



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Kuntjoro Adji Sidarto

**BEBERAPA ASPEK PENYELESAIAN
SISTEM PERSAMAAN TAK LINEAR
SECARA NUMERIK**

13 April 2019
Aula Barat Institut Teknologi Bandung

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
13 April 2019

Profesor Kuntjoro Adji Sidarto

**BEBERAPA ASPEK PENYELESAIAN
SISTEM PERSAMAAN TAK LINEAR
SECARA NUMERIK**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: BEBERAPA ASPEK PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN
TAK LINEAR SECARA NUMERIK
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 13 April 2019.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak Cipta ada pada penulis
Data katalog dalam terbitan

Kuntjoro Adji Sidarto
BEBERAPA ASPEK PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN TAK LINEAR
SECARA NUMERIK
Disunting oleh Kuntjoro Adji Sidarto

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2019
vi+52 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-6624-29-1

1. Matematika Industri dan Keuangan 1. Kuntjoro Adji Sidarto

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, bahwasanya atas berkat dan rahmatNya, saya dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Penghargaan dan rasa hormat serta terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, atas perkenannya saya menyampaikan orasi ilmiah ini pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar ITB.

Perkenankan saya menyampaikan orasi ilmiah yang berjudul “Beberapa Aspek Penyelesaian Sistem Persamaan Tak-Linear Secara Numerik” yang merupakan salah satu topik penelitian yang dikembangkan di dalam Kelompok Keilmuan Matematika Industri dan Keuangan.

Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan, dan inspirasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 13 April 2019

Kuntjoro Adji Sidarto

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BEBERAPA ASPEK PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN TAK LINEAR SECARA NUMERIK	1
1. PENDAHULUAN	1
2. SISTEM PERSAMAAN TAK-LINEAR	4
3. OPTIMISASI SPIRAL DILENGKAPI TEKNIK CLUSTERING	6
3.1 Akar-akar real sistem persamaan tak-linear	9
4. SISTEM PERSAMAAN TAK LINEAR PADA JARINGAN PIPA ...	13
4.1 Jaringan pipa distribusi air minum	13
4.2 Jaringan pipa distribusi gas alam	19
DAFTAR PUSTAKA	23
PENENTUAN HARGA WAJAR OPSI SAHAM KARYAWAN	27
DAFTAR PUSTAKA	38
5. UCAPAN TERIMAKASIH	39
CURRICULUM VITAE	43

BEBERAPA ASPEK PENYELESAIAN SISTEM PERSAMAAN TAK LINEAR SECARA NUMERIK

1. PENDAHULUAN

Sistem persamaan tak-linear sering dijumpai pada berbagai masalah dibidang rekayasa seperti: prakiraan cuaca secara numerik, sistem pembangkit tenaga listrik dan distribusinya, biokimia komputasi dan penentuan distribusi tekanan pada jaringan pipa distribusi gas alam maupun jaringan pipa distribusi air minum [1-3]. Hingga saat ini masalah mencari penyelesaian sistem persamaan tak-linear masih diakui merupakan salah satu masalah yang tidak mudah diselesaikan dibidang komputasi numerik [1]. Metode Newton maupun quasi-Newton, yang dewasa ini sering digunakan untuk menyelesaikannya, memiliki kecepatan kekonvergenan yang tinggi ke solusi dalam hal nilai tebakan awal untuk solusi dapat diberikan cukup akurat. Masalah menentukan tebakan awal yang baik/akurat merupakan kendala penting yang harus diatasi agar metode-metode tersebut konvergen ke solusi yang dicari. Untuk mengatasi masalah tersebut berbagai algoritma optimisasi meta-heuristik dipergunakan dengan cara mula-mula mengubah masalah mencari solusi persamaan tak-linear yang dihadapi menjadi suatu masalah optimisasi dan mengidentifikasi solusi masalah semula sebagai solusi masalah optimisasi padanannya. Luo et al. [1] menggunakan kombinasi antara Algoritma Optimisasi Chaos dengan metode quasi-

Newton. Burden and Faires [4] memanfaatkan kombinasi antara metode *steepest descent* dengan metode Newton untuk menyelesaikan sistem persamaan tak-linear. Pada masing-masing pendekatan tersebut, Algoritma Optimisasi Chaos dan metode *steepest descent* dipergunakan untuk mendapatkan tebakan awal yang bagus bagi metode quasi-Newton dan metode Newton. Dalam satu kali mengeksekusi metode Newton maupun melalui pendekatan [1,4] hanya akan dihasilkan satu solusi/akar dari sistem persamaan tak-linear yang dihadapi. Sementara itu sangat sering suatu sistem persamaan tak-linear memiliki solusi/akar lebih dari satu. Dalam hal masing-masing solusi memiliki signifikansi penting untuk diperoleh, maka diperlukan beberapa kali eksekusi untuk memperoleh seluruh solusi sistem persamaan terkait. Suatu hal yang tidak mudah dilakukan dalam hal banyaknya persamaan dan banyaknya peubah cukup besar. Sehingga dirasakan perlunya memiliki suatu metode yang mampu mendapatkan sebanyak mungkin solusi dalam satu kali mengeksekusi metode tersebut.

Upaya untuk mendapatkan seluruh solusi dengan memanfaatkan algoritma optimisasi metaheuristik telah dikemukakan dalam beberapa artikel pada beberapa tahun terakhir ini. Pada umumnya langkah awal yang dilakukan adalah mentransformasikan masalah pencarian akar sistem persamaan tak-linear yang dihadapi ke dalam suatu masalah optimisasi. Tsoulos dan Stavrakoudis [5], memanfaatkan metode optimisasi global seperti Multistart dan Minfinder untuk memperoleh

seluruh minima dari masalah optimisasinya. Sacco dan Henderson [6] mempergunakan algoritma *random search* dari Luus-Jakola untuk mengeksplorasi daerah pencarian dan kemudian menggunakan teknik Fuzzy Clustering Means untuk mengelompokkan solusi terbaik yang telah diperoleh. Hasil pengelompokan tersebut lalu digunakan sebagai titik-titik awal bagi algoritma Nelder-Mead untuk memperoleh solusi sistem persamaan terkait. Sementara itu Grosan dan Abraham [7] mentransformasikan sistem persamaan tak-linear yang dihadapi kedalam suatu masalah optimisasi multi-objektif dan kemudian menyelesaikannya dengan menggunakan suatu teknik komputasi evolutif. Sejalan dengan itu Song et al. [8] mentransformasikan sistem persamaan yang dihadapi kedalam suatu masalah optimisasi bi-objektif dan kemudian menyelesaikannya juga dengan suatu teknik komputasi evolutif.

Pada orasi ini dipaparkan suatu metode untuk mencari seluruh solusi sistem persamaan tak-linear yang dihadapi dengan terlebih dahulu mentransformasikannya ke dalam suatu masalah optimisasi global. Selanjutnya dipaparkan suatu teknik *clustering* untuk melokalisir seluruh akar-akar yang mungkin dimiliki sistem persamaan tersebut dan menggunakan Algoritma Optimisasi Spiral dari Tamura dan Yasuda [9] pada masing-masing *cluster* yang telah diperoleh untuk mendapatkan akar-akar dari sistem persamaan yang dihadapi.

Sementara itu pada tahun 1998, Steve Smale salah seorang penerima

medali Field (salah satu penghargaan tertinggi bagi karya ilmiah penelitian dalam bidang matematika) untuk tahun 1966, mengemukakan 18 masalah tantangan bagi para matematikawan diabad ke 21 dalam artikelnya [10] yang berjudul "Mathematical problems for the next century". Dari 18 masalah tersebut tiga masalah berikut berkaitan dengan sistem persamaan tak-linear:

- Problem 4 : Integer zeroes of a polynomial
- Problem 8 : Introduction of dynamics into economic theory
- Problem 17 : Solving polynomial equations

Jadi, mencari solusi sistem persamaan tak-linear memiliki signifikansi penting tidak hanya dalam masalah praktis, tetapi juga dalam matematika.

2. SISTEM PERSAMAAN TAK-LINEAR

Perhatikan sistem persamaan tak-linear

$$\begin{matrix} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \end{matrix} \quad \dots \quad (1)$$

dengan $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in D = [a_1, b_1] \times [a_2, b_2] \times \dots \times [a_n, b_n] \subseteq \mathbb{R}^n$ dan $f_i : D \rightarrow \mathbb{R} \quad i = 1, 2, \dots, n$ fungsi-fungsi yang kontinu dengan paling tidak salah satu diantaranya adalah fungsi tak-linear.

Suatu hubungan antara masalah optimisasi suatu fungsi dari \mathbb{R}^n ke \mathbb{R} dengan masalah penyelesaian sistem persamaan tak-linear dapat

dirumuskan sebagai berikut. Sistem persamaan tak-linear diatas memiliki suatu solusi $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ jika fungsi objektif F dari masalah optimisasi yang didefinisikan oleh :

$$\begin{aligned} F(\mathbf{x}) &= F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{1}{1 + \sum_i^n |f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)|} \\ &= \frac{1}{1 + \sum_i^n |f_i(\mathbf{x})|} \quad \dots \quad (2) \end{aligned}$$

memiliki nilai maksimum sama dengan 1. Situasi ini membuka kemungkinan untuk memanfaatkan berbagai metode/algorithm optimisasi untuk pencarian optimum global sebagai alat untuk menyelesaikan masalah pencarian solusi/akar sistem persamaan tak-linear. Jika terdapat \mathbf{x}^* sehingga $F(\mathbf{x}^*) = 1$, maka \mathbf{x}^* merupakan sebuah titik maksimum global dari $F(\mathbf{x})$ dan $f_i(\mathbf{x}^*) = 0 \quad i = 1, 2, \dots, n$. Sehingga \mathbf{x}^* merupakan sebuah akar/solusi dari sistem persamaan tak-linear tersebut.

