100001	6.4043
0100011111011000	6.5878

Pada algoritma ini metode pemilihan pasangan yang digunakan adalah *rank weighting*. Metode ini mencari probabilitas berdasarkan rank *n* dari kromosom yang dinyatakan sebagai berikut.

$$P_n = \frac{N_{ksep} - n + 1}{\sum_{n=1}^{N_{ksep}} n} \quad (16)$$

**Tabel 4.** Rank Weighting

n	kromosom	Pn	$\sum_{i=1}^n P_i$
1	1001001001010110	0.4	0.4
2	10101100111100011	0.3	0.7
3	1100101111100111	0.2	0.9
4	0001100001001001	0.1	1

**Tabel 4** menunjukkan 4 kromosom teratas yang dipilih untuk tetap bertahan. Probabilitas kumulatif yang ditunjukkan pada kolom 4 tabel di atas akan digunakan pada pemilihan kromosom. Kemudian, suatu angka acak antara 0 dan 1 akan dibuat. Dimulai dari baris teratas, kromosom pertama dengan probabilitas kumulatif lebih besar dari angka yang muncul akan dipilih untuk perkawinan silang. Misalnya, angka acak yang muncul adalah  $r = 0.519$ , sehingga  $0.4 < r \leq 0.7$ . Dengan demikian, maka kromosom 2 yang akan terpilih.

## 5. Perkawinan Silang

Perkawinan merupakan pembentukan satu atau lebih keturunan dari induk yang telah dipilih melalui proses pemasangan. Perkawinan silang sederhana dilakukan dengan melibatkan 2 induk, sehingga menghasilkan 2 keturunan. Suatu titik *crossover* akan dipilih dari bit kromosom induk. Kemudian, bit di sebelah kiri titik *crossover* induk pertama akan diberikan pada keturunan 1. Dengan cara yang sama, induk 2 memberikan bit sebelah kiri titik *crossover* kepada keturunan dua. Selanjutnya, bit di sebelah kanan titik *crossover* induk 1 diberikan kepada induk 2, sedangkan pada induk 2 diberikan kepada induk 1. Dengan demikian, akan dihasilkan 2 keturunan yang masing – masing memiliki bit dari kedua induk. Keturunan yang telah dihasilkan akan mengisi ruang kosong dari kromosom yang telah dibuang dari populasi, hingga jumlah populasi akan kembali ke awal.

**Tabel 5.** Proses pemasangan dan perkawinan silang 1 titik *crossover*

family	binary string
ma (1)	<b>1001001001010110</b>
pa (1)	10101100111100011
keturunan 1	<b>10010010111100011</b>
keturunan 2	101011000 <b>1010110</b>
ma (2)	<b>1100101111100111</b>
pa (2)	0001100001001001
keturunan 3	<b>1100101101001001</b>
keturunan 4	00011000 <b>11100111</b>

## 6. Mutasi

Mutasi acak mengubah sebagian dari *bit* pada kromosom. Mutasi merupakan cara kedua bagi algoritma genetika untuk mengeksplorasi *cost*. Mutasi dapat memperkenalkan sifat yang belum ada pada populasi awal dan menjaga agar algoritma genetika tidak terlalu cepat konvergen sebelum melakukan sampling terhadap keseluruhan *cost*. Mutasi satu titik mengubah 1 menjadi 0 dan sebaliknya. Titik mutasi dipilih secara acak dari jumlah bits dalam array populasi. Peningkatan angka mutasi akan meningkatkan kebebasan algoritma untuk mencari diluar ruang variabel saat ini.

**Tabel 6.** Mutasi pada populasi

Populasi setelah cross-over	Populasi setelah mutasi	Nilai baru kromosom
1001001001010110	1000101111100110	4.665
10101100111100011	0111001010101001	6.8394
1001001011100011	0110011101011000	3.4493
1010110001010110	1000110001101011	4.3556
1100101111100111	1001001001110100	2.1749
0001100001001001	1101100001101000	0.0482
1100101101001001	1101111001010000	4.9555
0001100011100111	1001101100011001	0.2961

## 7. Uji kriteria

Jumlah generasi pada algoritma genetika tergantung pada kondisi dimana iterasi berhenti. Iterasi dapat berhenti apabila salah satu syarat berikut terpenuhi: jumlah iterasi telah mencapai



maksimum, atau solusi telah mencapai nilai solusi yang diinginkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN (RESULT AND DISCUSIONS)