Dalam masalah nyata seringkali dijumpai masalah optimisasi yang fungsi objektifnya merupakan fungsi tak-linear dalam banyak peubah yang disertai kendala. Ketak-linearan fungsi objektif tersebut sering mengakibatkan fungsi objektif nya memiliki banyak titik optimum (*multi-modal*). Dengan demikian algoritma-algoritma pencarian titik optimum yang bersifat lokal seperti algoritma *hill-climbing* ataupun *steepest descent* menjadi kurang efektif untuk masalah optimisasi *multi-modal*, karena mudah terjebak pada hasil yang bersifat optimum lokal. Dengan demikian dalam kaitan dengan pencarian akar-akar sistem persamaan

tak-linear diperlukan algoritma pencarian yang dirancang untuk bersifat mencari optimum global. Dalam kaitan ini beberapa metode metaheuristik dirancang untuk pencarian optimum global pada fungsi-fungsi yang bersifat *multi-modal*. Mereka tidak memerlukan persyaratan seperti, misalnya, fungsi objektifnya harus fungsi yang diferensiabel. Salah satu dari metode tersebut adalah metode Algoritma Optimisasi Spiral (AOS) yang diperkenalkan oleh Tamura dan Yasuda pada tahun 2011 [9]. AOS ini digunakan untuk memperoleh titik optimum global dari $F(x)$. Untuk mengantisipasi terdapatnya lebih dari satu titik optimum global dari $F(x)$ yang masing-masingnya berkaitan dengan akar-akar yang berbeda dari sistem persamaan tak-linear $f_i(x)=0 \quad i=1,2,\dots,n$, akan dikemukakan suatu teknik *clustering*. Teknik ini berfungsi untuk mengidentifikasi dan melokalisasi akar-akar berbeda dari sistem persamaan tak-linear yang dihadapi ke dalam sejumlah hingga cluster. Selanjutnya AOS dipergunakan dimasing-masing *cluster* yang telah terbentuk tersebut untuk memperoleh akar-akar sistem persamaan tak-linear yang dicari.

3. OPTIMISASI SPIRAL DILENGKAPI TEKNIK CLUSTERING

AOS adalah salah satu algoritma metaheuristik yang mengambil inspirasi dari fenomena bentuk spiral di alam, seperti misalnya cangkang keong, pusaran angin pada siklon tropis, lengan pada galaksi spiral, yang bentuk atau lintasannya mengikuti kurva berbentuk spiral logaritmik

[9]. AOS dirancang untuk mencari titik optimum global khususnya untuk fungsi *multi-modal* dengan kemampuan menghindari terjebak pada titik-titik optimum lokal pada saat proses pencarian berlangsung. Dalam satu kali eksekusi AOS, hanya akan dihasilkan satu titik optimum global. Sehingga apabila terdapat lebih dari satu titik optimum global maka perlu melakukan berkali-kali eksekusi AOS untuk memperoleh sebanyak mungkin titik optimum global yang ingin dicari.

Pada masalah mencari akar-akar sistem persamaan tak-linear (1) yang dirumuskan sebagai masalah mencari titik-titik maksimum global untuk fungsi objektif (2) diperlukan berkali-kali eksekusi AOS untuk memperoleh seluruh akar-akar sistem persamaan tersebut. Berikut akan dipaparkan suatu gagasan yang memungkinkan kita untuk mencari keseluruhan akar tersebut dalam satu kali eksekusi algoritma. Untuk ini diperlukan suatu teknik *clustering* yang dapat menghasilkan sejumlah *cluster* yang berpotensi memuat akar-akar tersebut. Selanjutnya digunakan AOS pada masing-masing *cluster* yang telah diperoleh tersebut untuk menemukan akar-akar yang dicari. Sebagai catatan, sebuah *cluster* dengan pusat x dan jari-jari ρ adalah himpunan titik y yang memenuhi hubungan $\|x-y\| < \rho$.

Teknik clustering ini dimulai dengan menentukan nilai fungsi $F(x)$ untuk masing-masing titik yang diperoleh dari hasil menyebar titik-titik pencarian pada langkah awal AOS. Sebuah titik x , yang posisinya berada didekat akar tentunya akan memiliki nilai $F(x)$ yang dekat ke 1. Sehingga

jika x_i dan x_j dua buah titik berbeda yang masing-masing memiliki nilai $F(x) > \gamma$ dengan $0 < \gamma < 1$, maka kedua titik ini akan kita perhatikan untuk melakukan langkah berikutnya. Ambil titik tengah yang terletak diantara kedua titik tersebut, yaitu $x_r = (x_i + x_j) / 2$. Apabila $F(x_i) < F(x_r)$ dan $F(x_j) < F(x_r)$ maka x_i dan x_j akan dipandang sebagai calon/kandidat potensial untuk akar. Kita buat dua buah *cluster* dengan pusat masing-masing x_i dan x_j . Sementara itu jika dipenuhi $F(x_i) < F(x_r) < F(x_j)$ maka hanya titik x_j yang dipandang sebagai kandidat potensial untuk akar, sehingga kita buat cluster dengan pusat dititik x_j . Selanjutnya jika dipenuhi kondisi $F(x_i) > F(x_r)$ dan $F(x_j) > F(x_r)$ maka tidak hanya x_i dan x_j yang diperhitungkan sebagai kandidat akar tetapi juga x_r diperhitungkan sebagai salah satu kandidat akar. Sehingga setelah membuat dua *cluster* masing-masing dengan pusat di x_i dan di x_j , teknik *clustering* ini juga diterapkan lagi pada titik tengah antara x_i dan x_j . Rincian dari kombinasi antara teknik *clustering* ini dengan AOS dapat dilihat dalam artikel Sidarto dan Kania [10].

Langkah awal dari AOS dan juga teknik *clustering* adalah membangkitkan titik-titik pencarian secara acak/random. Masalah yang dihadapi adalah dapat terjadi sebaran titik yang diperoleh tidak terdistribusi secara merata pada daerah pencarian. Sebaran titik-titik awal pencarian yang merata sangat diperlukan dalam upaya pencarian seluruh akar sistem persamaan yang dihadapi, khususnya pada fase *clustering* diatas. Maka sebaran titik-titik pencarian awal dalam metode

ini dilakukan dengan bantuan membangkitkan titik-titik melalui barisan Sobol. Barisan Sobol yang merupakan salah satu *low discrepancy sequence* dapat menghasilkan sebaran titik yang lebih merata posisinya dalam daerah pencarian dibandingkan dengan membangkitkannya secara acak dengan bantuan *pseudo-random number*. Salah satu cara pembangkitan barisan Sobol ini diberikan oleh Joe dan Kuo [11]. Karena pembangkitan barisan Sobol tidak melibatkan pembangkitan *pseudo-random number*, metode kombinasi AOS dengan teknik clustering ini juga tidak melibatkan pembangkitan bilangan acak. Dengan demikian setiap kali kita mengeksekusi metode ini, untuk seperangkat nilai-nilai parameter yang sama, akan dihasilkan hasil yang selalu sama.

Sebagai ilustrasi dari metode kombinasi AOS yang dilengkapi dengan teknik *clustering* tersebut berikut ini ditampilkan beberapa contoh perhitungan. Semua perhitungan numeriknya dilakukan dengan menggunakan Notebook dengan processor Intel CoreTM i5 dengan ram 4 GB dan 1.6 GHz CPU running Ubuntu Linux 12.04. Program ditulis dalam C++ dan dikompilasi dengan menggunakan g++.

3.1 Akar-akar real sistem persamaan tak-linear

Contoh 1.

Sistem persamaan tak-linear (dari Sidarto dan Kania [10])

$$f_1(x_1, x_2) = 0.5 \sin(x_1 x_2) - 0.5 \frac{x_2}{\pi} - 0.5 x_1 = 0$$

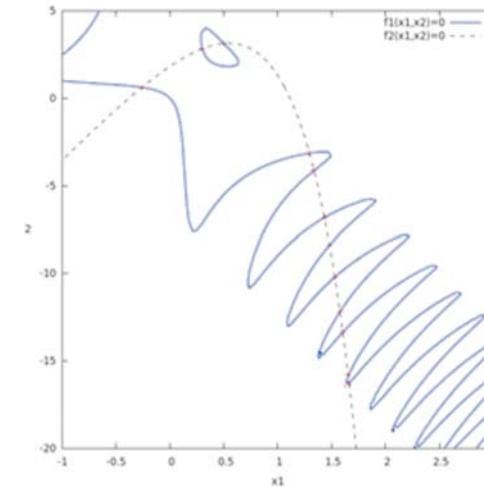
$$f_2(x_1, x_2) = \left(1 - \frac{0.25}{\pi}\right) (e^{2x_1} - e) + e \frac{x_2}{\pi} - 2ex_1 = 0$$

dengan $D = \{(x_1, x_2) : -1 \leq x_1 \leq 3, -17 \leq x_2 \leq 4\}$

Hasil pencarian akar/solusi ditampilkan pada Tabel 1. Gambar 1 memperlihatkan perpotongan antara dua kurva $f_1(x_1, x_2) = 0$ dan $f_2(x_1, x_2) = 0$. Titik-titik potong kedua kurva menghasilkan akar-akar sistem persamaan yang dicari. Metode AOS yang dilengkapi dengan teknik *clustering* berhasil memperoleh secara serentak kedua belas akar sistem dalam satu kali eksekusi program, yang memerlukan waktu 2.98 detik. Dengan menggunakan nilai-nilai parameter yang sama tetapi menggunakan *pseudo-random points*, bukan barisan Sobol, dari 100 kali eksekusi program hanya sebanyak 10 kali eksekusi program yang menghasilkan kedua belas akar tersebut secara serentak. Khususnya pada daerah pencarian $D^* = \{(x_1, x_2): 0.25 \leq x_1 \leq 1, 1.5 \leq x_2 \leq 2\pi\}$ hanya terdapat dua buah akar yang juga didapatkan oleh Tsoulos dan Stavrakoudis [5] serta oleh Sacco dan Henderson [6].

Tabel 1. Akar-akar sistem persamaan pada Contoh 1.

Solusi	x_1	x_2	$f_1(x_1, x_2)$	$f_2(x_1, x_2)$
1	-0.260599	0.622531	-7.744410e-08	-1.170240e-06
2	1.530510	-10.202200	-1.439340e-06	-1.100660e-05
3	1.663420	-16.282800	1.834820e-07	5.529120e-07
4	1.654580	-15.819200	-1.185450e-06	1.283770e-05
5	1.433950	-6.820760	-1.089920e-06	-8.665240e-06
6	1.578220	-12.176700	2.369380e-06	-1.521930e-05
7	1.337430	-4.140440	-5.178290e-07	8.814390e-06
8	0.500000	3.141590	-2.756650e-08	2.997340e-07
9	0.299449	2.836930	1.387110e-07	-4.428580e-07
10	1.604570	-13.362900	2.601460e-06	1.791030e-05
11	1.294360	-3.137220	-1.090360e-07	-8.951410e-06
12	1.481320	-8.383610	-2.211870e-06	1.276260e-05



Gambar 1. Grafik untuk persamaan $f_1(x_1, x_2) = 0$ dan $f_2(x_1, x_2) = 0$.

Contoh 1.