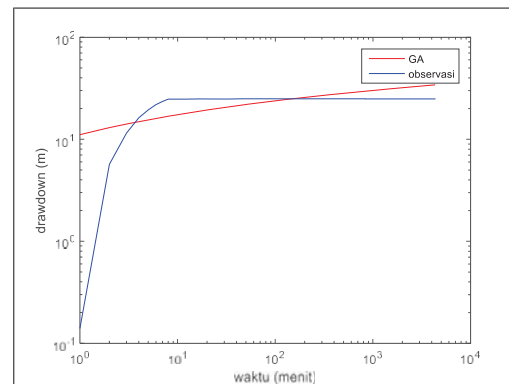
Percobaan dilakukan menggunakan data *pumping test* di Jakarta dari suatu sumur di Karet Semanggi, Kecamatan Setiabudi, Jakarta Selatan. Sumur berada pada koordinat 6°13'39.29" S 106°49'16.18" E dengan elevasi 46 meter. Kedalaman sumur 250 meter. *Pumping test* dilakukan secara dengan debit pemompaan konstan sebesar 8.17 m<sup>3</sup>/jam atau 0.1362 m<sup>3</sup>/menit selama 72 jam.

Lokasi *pumping test* berada pada daerah yang merupakan endapan permukaan kipas alluvium yang terdiri dari tuf halus berlapis, tuf pasir, berselingan dengan tuf konglomeratan. Di bawah endapan permukaan ini terdapat Formasi Bojongmanik yang terdiri dari perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan batugamping. Diperkirakan jenis akuifer adalah akuifer tertekan dengan batupasir sebagai lapisan akuifer dan lapisan batulempung sebagai lapisan impermeable.

**Tabel 7.** Perbandingan drawdown hasil observasi dan hasil algoritma genetika

t (mnt)	Draw down observasi	Draw down model (GA)	t (mnt)	Draw down observasi	Draw down model (GA)
1	0.14	11.13	110	24.9	24.09
2	5.69	13.03	120	24.9	24.33
3	11.49	14.15	150	24.91	24.95
4	16.24	14.94	180	24.91	25.45
5	19.34	15.55	210	24.91	25.88
6	21.84	16.06	240	24.91	26.24
7	23.44	16.48	270	24.91	26.57
8	24.74	16.85	300	24.91	26.86
9	24.74	17.17	330	24.91	27.12
9.5	24.74	17.32	360	24.91	27.36
10	24.74	17.47	420	24.91	27.79
11	24.75	17.73	480	24.91	28.16
12	24.75	17.97	540	24.91	28.49
13	24.76	18.19	600	24.91	28.78
14	24.8	18.39	660	24.91	29.04
15	24.8	18.59	720	24.91	29.28
16	24.79	18.76	840	24.91	29.71

17	24.79	18.93	960	24.91	30.07
18	24.81	19.09	1080	24.91	30.40
19	24.82	19.24	1200	24.91	30.69
20	24.84	19.38	1320	24.91	30.95
25	24.85	20.00	1440	24.91	31.20
30	24.86	20.50	1680	24.91	31.62
35	24.87	20.93	1920	24.91	31.99
40	24.87	21.29	2160	24.91	32.32
45	24.88	21.62	2400	24.91	32.61
50	24.88	21.91	2640	24.91	32.87
55	24.88	22.17	2880	24.91	33.11
60	24.89	22.41	3240	24.91	33.44
70	24.89	22.84	3600	24.91	33.73
80	24.89	23.21	3960	24.91	33.99
90	24.9	23.53	4320	24.91	34.23
100	24.9	23.83			



**Gambar 1.** Perbandingan plot drawdown hasil algoritma genetik dan drawdown observasi

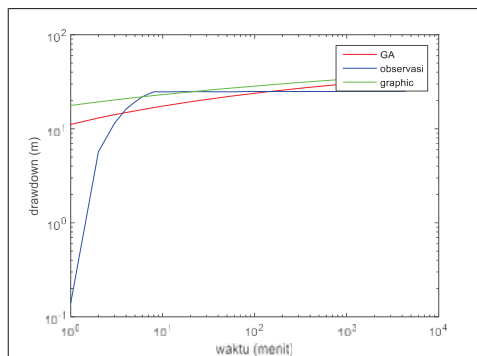
Pada **Gambar 2** terlihat bahwa hasil optimasi menggunakan algoritma genetika (*drawdown model*) menghasilkan grafik *drawdown* yang mendekati grafik *drawdown* observasi. Hasil diatas diperoleh dari 31 kali iterasi dan diperoleh nilai transmisivitas sebesar 0.36471 m<sup>2</sup>/menit dan nilai storativitas  $9.54 \times 10^{-5}$ .