Sistem persamaan tak-linear (dari Sidarto dan Kania [6])

$$f_1(\mathbf{x}) = x_1 + \frac{x_2^2 x_4 x_6}{4} + 0.75 = 0$$

$$f_2(\mathbf{x}) = x_2 + 0.405 e^{1+x_1 x_2} - 1.405 = 0$$

$$f_3(\mathbf{x}) = x_3 - \frac{x_4 x_6}{2} + 1.5 = 0$$

$$f_4(\mathbf{x}) = x_4 - 0.605 e^{1-x_3^2} - 0.395 = 0$$

$$f_5(\mathbf{x}) = x_5 - \frac{x_2 x_6}{2} + 1.5 = 0$$

$$f_6(\mathbf{x}) = x_6 - x_1 x_5 = 0$$

dengan $D = \{\mathbf{x} : -5 \leq x_i \leq 5 \ i = 1, 2, \dots, 6\}$

Hasil pencarian akar/solusi ditampilkan pada Tabel 2. Metode AOS yang dilengkapi dengan teknik *clustering* berhasil menemukan dua buah akar sistem secara serentak dalam satu kali eksekusi program yang memerlukan waktu 7.66 detik. Dengan menggunakan nilai-nilai parameter yang sama tetapi menggunakan *pseudo-random points*, bukan barisan Sobol, dari 100 kali eksekusi program hanya sebanyak 69 kali eksekusi program yang menghasilkan kedua buah akar secara serentak. Sementara itu Luo et al. [1] dan Krzyworscka [12] hanya melaporkan sebuah akar yaitu $\mathbf{x} = (-1,1, -1,1, -1,1)^T$.

Tabel 2. Akar-akar sistem persamaan pada Contoh 2.

Solusi	$x_i (i = 1, 2, \dots, 6)$	$f_i(\mathbf{x}) (i = 1, 2, \dots, 6)$
Sol. 1	-1	0
	1	0
	-1	0
	1	0
	-1	0
	1	0
Sol. 2	-1.043200	-1.737000e-07
	-0.550936	-1.505690e-07
	0.431936	-6.547360e-07
	1.759660	1.496010e-07
	-2.104870	-1.618560e-07
	2.195810	2.951250e-07

- Metode AOS yang dilengkapi dengan teknik *clustering* ini, dengan sedikit modifikasi, juga dapat digunakan untuk mencari akar-akar

bilangan kompleks dari sistem persamaan tak-linear seperti ditunjukkan dalam Sidarto dan Kania [12].

- Sering terjadi dalam masalah optimisasi selain diinginkan titik optimum global nya juga diinginkan nilai-nilai optimum lokalnya. Ini terjadi dalam hal fungsi objektifnya merupakan fungsi yang multi-modal. Dengan melakukan beberapa modifikasi pada teknik clustering, kombinasi AOS dengan teknik clusteing juga dapat digunakan untuk mendapatkan tidak hanya titik-titik optimum global nya tetapi juga titik-titik optimum lokal nya pada daerah pencarian yang diberikan dalam satu kali eksekusi program (Sidarto et al. [13])
- Sementara itu Kania dan Sidarto [14] memanfaatkan AOS untuk menyelesaikan masalah optimisasi dengan kendala dalam kerangka Mixed Integer Non-linear Programming. Dalam Tesis S-2 nya Wina Novitasari [15] memanfaatkan AOS untuk menyelesaikan masalah dalam matematika keuangan yaitu penyusunan Portofolio Saham dengan pendekatan optimisasi multi-objektif.

4. SISTEM PERSAMAAN TAK-LINEAR PADA JARINGAN PIPA

4.1 Jaringan pipa distribusi air minum (dari Sidarto et al. [3])

Sistem distribusi air minum umumnya merupakan suatu jaringan perpipaan yang tersusun atas sistem pipa, pompa dan perlengkapan lainnya. Kompleksitas dari jaringan perpipaan ini menghadirkan masalah dalam distribusi debit dan tekanan yang berkaitan dengan

kriteria hidrolis yang harus terpenuhi dalam sistem pengaliran air bersih/air minum.

Untuk menyelesaikan masalah tersebut diperlukan suatu model sistem jaringan pipa distribusi air yang melibatkan pengetahuan yang menyangkut persamaan-persamaan dalam hidrolika saluran tertutup. Persamaan dasar yang terkait dengan hidrolika ini adalah persamaan kontinuitas dan kekekalan energi. Disamping itu diperlukan juga persamaan lain, yaitu persamaan kehilangan tekanan (*headloss*). Dengan menggabungkan persamaan-persamaan tersebut dapat dibangun suatu sistem persamaan yang menggambarkan sistem jaringan pipa distribusi air bersih.

Model jaringan distribusi air yang dikemukakan dalam paparan ini adalah model untuk kondisi tunak (*steady state*). Model ini dapat dimanfaatkan sebagai pendekatan untuk keadaan yang lebih realistis di lapangan yaitu keadaan aliran *unsteady* yang tentunya memerlukan analisis yang lebih kompleks. Perhatian dipusatkan pada penentuan distribusi tekanan dititik-titik (*node*) yang ditentukan atau diinginkan dan laju alir beserta arah alir air pada masing-masing segmen pipa pada jaringan pipa distribusi air. Dari sisi matematika model yang dihasilkan membawa kepada penyelesaian sistem persamaan tak linear yang besar. Dalam paparan ini penyelesaian dilakukan dengan membawa masalah tersebut menjadi masalah optimisasi kuadrat terkecil tak-linear yang selanjutnya diselesaikan secara iteratif dengan algoritma Levenberg-

Marquard. Algoritma Levenberg-Marquard pada dasarnya merupakan metode Gauss-Newton dengan *damping*. Parameter *damping* mempengaruhi baik arah maupun panjang langkah iterasi. Jika diawal proses iterasi titik iterasi masih jauh dari akar yang sesungguhnya maka akan sangat ideal jika pola iterasi *steepest descent*, yang dikenal cukup *robust*, digunakan. Selanjutnya jika sudah cukup dekat dengan akar yang akan dicari barulah pola Gauss-Newton, yang sensitif terhadap nilai (tebakan) awal tetapi memiliki laju konvergensi (hampir) kuadratik, diaktifkan. Pada metode Levenberg-Marquard peralihan pola iterasi ini dapat dilakukan secara adaptif, sehingga metode ini dipilih untuk menyelesaikan sistem persamaan tak-linear skala besar yang dihasilkan pada masalah jaringan pipa distribusi air yang dihadapi.

Model jaringan pipa distribusi air

Jaringan pipa distribusi tersusun atas sejumlah hingga segmen pipa dengan panjang dan diameter yang telah diketahui, yang menghubungkan N titik simpul (*node*). Titik simpul menyatakan lokasi tempat aliran air masuk atau ke luar dari jaringan pipa dan juga titik referensi untuk tekanan pada jaringan pipa. Diasumsikan aliran air dalam keadaan tunak; serta tidak terdapat pompa dan *control valves* pada jaringan pipa. Air mengalir dari *reservoir* ke dalam jaringan pipa secara gravitasi. Untuk persamaan aliran dalam pipa digunakan persamaan Hazen-Williams, yang populer digunakan. Dalam satuan *U.S. Customary System* diberikan oleh:

$$Q_{ij} = 0.4329 C_h D_{ij}^{2.63} \left(\frac{1}{L_{ij}} \left(\frac{p_i - p_j}{\gamma} + z_i - z_j \right) \right)^{0.54}$$

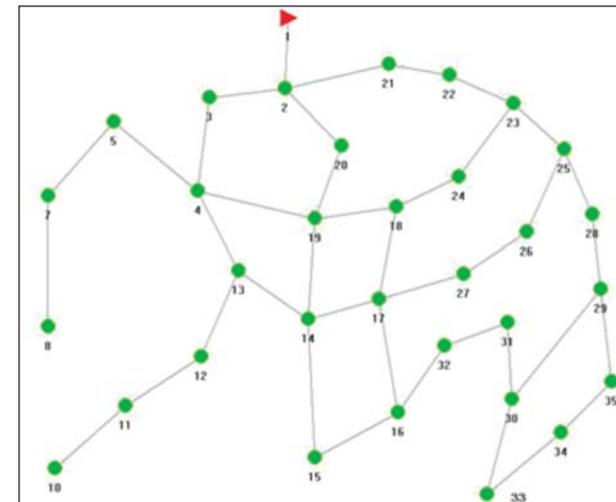
dengan Q_{ij} menyatakan laju alir (ft^3/s) dalam segmen pipa yang menghubungkan titik-titik simpul i dan j , p_i dan p_j , z_i dan z_j masing-masing menyatakan tekanan (lb/ft^2) dan ketinggian (*elevasi*) (ft) di titik-titik simpul i dan j . L_{ij} dan D_{ij} menyatakan panjang (ft) segmen pipa dan diameter-dalam (ft) pada segmen pipa antara titik-titik simpul i dan j . C_h adalah koefisien Hazen-Williams (tak berdimensi) dan γ ($= 62.4 lb/ft^3$) adalah berat spesifik air. Nilai C_h untuk pipa yang licin akan lebih besar dibandingkan dengan nilai C_h untuk pipa yang permukaannya lebih kasar.

Dari persamaan kontinuitas kita peroleh bahwa jumlah aljabar banyaknya air yang masuk dan ke luar dari sebuah titik simpul adalah sama dengan nol. Sehingga untuk sebuah titik simpul m yang bertetangga dengan titik simpul j dan k kita peroleh

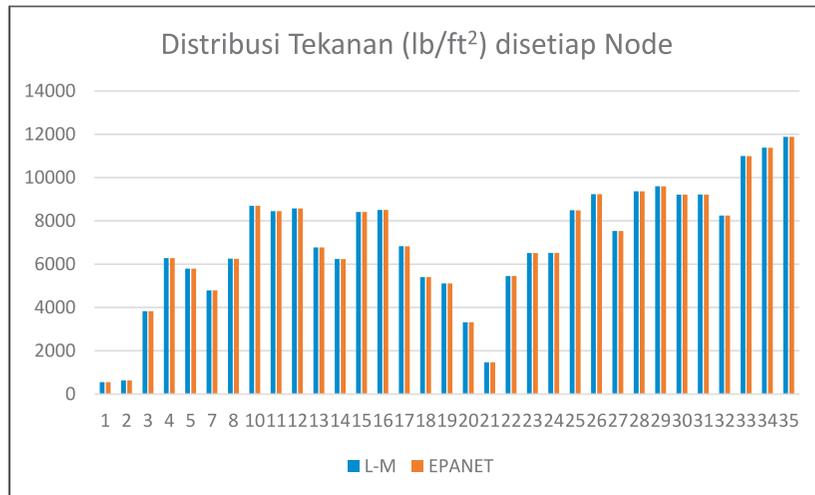
$$f_m = Q_{jm} + Q_{mk} + Q_{Nm} = 0$$

dengan Q_{Nm} adalah laju alir yang ke luar atau masuk ke dalam jaringan distribusi melalui titik simpul m . Untuk jaringan yang memiliki N titik simpul akan terdapat N persamaan serupa dengan persamaan di atas. Gambar 2 memperlihatkan sebuah jaringan pipa distribusi air bersih yang memiliki 33 titik simpul. Ini merupakan bagian dari jaringan pipa distribusi air minum dari PDAM Bandung. Air dialirkan dari titik simpul 1 (reservoir) ke 32 titik penyerahan. Sistem persamaan tak-linear yang

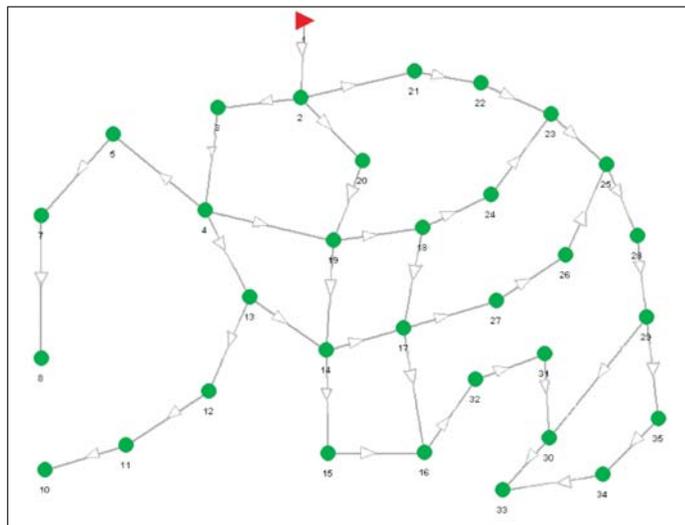
terkait memiliki 33 persamaan tak-linear dalam 33 peubah. Dengan menggunakan data jaringan dari PDAM Bandung, diperoleh hasil perhitungan tekanan pada masing-masing titik simpul/node. Hasil perhitungan ini ditampilkan secara grafis pada Gambar 3, sekaligus disertakan pula hasil perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak EPANET 2.0 yang dikembangkan oleh U.S. Environment Agency. Hasil perhitungan tekanan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan laju alir air pada masing-masing segmen pipa. Gambar 4 memperlihatkan arah alir air dalam jaringan tersebut.



Gambar 2. Skema jaringan pipa distribusi air dengan 33 titik dan 40 segmen pipa



Gambar 3. Distribusi tekanan pada setiap titik simpul/node



Gambar 4. Arah alir air pada jaringan pipa distribusi air di Gambar 1

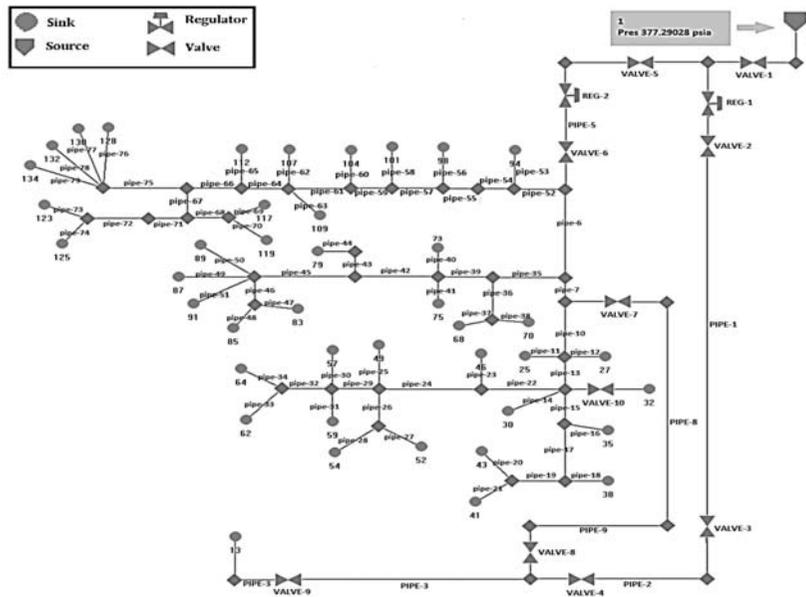
4.2 Jaringan pipa distribusi gas alam (dari Sidarto et al. [2])

Jaringan pipa gas terdiri dari pipa-pipa yang saling terhubung yang memungkinkan terjadinya aliran gas dalam keadaan tunak dari satu atau lebih titik suplai kepada satu atau lebih titik penyerahan. Jaringan pipa distribusi dapat dipikirkan sebagai sebuah graf terhubung dengan busur-busur graf merepresentasikan segmen-segmen pipa dan titik-titik simpul graf merepresentasikan titik-titik percabangan pipa serta sebagian lagi menyatakan titik-titik suplai dan titik-titik penyerahan. Model tunak aliran gas pada jaringan pipa distribusi dikemukakan pertama kali oleh Stoner [16] dengan menuliskan persamaan kekontinuan aliran pada masing-masing titik simpul graf, sehingga diperoleh sebuah sistem persamaan tak linear yang melibatkan tekanan pada masing-masing titik simpul. Dengan demikian masalah menentukan distribusi tekanan pada suatu jaringan pipa distribusi secara matematika menjadi masalah menentukan akar suatu sistem persamaan tak-linear.

Model jaringan pipa distribusi gas

Jaringan pipa yang akan dibahas disini dibatasi hanya pada jaringan pipa dengan posisi pipa horisontal, walaupun sebenarnya di lapangan jalur pipa akan mengikuti kontur geografis daerah yang dilaluinya. Berangkat dari model dengan pipa horisontal dapat dikembangkan untuk kondisi model dengan pipa tak horisontal [17], yang banyak dijumpai di lapangan. Jaringan pipa distribusi terdiri atas sejumlah hingga pipa yang menghubungkan N titik simpul. Pada sebagian dari

titik-titik simpul besarnya tekanan diketahui, sedangkan untuk sisanya besarnya tekanan akan dihitung. Gas mengalir melalui suatu segmen pipa karena adanya perbedaan tekanan pada kedua ujung pipa. Titik simpul merepresentasikan titik percabangan pipa ataupun titik masuk/ke luar aliran gas ke/dari jaringan. Untuk penyederhanaan, di sini diasumsikan bahwa seluruh pipa berada pada posisi horisontal, sistem berada dalam keadaan aliran tunak, kondisi isothermal, regulator dan *control valves* terdapat pada jaringan, kompresor tidak dijumpai pada jaringan. Gambar 5 berikut merupakan bagian dari jaringan pipa gas PGN.



Gambar 5. Skema jaringan pipa gas alam dengan 91 nodes dan 75 segmen pipa

Untuk persamaan aliran gas dalam pipa diberikan oleh (Ikoku [17])

$$Q_{ij} = a_1 E_{ij} \left(\frac{T_b}{P_b} \right)^{a_2} \left(\frac{P_i^2 - P_j^2}{T_{ij} z L_{ij}} \right)^{a_3} \left(\frac{1}{G_{ij}} \right)^{a_4} ID_{ij}^{a_5}$$

dengan Q_{ij} laju alir gas dalam pipa yang menghubungkan titik-titik simpul i dengan j . E_{ij} efisiensi pipa. T_b dan P_b masing-masing menyatakan *base temperature* dan *base pressure*. P_i dan P_j masing-masing menyatakan tekanan di *node i* dan *node j*. T_{ij} dan L_{ij} masing-masing menyatakan temperatur rata-rata dalam pipa dan panjang segmen pipa yang menghubungkan *node i* dengan *node j*. z menyatakan *gas deviation factor*. G_{ij} menyatakan *specific gravity*, sedangkan ID_{ij} menyatakan *inside diameter* pipa yang menghubungkan *node i* dengan *node j*. Sementara itu a_i $i = 1,2,3,4,5$ merupakan nilai-nilai parameter yang berkaitan dengan jenis persamaan aliran gas yang digunakan, diberikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai-nilai parameter persamaan aliran gas

Equation	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
Panhandle A	435.87	1.0788	0.5394	0.4604	2.618
Panhandle B	737.0	1.02	0.510	0.490	2.530
Weymouth	433.5	1.0	0.5	0.5	2.667

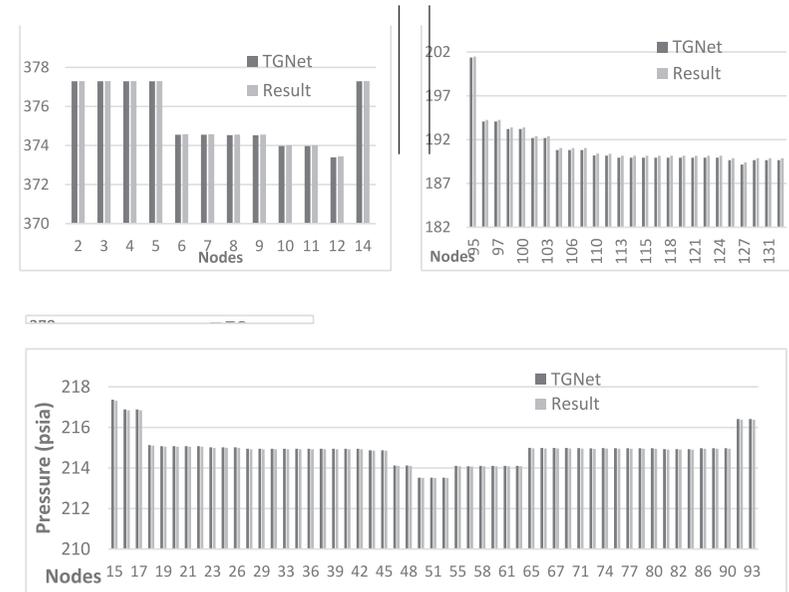
Persamaan aliran gas yang melewati *control valve* dan *regulator* diberikan oleh

$$Q_{ij} = C_{ij} \sqrt{\frac{P_i^2 - P_j^2}{2G_{ij}T_{ij}}}$$

dengan C_{ij} menyatakan koefisien *valve/regulator* yang menghubungkan

node i dengan node j . Pada model *valve*, nilai dari koefisien C_{ij} diberikan, sedangkan nilai-nilai dari *upstream* dan *downstream pressures*, P_i dan P_j dihitung. Sedangkan pada model regulator, nilai dari *downstream pressure* P_j diberikan, sedangkan nilai dari koefisien C_{ij} dan *upstream pressure* P_i dihitung.