**Tabel 8.** Perbandingan hasil metode algoritma genetika dan metode konvensional

Metode	Transmisivitas (m <sup>2</sup> /menit)	Storativitas	Least Square Error
Konvensional	4,662 x 10 <sup>-3</sup>	9,017 x 10 <sup>-4</sup>	3046,3
GA	3,922 x 10 <sup>-3</sup>	6,941 x 10 <sup>-5</sup>	1347,829

**Tabel 8** di atas menunjukkan perbandingan nilai transmisivitas dan storativitas yang dihasilkan oleh metode algoritma genetika dengan metode konvensional. Terdapat perbedaan nilai transmisivitas dan storativitas, meskipun tidak terlalu signifikan. Perbedaan ini diakibatkan keterbatasan akurasi dalam pencocokan kurva pada metode konvensional. Hal ini terlihat dari *cost* pada metode konvensional yang cukup besar, yang menunjukkan, bahwa kurva tidak benar benar cocok, yang berimplikasi pada kurang tepatnya nilai transmisivitas dan storativitas yang dihasilkan. Sedangkan pada algoritma genetika, tujuan utamanya adalah memperoleh *cost* sekecil mungkin, sehingga akurasi dalam pencocokan kurva akan tinggi. Tidak akuratnya pencocokan kurva dengan metode konvensional dapat terlihat dari kurva yang dihasilkan ketika hasil yang diperoleh dari metode ini dimasukkan ke dalam model (Theis, 1935) dan dibandingkan dengan kurva *drawdown* hasil observasi.

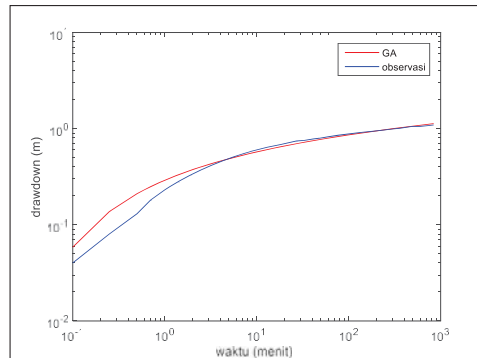


**Gambar 2.** Perbandingan kurva drawdown antara metode konvensional, algoritma genetika (model), dan observasi

**Gambar 3** menunjukkan perbandingan kurva *drawdown* teoritik / konvensional (hijau), kurva *drawdown* algoritma genetika / model (merah), dan kurva *drawdown* observasi (biru). Kurva *drawdown* hasil teoritik / konvensional berada cukup jauh dari kurva *drawdown* model dan kurva *drawdown* observasi. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa metode algoritma genetika memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan metode *curve fitting* konvensional.

Pada hasil *curve fitting* baik secara konvensional maupun dengan algoritma genetika terdapat ketidaksesuaian bentuk kurva pada waktu awal pemompaan. Hal ini dikarenakan data observasi tidak akan merepresentasikan secara tepat persamaan aliran airtanah secara teoritis. Persamaan teoritis dibuat berdasarkan asumsi bahwa *discharge* sumur akan tetap konstan dan pelepasan air yang disimpan pada akuifer terjadi secara langsung dan sebanding dengan laju penurunan *head* tekanan. Sedangkan pada kondisi lapangan, sering terdapat jeda waktu antara penurunan tekanan dan pelepasan air yang tersimpan pada akuifer, serta pada awal pemompaan *discharge* sumur akan bervariasi seiring dengan penyesuaian pompa terhadap perubahan *head*. Hal inilah yang menyebabkan perbedaan antara aliran secara teori dengan aliran aktual yang terjadi di lapangan. Seiring dengan berjalannya waktu pemompaan, perbedaan ini akan semakin minimum dan aliran aktual akan semakin mirip dengan aliran secara teori.

Berdasarkan kondisi geologi, sumur uji tempat *pumping test* dilakukan berada pada akuifer tertekan tengah. Akan tetapi, hasil plot *drawdown* hasil observasi menunjukkan respon yang berbeda dengan respon akuifer tertekan pada umumnya. Secara teori observasi *drawdown* pada akuifer tertekan akan menghasilkan kurva seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.** Perbandingan plot *drawdown* hasil algoritma genetika dan hasil observasi pada sumur Oude Korendijk

Pada **Gambar 4** terlihat kurva *drawdown* akuifer tertekan pada sumur uji Oude Korendijk, Rotterdam Selatan, Belanda. Sumur uji Oude Korendijk berada pada akuifer tertekan dengan lapisan akuifer berupa pasir kasar berkerikil dan lapisan pengapit berupa lempung dan batupasir halus lempungan. Terlihat kurva berbentuk logaritmik dengan nilai *drawdown* yang akan terus naik seiring dengan berjalannya waktu *pumping test*.