Dengan menggunakan data-data yang diberikan [2], berikut ditampilkan secara grafis pada Gambar 6 hasil perhitungan distribusi tekanan pada jaringan pipa distribusi gas alam pada Gambar 5. Pada gambar tersebut disertakan juga hasil perhitungan dengan perangkat lunak TGNNet sebagai bahan perbandingan. Hasil perhitungan yang ditampilkan tersebut adalah untuk model jenis aliran Panhandle A. Perangkat lunak yang dihasilkan dari model yang dikembangkan ini diberi nama DisNet. Jaringan pada Gambar 5 tersusun atas 91 *nodes* terdiri atas 1 *inlet/source*, 42 *outlets* dan 48 *junctions*. Jaringan tersebut memiliki 10 *valves* dan 2 *regulators*. Sistem persamaan tak-linear yang dihasilkan terdiri atas 91 persamaan dalam 91 peubah, yang sebagian besar nya adalah tekanan pada *nodes*. Penyelesaian dilakukan dengan menggunakan metode Broyden yang menghitung matriks Jacobi dari sistem persamaan hanya pada iterasi pertama, selanjutnya dilakukan teknik *rank-one update* untuk iterasi-iterasi berikutnya. Hasil perhitungan yang diperoleh terlihat sangat dekat dengan yang diperoleh melalui TGNNet. Dengan diperolehnya hasil perhitungan tekanan pada setiap *nodes*, maka berikutnya arah alir gas dalam jaringan dapat ditentukan.



Gambar 6. Hasil perhitungan tekanan pada tiap *node* dengan menggunakan DisNet dan TGNNet

DAFTAR PUSTAKA

1. Y. Z. Luo, G.J. Tang and L.N. Zhou, "Hybrid approach for solving system of nonlinear equations using chaos optimization and quasi-Newton method", *Applied Soft Computing*, Vol. 8, pp.1068-1073, 2008.
2. K.A. Sidarto, A. Kania, L. Mucharam, Darmadi and R.A. Widhymarmanto, "Determination of gas pressure distribution in a pipeline network using the Broyden method", *J. Eng. Technol. Sci.*, Vol. 49, No. 6, pp. 750-769, 2017.

3. K.A. Sidarto, R. Hadianti, L. Mucharam, A. Trisnobudi, L.S. Riza, C.K. Widita, Darmadi, Mardianto and L.T. Habibie, "Pemodelan untuk penghitungan *headloss* jaringan pipa distribusi air. Studi kasus : Jaringan distribusi air PDAM Kota Bandung", Prosiding Konferensi Nasional Matematika XIV, Palembang, 24-27 Juli 2007.
4. R.L. Burden and J.D. Faires, "Numerical Analysis", 7th ed., Brooks/Cole, 2001.
5. I.G. Tsoulos and A. Stravakoudis, "On locating all roots of system of nonlinear equations inside bounded domain using global optimization methods", Nonlinear Analysis: real World Applications, Vol. 11, pp. 2465-2471, 2010.
6. W.F. Sacco and N. Henderson, "Finding all solutions of nonlinear systems using hybrid meta-heuristic method with Fuzzy Clustering Means", Applied Soft Computing, Vol. 11, pp. 5424-5432, 2011.
7. C. Grosan and A. Abraham, "A new approach for solving Nonlinear equations systems", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. 38, No. 3, pp. 698-714, 2008.
8. W. Song, Y. Wang, H.X. Li and Z. Cai, "Locating multiple optimal solutions of nonlinear equations systems based on multiobjective optimization", IEEE Trans. Evol. Comput., Vol. 19, No. 3, pp. 414-431, 2015.
9. K. Tamura and K. Yasuda, "Spiral Dynamics Inspired Optimization",

J. of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol. 15, No. 8, pp. 1116-1122, 2011.

10. K.A. Sidarto and A. Kania, "Finding all solutions of systems of nonlinear equations using spiral dynamics inspired optimization with clustering", J. of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol. 19, No. 5, pp. 697-707, 2015.
11. S. Joe and S.Y. Kuo, "Constructing Sobol sequences with better two dimensional projections", SIAM J. Sci. Comput., Vol. 30, pp. 2635-2654, 2008.
12. K.A. Sidarto and A. Kania, "Computing complex roots of systems of nonlinear equations using Spiral Optimization Algorithm with Clustering", Proc. ICCST 2017 Kuala Lumpur, R. Alfred et al. (Eds.) in LNEE 488, pp. 390-398, Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018.
13. K.A. Sidarto, A. Kania and N. Sumarti, "Finding multiple solutions of multimodal optimization using spiral optimization algorithm with clustering", MENDEL-Soft Computing Journal, Vol. 23, No. 1, pp. 95-102, June 2017.
14. A. Kania and K.A. Sidarto, "Solving mixed integer nonlinear programming problems using spiral dynamics optimization algorithm", AIP Conference Proceedings 1716, 020004 (2016); doi: 10.1063/1.4942987
15. W. Novitasari, "Optimisasi portofolio untuk ukuran risiko *mean*

variance dan *variance with skewness* dengan menggunakan metode optimisasi spiral”, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, 2017.

16. Stoner, M.A, “Steady-state analysis of gas production, transmission and distribution system”, paper SPE 2554 presented at the SPE 44th Annual Fall Meeting, Denver, Colo. USA, Sept. 28-Oct. 1, 1969.
17. C.U. Ikoku, “Natural gas production engineering”, John Wiley & Sons, New York, 1992.

PENENTUAN HARGA WAJAR OPSI SAHAM KARYAWAN

PENDAHULUAN

Opsi Saham Karyawan (selanjutnya ditulis OSK) adalah opsi yang diberikan dengan tanpa membeli, kepada sekelompok karyawan dalam suatu perusahaan untuk membeli saham perusahaan itu sendiri. OSK memberikan hak, bukan kewajiban, kepada pemiliknya untuk membeli sejumlah saham perusahaan dengan harga yang telah ditetapkan (harga eksekusi) pada saat opsi diberikan dan dengan masa jatuh tempo yang telah ditetapkan. Gagasan pemberian OSK diantaranya adalah untuk menyelaraskan insentif yang akan diperoleh karyawan dengan keinginan para pemilik saham perusahaan. Pemberian OSK kepada karyawan akan memacu karyawan untuk bekerja lebih optimal sehingga kinerja perusahaan semakin bagus yang berdampak pada semakin membaiknya harga saham perusahaan. Pada gilirannya hal ini akan meningkatkan besarnya insentif yang diperoleh oleh karyawan dari hasil pelaksanaan OSK yang dimilikinya. Adanya masa tunggu (*vesting period*) sebagai salah satu fitur OSK memberi kesempatan kepada perusahaan untuk dapat mempertahankan karyawan penerima OSK tetap bekerja pada perusahaan paling tidak selama masa tunggu tersebut. Penentuan harga yang wajar (*fair value*) untuk OSK menjadi bagian yang diharapkan ada untuk penyusunan neraca perusahaan, khususnya bagi perusahaan yang menggunakan OSK sebagai salah satu strategi untuk memberikan

insentif bagi karyawannya dalam bentuk kompensasi berbasis saham. Penentuan nilai wajar OSK menurut PSAK No.53: Akuntansi Kompensasi Berbasis Saham, ditentukan dengan menggunakan model penentuan harga opsi, antara lain dengan model Black-Scholes atau model binomial. Mengingat fitur-fitur khusus yang dimiliki OSK maka penentuan nilai wajar OSK dengan model binomial dipandang lebih sesuai dibandingkan dengan model Black-Scholes (Folami, L.B. et al., 2006; West, G., 2005; Baril, C. et al., 2007). Paparan ini mengemukakan pemanfaatan suatu model trinomial untuk penentuan nilai wajar OSK berdasarkan model Hull-White untuk OSK, dilengkapi dengan paparan sensitifitas nilai wajar OSK terhadap beberapa parameter OSK. Sidarto (2009) menggunakan model binomial, sedangkan Sidarto dan Puspita (2011) menggunakan model simulasi Monte Carlo untuk penentuan nilai wajar OSK.

FITUR-FITUR KHUSUS OSK

OSK memiliki beberapa perbedaan dengan opsi yang diperdagangkan di pasar opsi regular (Rubinstein, 1995). Berikut ini beberapa fitur khusus yang dimiliki oleh OSK.

1. Merupakan *opsi call* yang diterbitkan oleh suatu perusahaan atas saham perusahaan itu sendiri.
2. Memiliki masa tunggu (*vesting period*) dimana pada masa tunggu ini opsi tidak dapat dilaksanakan (*diexercise*); Jika karyawan keluar dari perusahaan (sukarela ataupun tidak) dalam periode masa tunggu maka opsi batal; Jika karyawan keluar dari perusahaan (sukarela

ataupun tidak) setelah masa tunggu, maka opsi dapat dilaksanakan segera jika harga pasar saham dalam keadaan *in-the-money*, tetapi opsi tidak dapat dilaksanakan jika harga pasar saham dalam keadaan *out-of-the money*.

3. Karyawan tidak boleh menjual OSK yang dimilikinya. Sehingga jika karyawan ingin segera mewujudkan OSK yang dimilikinya dalam bentuk tunai maka karyawan tersebut haruslah menjual saham yang akan diperolehnya. Keadaan ini mendorong OSK untuk dilaksanakan lebih cepat sebelum masa jatuh temponya (karyawan melakukan *early exercise*). Hal ini dimungkinkan karena pada dasarnya OSK dapat dilaksanakan setiap saat, jika memungkinkan, setelah periode masa tunggu berakhir hingga masa jatuh temponya. Umumnya OSK memiliki masa jatuh tempo yang lama (beberapa tahun).

Mengingat sifat-sifat yang dimiliki OSK tersebut, maka tentulah model Black-Scholes untuk penentuan harga opsi tidak sepenuhnya dapat digunakan untuk menentukan harga (nilai) wajar OSK pada saat diberikan kepada karyawan. Dalam kaitan inilah model penentuan harga opsi dengan metoda *lattice* (binomial maupun trinomial) dapat dimanfaatkan, tentunya dengan melakukan modifikasi untuk memenuhi fitur-fitur OSK. Model penentuan harga OSK dengan menggunakan model binomial pertama kali dikemukakan oleh John Hull dan Allan White (Hull and White, 2004). Dalam menentukan harga wajar OSK, Hull dan White secara eksplisit memasukkan parameter laju karyawan

meninggalkan perusahaan (*employee exit rates*) sebelum maupun setelah masa tunggu berakhir. Model juga diharapkan dapat memasukkan strategi karyawan dalam melakukan *early exercise*. Untuk ini diasumsikan bahwa *early exercise* terjadi jika harga pasar saham mencapai paling sedikit sebesar kelipatan M dari harga pelaksanaan K (*strike price*). Hull dan White (2004) menggunakan model binomial yang merupakan modifikasi dari model binomial untuk opsi *call* Eropa.

Penggunaan binomial *lattice* pada model binomial penentuan harga opsi yang memiliki *barrier* (*barrier option*), memiliki keterbatasan yaitu adanya kesulitan untuk dapat meletakkan titik-titik simpul (*lattice nodes*) tepat pada barrier. Ini akan berpengaruh pada berkurangnya tingkat akurasi yang bisa dicapai pada penentuan harga opsinya (Ritchken, 1995). Pada model OSK dari Hull-White situasi tersebut muncul yaitu dengan adanya *barrier* psikologis $B = M K$. Untuk mengatasi masalah tersebut pada paparan ini ditampilkan penggunaan model trinomial Ritchken untuk penentuan harga OSK model Hull-White.

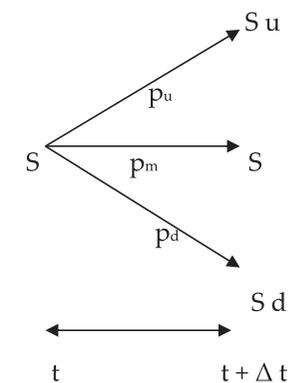
Jika pada model binomial harga saham hanya bisa naik atau turun, maka pada model trinomial harga saham dapat naik, turun ataupun tetap. Dengan demikian model trinomial bersifat lebih fleksibel karena memiliki tiga kemungkinan perubahan harga saham dibandingkan dengan hanya dua pada model binomial. Khususnya berkaitan dengan opsi *barrier* yang merupakan salah satu fitur dari model OSK Hull-White, model trinomial dari Ritchken (Ritchken, 1995) akan sangat membantu.

Jika $B = M K$ merupakan *barrier* psikologis, maka parameter-parameter model trinomial Ritchken diberikan oleh:

$$\eta = \frac{\ln(B/S_0)}{\sigma/\sqrt{\Delta t}} \quad n_0 = \lceil \eta \rceil \quad \gamma = \eta/n_0 \quad u = e^{\gamma\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad d = 1/u = e^{-\gamma\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

$$p_u = \frac{1}{2\gamma^2} + \frac{(r-D-\frac{1}{2}\sigma^2)\sqrt{\Delta t}}{2\gamma\sigma} \quad p_m = 1 - \frac{1}{\gamma^2} \quad p_d = \frac{1}{2\gamma^2} - \frac{(r-D-\frac{1}{2}\sigma^2)\sqrt{\Delta t}}{2\gamma\sigma}$$

Berikut skema model trinomial:



Gambar 1. Pergerakan harga saham model trinomial satu periode

Pada formula di atas, S_0 merupakan harga saham pada saat $t = 0$, σ = volatilitas harga saham, r = suku bunga bebas resiko, D = *dividend yield*, u = faktor inkremen kenaikan harga saham, d = faktor inkremen penurunan harga saham, p_u = peluang harga saham naik, p_m = peluang harga saham tetap, dan p_d = peluang harga saham turun.

Menggunakan model trinomial Ritchken tersebut akan dihasilkan suatu *lattice* berupa pohon trinomial harga-harga saham yang memiliki

satu lapis titik-titik simpul (*nodes*) yang tepat terletak berimpit dengan *barrier* psikologis OSK.

CONTOH ILUSTRATIF

Sebuah perusahaan publik memberikan OSK kepada karyawannya dengan masa jatuh tempo selama 10 tahun. Pada saat OSK diberikan (*grant date*) harga pasar saham perusahaan tersebut adalah sebesar \$ 50 dan harga eksekusi (*strike price*) opsi diambil sama dengan harga pasar saham saat itu yaitu \$ 50. Opsi memiliki masa tunggu (*vesting period*) selama 3 tahun. Data perusahaan menyatakan bahwa besarnya *exit rate* karyawan adalah sebesar 6% per tahun. Misalkan diketahui besarnya volatilitas saham adalah 30%, suku bunga bebas resiko adalah 5% serta besarnya *dividend yield* adalah 2.5%.

Dengan asumsi nilai $M=1.5$ dan menggunakan $N = 500$, kita peroleh harga OSK pada saat diberikan (*grant date*) sebesar:

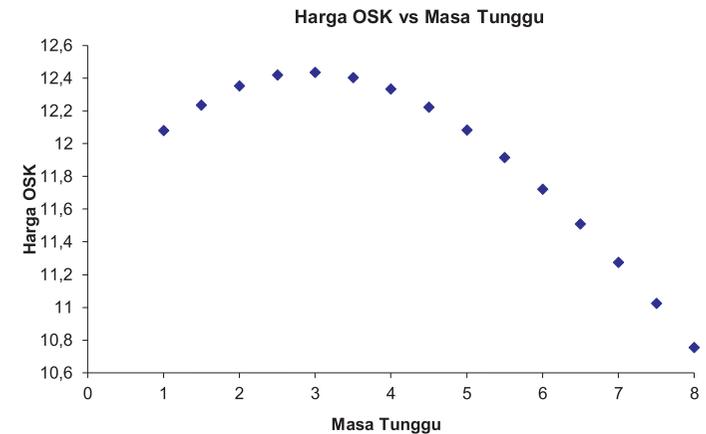
Tabel 1. Data OSK

S_0	K	T	v	r	σ	D	λ	M	N
50	50	10	3	0.05	0.3	0.025	0.06	1.5	500

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai OSK

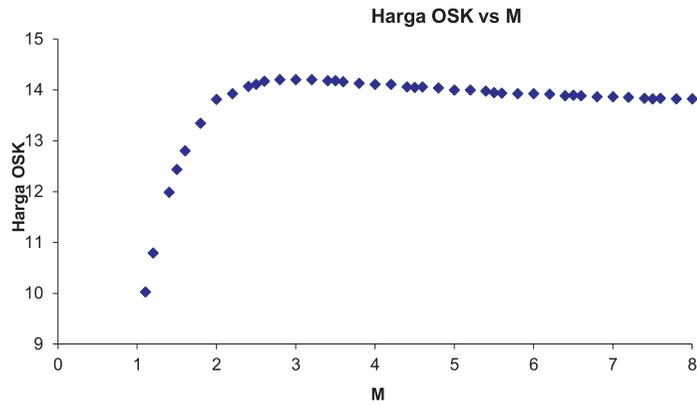
Binomial Hull-White	\$ 12.54966
Trinomial Hull-White	\$ 12.43478

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh berbagai parameter terhadap harga OSK pada saat diberikan, ditampilkan beberapa grafik hubungan antara harga OSK terhadap berbagai parameter. Grafik-grafik itu ditampilkan pada Gambar 2 hingga Gambar 6.



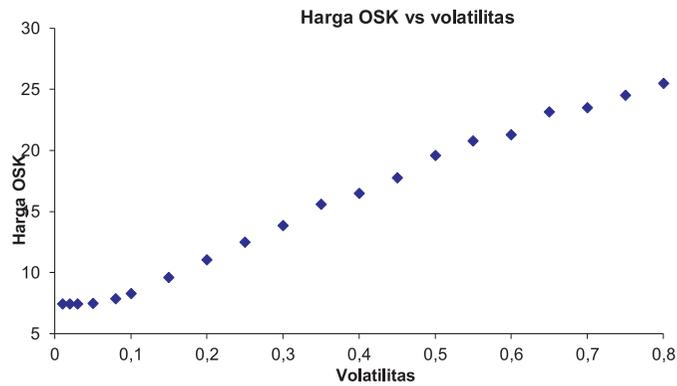
Gambar 2. Harga OSK vs Masa Tunggu

$$S_0 = 50, K = 50, r = 0.05, \sigma = 0.3, \lambda = 0.03, T = 10, D = 0.025, \\ M = 1.5, N = 500$$



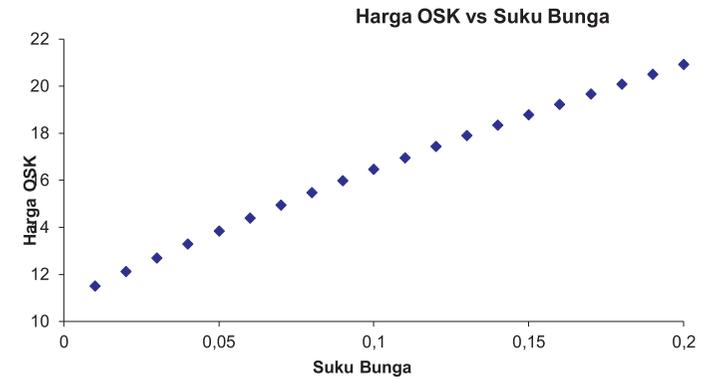
Gambar 3. Harga OSK vs M

$S_0 = 50, K = 50, r = 0.05, \sigma = 0.3, \lambda = 0.03, T = 10, \nu = 3, D = 0.025,$
 $N = 500$



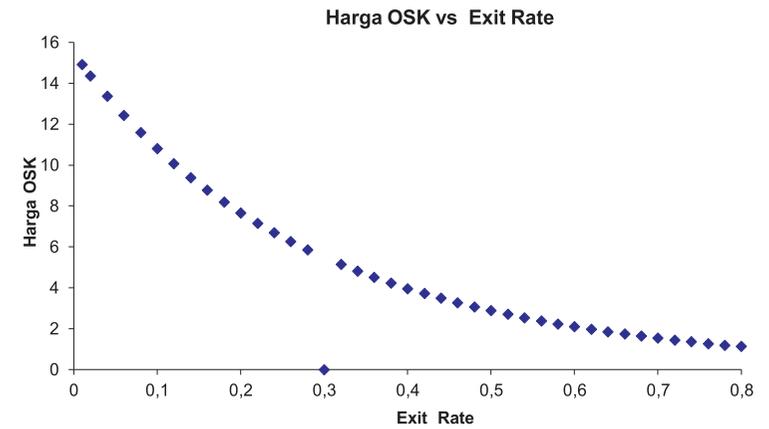
Gambar 4. Harga OSK vs Volatilitas

$S_0 = 50, K = 50, r = 0.05, \lambda = 0.03, T = 10, \nu = 3, D = 0.025, M = 1.5,$
 $N = 500$



Gambar 5. Harga OSK vs Suku Bunga

$S_0 = 50, K = 50, \sigma = 0.3, \lambda = 0.03, T = 10, \nu = 3, D = 0.025, M = 1.5,$
 $N = 500$



Gambar 6. Harga OSK vs Exit Rate

$S_0 = 50, K = 50, r = 0.05, \sigma = 0.3, T = 10, \nu = 3, D = 0.025, M = 1.5,$
 $N = 500$

BEBERAPA CATATAN

Salah satu parameter model penentuan nilai OSK di atas adalah laju karyawan ke luar dari perusahaan, yaitu λ . Untuk menentukan besarnya λ , dapat dimanfaatkan data-data yang menyangkut *employee turnover rates* pada masing-masing kategori jabatan/posisi karyawan dalam perusahaan. Dapat terjadi bahwa *employee turnover rate* untuk karyawan pada posisi *middle management* misalnya, berbeda dengan mereka yang menduduki jabatan puncak perusahaan. Begitu pula dapat terjadi nilai λ sebelum masa tunggu berakhir akan lebih kecil dibandingkan dengan sesudah masa tunggu berakhir. Penggunaan nilai λ yang berbeda pada perioda yang berbeda dapat diakomodasi dengan mudah pada model ini.