Pada hasil *pumping test* pada sumur uji Jakarta, bentuk kurva yang dihasilkan juga logaritmik namun cenderung curam di awal waktu *pumping test* dan mendatar setelah beberapa lama waktu pemompaan. Bentuk kurva semacam ini dapat disebabkan oleh beberapa hal. Pertama, dapat diperkirakan bahwa lapisan pengapit akuifer tersebut tidak benar – benar impermeabel. Diperkirakan, lapisan pengapit yang berada di atas atau di bawah lapisan akuifer bocor sampai pada batas tertentu. Akibatnya, ketika sumur dipompa, air yang diambil tidak hanya berasal dari lapisan akuifer, namun juga berasal dari lapisan pengapit di atas maupun di bawah lapisan akuifer. Ketika sumur dipompa, *head* hidrolik pada akuifer akan menurun, menyebabkan terbentuknya gradient hidrolik tidak hanya pada akuifer, namun juga pada akuitard.

Kedua, diperkirakan ada kesalahan dalam pengambilan data, baik kurangnya ketelitian ketika pengukuran muka airtanah maupun dalam pencatatan. Kurva pengamatan menunjukkan hasil perubahan *drawdown* yang curam pada 10

menit pertama, kemudian cenderung mendatar setelah 10 menit pertama. Perubahan *drawdown* yang curam pada awal pemompaan mengindikasikan bahwa pompa yang dipakai cukup besar. Padahal kenyataannya, pompa yang dipakai tidaklah besar sehingga masih memungkinkan untuk dilakukan pengukuran. Dari hal ini diperkirakan pengambilan data *pumping test* yang dilakukan masih kurang akurat. Karena hal – hal tersebut, kurva *drawdown* observasi yang dihasilkan pada *pumping test* sumur di Jakarta tidak merepresentasikan keadaan akuifer tertekan.

## KESIMPULAN (CONCLUSION)

Akuifer pada sumur uji tempat data *pumping test* memberikan respon *drawdown* tidak seperti akuifer tertekan pada umumnya, diperkirakan disebabkan oleh dua hal. Pertama, adanya lapisan pengapit yang tidak benar – benar impermeabel. Kedua, adanya kesalahan dalam pengukuran dan pencatatan, terlihat dari kurva yang curam pada awal *pumping test* bertentangan dengan kondisi yang ada di lapangan. Dengan memandang estimasi transmisivitas dan storativitas akuifer sebagai suatu permasalahan inversi yang dapat diselesaikan dengan kerangka kerja optimasi, maka algoritma genetika dapat digunakan secara ampuh untuk menentukan kedua parameter tersebut. Berdasar algoritma genetika, diperoleh nilai transmisivitas dan storativitas pada akuifer sumur uji masing-masing sebesar  $3.9 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/menit dan  $6.9 \times 10^{-5}$ . Terdapat perbedaan antara hasil metode algoritma genetika dengan metode konvensional, yang disebabkan perbedaan akurasi *curve fitting*. Metode algoritma genetika memiliki akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, terbukti dengan *least square error* algoritma genetika yang lebih rendah.

## DAFTAR PUSTAKA (REFERENCES)

- Chipperfield, A., Fleming, P., & Pohlheim, H. (1994). Genetic Algorithm Toolbox for use with MATLAB.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley.
- Haupt, R. L., & Haupt, S. E. (2004).

*Practical Genetic Algorithms Second Edition. Practical Genetic Algorithms.*

- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial System*. Ann Arbor; University of Michigan Press.
- Hossam, A.-A., Ahmed, A.-G., & Ali, H. (2009). Parameter estimation of pumping test data using genetic algorithm.
- Kruseman, G. P., & De Ridder, N. A. (1990). *Analysis and evaluation of pumping test data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Satriyanto, E. (2009). *Algoritma Genetika*. Retrieved from [http://entin.lecturer.pens.ac.id/Kecerdasan Buatan/Buku/Bab 7 Algoritma Genetika.pdf](http://entin.lecturer.pens.ac.id/Kecerdasan%20Buatan/Buku/Bab%207%20Algoritma%20Genetika.pdf)
- Sudarsono, U. (1998). Prosedur Pompa Uji. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, 23, 40–54.
- Theis, C. V. (1935). The relation between the lowering of the Piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 16(2), 519–524.
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2005). *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons, Inc.