Umumnya, karena berbagai alasan seperti likuiditas, karyawan melaksanakan OSK yang dimilikinya sebelum jatuh temponya. Situasi ini dapat diakomodasi oleh model *lattice* untuk OSK di atas.

OSK biasanya memiliki waktu jatuh tempo yang cukup lama (beberapa tahun) sehingga asumsi bahwa volatilitas saham serta suku bunga bebas resiko adalah konstan menjadi perlu dicermati lagi validitasnya. Situasi ini sedikit banyak dapat diantisipasi oleh model *lattice* dengan mendesain nilai σ dan r yang berbeda pada masing-masing perioda waktu pada model *lattice* nya.

Menarik untuk dicermati dari Gambar 2 sampai Gambar 6 bahwa grafik hubungan antara harga OSK terhadap lamanya waktu tunggu, yaitu Gambar 2, merupakan grafik yang cekung ke bawah, jadi memiliki

suatu nilai maksimum untuk suatu nilai masa tunggu. Memang jika masa tunggunya cukup panjang maka sisa waktu untuk melaksanakan OSK nya akan semakin pendek yang tentunya akan memperkecil peluang keberhasilan pelaksanaan OSK. Juga menarik adalah hubungan antara harga OSK terhadap nilai M yang berkaitan dengan *barrier* psikologis, yang ditampilkan pada Gambar 3. Semakin besar nilai M dan jika harga sahamnya bisa melebihi *barrier* psikologis maka akan didapat *payoff* yang besar jika OSK nya dieksekusi. Ini tentunya akan memperbesar harga OSK nya. Tetapi semakin besar M tentunya semakin tidak mudah harga sahamnya untuk melampaui *barrier* psikologisnya, sehingga tidak akan diperoleh *payoff* yang semakin besar untuk harga M yang besar. Ini tercermin dari Gambar 3 bahwa harga OSK tidak semakin naik dengan bertambah besarnya nilai M .

Secara umum harga OSK akan membesar jika volatilitas saham dan suku bunga bebas resiko nilainya membesar seperti terlihat pada Gambar 4 dan 5. Suatu keadaan yang juga dijumpai pada opsi *call* standar.

Selanjutnya semakin besar nilai laju karyawan ke luar dari perusahaan (*exit rate*) maka akan semakin kecil pula kesempatan bahwa OSK sempat dan bisa dilaksanakan. Situasi ini tercermin pada Gambar 6.

MODEL DENGAN BARIER PSIKOLOGIS TIDAK KONSTAN

Dari pengamatan secara empiris ditengarai bahwa pada awal waktu setelah masa tunggu berakhir, umumnya karyawan melakukan eksekusi

OSK nya pada harga saham yang cukup tinggi di atas harga *strike price* . Tetapi semakin mendekati waktu jatuh tempo eksekusi OSK dilakukan pada harga saham yang tidak harus terlalu jauh dari *strike price*. Dikaitkan dengan model Hull-White situasi ini memberikan gagasan untuk memodifikasi model Hull-White dengan membagi selang waktu antara setelah masa tunggu berakhir hingga waktu jatuh tempo ke dalam beberapa sub-selang. Pada masing-masing sub-selang tersebut diberikan *barrier* psikologis konstan yang berbeda, semakin rendah harganya mendekati waktu jatuh tempo. Situasi ini dieksplorasi lebih jauh dalam artikel oleh Chendra dan Sidarto (2019) dengan menggunakan metode bino-trinomial yang mampu menangani masalah *multiple barrier option*.

DAFTAR PUSTAKA

- Amman, M and R. Seiz. 2004. Valuing Employee Stock Options: Does the Model Matter?, *Financial Analysts Journal* vol.60 no. 5: 21-37.
- Baril, C., L. Betancourt and J. Briggs. 2007. Valuing employee stock options under SFAS 123R using the Black-Scholes-Merton and lattice models approaches. *Journal of Accounting Education* 25: 88-101.
- Chendra, E. and K.A. Sidarto. 2019. An improved of Hull-White model for valuing Employee Stock Options (ESOs). Review of Quantitative Finance and Accounting. <https://doi.org/10.1007/s11156-019-00802-x> (Published online: 08 March 2019)
- Folami, L.B., T. Arora and K.L. Alli. 2006. Using Lattice Models to Value

Employee Stock Options under SFAS 123(R), *The CPA Journal*, September.

- Hull, J.C. and A. White. 2004. How to Value Employee Stock Options. *Financial Analysts Journal* vol. 60, no. 1, Jan/Feb: 114-119.
- Ikatan Akuntan Indonesia. 1998. *PSAK No.53: Akuntansi Kompensasi Berbasis Saham*.
- Ritchken, P. 1995. On Pricing Barrier Options. *The Journal of Derivatives*, (Winter): 19-28.
- Rubinstein, M. 1995. On the Accounting Valuation of Employee Stock Options. *Journal of Derivatives*, vol.3, no.1: 8-24.
- Sidarto, K.A. 2009. Penentuan Harga Opsi Saham Karyawan dengan Model Binomial. *Indonesian Journal of Banking and Finance*, vol.1, no.1: 77-84.
- Sidarto, K.A. and D. Puspita. 2011. Valuing Employee Stock Options using Monte Carlo Method. Proc. of the 6th SEAMS-UGM Conference, Yogyakarta, 12th-15th July, pp. 813-820.
- West, G. 2005. Employee Stock Options. (<http://www.riskworx.com/pdf/esoPDF5>, diakses 5 Juni 2008).

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas semua karunia yang telah dilimpahkan Nya hingga saat ini. Perkenankanlah saya menyampaikan

ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat Rektor dan Pimpinan ITB, Pimpinan dan Anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan untuk menyampaikan orasi ilmiah dihadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat ini.

Penghargaan dan terimakasih yang sebesar-besarnya atas semua dukungan terus menerus dari semua pihak. Pencapaian jabatan guru besar ini tentunya bukan semata-mata suatu capaian pribadi melainkan banyak pihak yang turut memberikan andil mendukungnya.

Terimakasih selanjutnya saya sampaikan kepada keluarga saya, khususnya kepada isteri tercinta Misyetti yang telah mendahului menghadap Yang Maha Kuasa, dan anak saya Ernita Hanifa atas segala dukungan, perhatian dan kebersamaan serta doanya yang terus diberikan. Terimakasih juga kepada keluarga besar saya dan keluarga besar almarhumah isteri saya yang terus menerus menjalin silaturahmi dan kebersamaan.

Jasa para guru sejak pendidikan dasar, menengah dan pendidikan tinggi sangatlah besar. Saya menyampaikan terimakasih sebesar-besarnya atas bimbingan yang telah diberikan sejak awal meniti karier di ITB antara lain kepada Prof. M. Ansyar, Alm. Prof. Arifin, Prof. Bambang Hidayat dari Prodi Astronomi, Alm. Prof Moedomo, Alm. Prof. Nababan, Alm. Prof. Suryadi dan juga Prof. R.K. Sembiring. Lingkungan ITB memberikan atmosfer kerja yang menyenangkan. Terimakasih kepada Pimpinan, para staf Pengajar dan staf tata-usaha Prodi Matematika dan

juga FMIPA. Terimakasih kepada Prof. Edy Soewono atas dukungan, dan kepercayaan yang telah diberikan selama ini. Juga khususnya kepada rekan-rekan KK Matematika Industri dan Keuangan atas dukungan, kepercayaan dan persahabatan selama ini.

Terimakasih juga kepada rekan-rekan di RC-OPPINET atas dukungan dan persahabatan yang telah terjalin selama ini. Juga kepada Prof. Septorotno Siregar, dari Prodi Teknik Perminyakan dan Ketua R.C. OPPINET atas dukungan, kepercayaan dan persahabatan yang telah diberikan selama ini.

CURRICULUM VITAE



Nama : **KUNTJORO ADJI SIDARTO**
Tmpt. & tgl. lhr. : Yogyakarta, 4 September 1953
Kel. Keahlian : Matematika Industri dan
Keuangan
Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung 40132
Nama Istri : Misyetti (Almh)
Nama Anak : Ernita Hanifa

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- S-3 bidang Matematika, Université de Montpellier, France, 1981.
- S-2 bidang Matematika, Université de Montpellier, France, 1978.
- S-1 bidang Matematika, Institut Teknologi Bandung, 1976.

II. RIWAYAT KERJA DI ITB

- Staf Pengajar Program Studi Matematika FMIPA-ITB, 1977-sekarang
- Kepala, Laboratorium Komputasi S-1 Prodi MA-ITB, 1999-2001.

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- Pembina Tingkat I, IV/b, 1 April 2010.

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Lektor Kepala, 1 November 2005
- Profesor/Guru Besar, 1 Agustus 2018

V. PUBLIKASI

Buku :

1. **Sidarto, K.A.** and Kania, A. 2018. Computing Complex Roots of Systems of Nonlinear Equations Using Spiral Optimization Algorithm with Clustering. Lecture Notes in Electrical Engineering (LNEE) 488, pp. 390-398, Springer Nature Singapore Pte Ltd.
2. **Sidarto, K.A.**, Syamsuddin, M. dan Sumarti, N. 2018. Matematika Keuangan, ITB Press.

Jurnal Internasional:

1. Nuraeni, N., Soewono, E. and **Sidarto, K.A.** 2007. "A Mathematical Model of Dengue Internal Transmission Process". Journal Indones. Math. Soc., vol. 13, no. 1, pp. 123-132.
2. Nuraeni, N., Soewono, E. and **Sidarto, K.A.** 2007. "A Mathematical Model of Dengue Disease Transmission with Severe DHF Compartment". Bull. Malays. Math. Sci. Soc., vol. 30, no. 2, pp. 15-29.
3. Pudjo Sukarno, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Amoranto Trisnobudi, Delint Ira Setyoadi, Nancy Rohani, Darmadi. "Leak Detection Modeling and Sumulation for Oil Pipeline with Artificial Inteligence Method". ITB J. Eng. Sci. Vol. 39 B, No. 1, 2007, 1-19
4. Tasman, H., Soewono, E., **Sidarto, K.A.**, Syafrudin, D. and Rogers, W.O. 2009. "On the Effect of Anti-Malarial Drug Treatment to the Transmission of Drug Resistance". Mathematical Biosciences and Engineering, vol. 6, number 3, July 2009, pp. 649 – 662.
5. Sukarno, P., Saepudin, D., Dewi, S., Soewono, E., **Sidarto, K.A.** and Gunawan, A.Y. 2009. "Optimization of Gas Injection Allocation in a Dual Gas Lift Well System". Journal of Energy Resources Technology, Transaction of the ASME. Vol. 131, pp. 033101-1 – 033101-7, September 2009.
6. Nuraeni, N., Tasman, H., Soewono, E. and **Sidarto, K.A.** 2009. "A with-in host Dengue infection model with immune response". Mathematical and Computer Modeling, 49, 1148-1155
7. Deni Saepudin, Pudjo Sukarno, Edy Soewono, **Kuntjoro Adji Sidarto** and Agus Yodi Gunawan, 2010. "Oil Production Optimization in a Cluster of Gas Lift Wells System". Journal of Applied Sciences, 10: 1705-1713.
8. Aang Nuryaman, Agus Yodi Gunawan, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Yogi Wibisono Budhi. "A Singular Pertubation Problem for Steady State Conversion of Methane Oxidation in a Reverse Flow Reactor". ITB. J. Sci., Vol. 44A, No. 3, 2012, 2755-284,
9. Tutuka Ariadji, Pudjo Sukarno, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Edy Soewono, Lala Septem Riza, Kenny David. "Optimization of Vertical Well Placement for Oil Field Development Based on Basic Reservoir Rock Properties using Genetic Algorithm". ITB. J. Eng. Sci., Vol. 44, No.2, 2012, 106-127,
10. Rieske Hadianti, Khusnul Novianingsih, Saladin Uttungadewa, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Novriana Sumarti, Edy Soewono, "Optimization Model for an Airline Crew Rostering Problem: Case of Garuda Indonesia". J. Math. Fund. Sci. , Vol. 45, No.3, 2013, 218-234
11. Kasbawati, A.Y. Gunawan, R. Hertadi, **K.A. Sidarto**. "Effects Of

- Time Delay On The Dynamics Of A Kinetic Model Of A Microbial Fermentational Process". ANZIAMJ. 55 (2014), 336-356
12. Tutuka Ariadji, Annisa Finka Mayusha, Niken Nuraini Nissa, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Edy Soewono. "Optimization of Direction and Length of Horizontal Wells in Oil Field-X Using Fuzzy Subtractive Clustering and Fuzzy Logic Methods". Modern Applied Science, Vol. 8, No.6, 2014, ISSN 1913-1844, E-ISSN 1913-1852
 13. Novriana Sumarti, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Muhammad Syamsuddin, Vina Fitriyani Mardiyah, Abu Rizal, "Some Problems on the Making of Mathematical Modelling of a Profit-Loss Sharing Scheme Using Data Simulation", J. Math. Fund. Sci. Vol.47, No.1, 2015, 1-11
 14. **Kuntjoro Adji Sidarto**, Adhe Kania. "Finding All Solutions of Systems of Nonlinear Equations Using Spiral Dynamics Inspired Optimization with Clustering". Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics (JACIII), Vol. 19, No. 5, 2015, pp. 697-707
 15. **K.A. Sidarto**, A. Kania and N. Sumarti, "Finding Multiple Solutions of Multimodal Optimization using Spiral Optimization Algorithm with Clustering", MENDEL-Soft Computing Journal, Vol. 23, No. 1, pp. 95-102, June 2017.
 16. Agus Yodi Gunawan, Kasbawati, **Kuntjoro Adji Sidarto**. "Approximate Solution of Linearized Delay Differential Equations Arising from a Microbial Fermentation Process Using the Matrix Lambert Function". J. Math. Fund. Sci., Vol. 48, No. 1, 2016, 25-38

17. Afiatun, E., Notodarmojo, S., Effendi, A.J., **Sidarto, K.A.** 2018. "Cost minimization of raw water source by integrated water supply systems (a case study for Bandung, Indonesia)". International Journal of GEOMATE 14 (46), pp. 32-39.
18. Chendra, E., **Sidarto, K.A.**, 2019. "An improved of Hull-White model for valuing Employee Stock Options (ESOs)". Review of Quantitative Finance and Accounting, DOI: 10.1007/s11156-019-00802-x.
19. Chendra, E., **Sidarto, K.A.**, Syamsuddin, M., Puspita, D. 2019. "Pricing Partial-Average Asian Options with the Binomial Method". International Journal of Banking, Accounting and Finance. DOI: 10.1504/IJBAAF.2019.10016759
20. Ahmad Hadad, Sudjati Rachmat, Tutuka Ariadji and **Kuntjoro A. Sidarto**. "The Prediction of Three Key Properties on Coalbed Methane Reservoir Using Artificial Intelligence". Modern Applied Science Vol. 11, No. 8, pp. 57-67, 2017.
21. Kasbawati, Agus Yodi Gunawan and **Kuntjoro Adji Sidarto**. "Washout and non-washout solutions of a system describing microbial fermentation process under the influence of growth inhibitions and maximal concentration of yeast cells". Mathematical Biosciences 289 (2017), 40-50.
22. Muhammad Ahsar Karim, Agus Yodi Gunawan, Mochamad Apri and **Kuntjoro Adji Sidarto**. "Solving a parameter estimation problem of Goodwin model with fuzzy initial values". Far Eastern Journal of Mathematical Sciences (FJMS), Vol. 107, No. 2, 2018, pp. 321-338.

Prosiding Konferensi Internasional

1. Mucharam, L., **Sidarto, K.A.**, Riza, L.S., Mubassiran, Sophian, S., "A Compositional Gas Flow Model For Predicting Pressure And Heating Value Distribution In Complex Pipeline Network System", Proceedings, Indonesian Petroleum Association Thirty-First Annual Convention and Exhibition, Jakarta Indonesia 14-16 May 2007, ISBN: 978-1-62276-934-6
2. Leksono Mucharam, **Kuntjoro A. Sidarto**, Rieske Hadianti, Darmadi, Evi Wahyuningsih, Ferry Pranolo, Indra S. Firmasyah, "A Simulation Tool For Predicting An Optimum Pigging Schedule In A Gas Transmission Pipeline", Proceedings, Indonesian Petroleum Association Thirty-Second Annual Convention & Exhibition, May 2008, ISBN: 978-979-16067-6-9
3. Deni Saepudin, Pudjo Sukarno, Edy Soewono, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Agus Yodi Gunawan. Septorato Siregar, Yana Budicakrayana, "Optimization of Gas Injection Allocation in Multi Gas Lift Wells System", EngOpt 2008-International Conference on Engineering Optimization Rio de Janeiro, Brazil, 01 -05 June 2008.
4. **Kuntjoro Adji Sidarto**, Dila Puspita, "Valuing Employee Stock Options Using Monte Carlo Method", Proceedings of The 6th SEAMS-GMU International Conference on Mathematics and Its Applications, Yogyakarta, 12th-15th July, pp. 813-820
5. Deden Supriyatman, Sumarni, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Rochim Suratman, "Artificial Neural Networks for Corrosion Rate Prediction in Gas Pipelines", SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, 22-24 October 2012, Perth,

Australia., <https://www.onepetro.org/conferences/SPE/12APOG>

6. Darmadi Soetikno, Rudy Kusdiantara, Dila Puspita, **Kuntjoro A. Sidarto**, Ucok W.R. Siagian, Edy Soewono, Agus Y. Gunawan, "Critical Point Analysis of Phase Envelope Diagram", 4th International Conference On Mathematics And Natural Sciences (ICMNS 2012): 8-9 November 2012, AIP Conf. Proc. 1589-492(2014), <http://dx.doi.org/10.1063/1.4868851>
7. Erwina Chendra, **Kuntjoro Adji Sidarto**, Dila Puspita, Muhammad Syamsuddin, Siska Lismayanti, "On The Modeling of Employee Voluntary Early Exercise For The Valuation of Employee Stock Options", Proceeding of the 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI) 22-25 Augusts 2013 Mysore, India, page(s): 1403-1407, 978-4673-6217-7/13/\$31.00©2013 <http://ieexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?reload=true&pu>.
8. S. Uttunggadewa, E. Soewono, R. Hadianti, N. Nuraini, **K.A. Sidarto**, N. Sumarti, "The role of the Center for Mathematical Modeling and Simulation, Institut Teknologi Bandung, at Mathematical Modeling Course at Departement of Mathematics, Institut Teknologi Bandung", Proceeding International Seminar on Innovation in Mathematics and Mathematics Education, 1st ISIM-MED 2014, Department of Mathematics Education Yogyakarta State University November 26-30 2014, ISBN: 978-602-1037-00-3, <http://eprints.uny.ac.id/view/subjects/prosiding.html>
9. Kasbawati, A.Y. Gunawan, R. Hertadi, **K.A. Sidarto**, "Metabolic Regulation and Maximal Reaction Optimization in the Central

- Metabolism of A Yeast Cell", Sysposium on Biomathematics (SYMOMATH 2014), AIP Conf.Proc. 1651, 75-85 (2015);doi: 10.1063/1.4914436©2015 AIP Publishing LLC 978-0-7354-1293-4/\$30.00
10. Fathimah Al-Ma'shumah, Dony Permana, **Kuntjoro Adji Sidarto**, "Solving Inverse Problem for Markov Chain Model of Customer Lifetime Value Using Flower Polination Algorithm", 1st International Conference on Actuarial Science and Statistics (ICASS 2014), AIP Conf. Proc. 1692,020015-1-4; doi: 10.1063/1.4936443)©2015 AIP Publishing LLC 778-0-7354-1339-9\$30.00
 11. Lala Sptem Riza , Jajang Kusnendar, Munir, Riyan Naufal Hays, **Kuntjoro Adji Sidarto**, "Determining the Pressure Distribution on Water Pipeline Networks Using the Firefly Algorithm", 2016. 7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, 25-27 January 2016, Bangkok, Thailand, 2166-0670/16.\$31.00©2016IEEE, DOI 10.1109/ISMS.2016.78,ISBN 978-1-5090-0664-9
 12. Lala Sptem Riza, Azhari Fathurachman Azmi, Waslahuddin, Eka Fitrajaya Rahman, **Kuntjoro Adji Sidarto**, "Particle Swarm Optimization for Calculating Pressure on Water Distribution Systems", 7th International conference, ICSI 2016, Bali , Indonesia, June 25-30, 2016, Y.Tan et al. (Eds.): ICSI 2016, Part 1, LNCS 9712, pp. 381-391,2016, DOI: 10.1007/978-3-319-41000-5-38
 13. Adhe Kania, **Kuntjoro Adji Sidarto**, "Solving Mixed Integer Nonlinear Programming Problems Using Spiral Dynamics Optimization Algorithm", Application of Mathematics in

Industry and Life, AIP Conf.Proc. 1716, 02004-1-020004-9;doi: 10.1063/1.4942987© 2016 AIP Publishing LLC 978-0-7354-1363-4/\$30.00

14. Suandi, D., Nugraha, E.S., **Sidarto, K.A.**, Soewono, E., 2018. "Preliminary Results: Simple Model of Evolutionary Dynamic on Insecticide Resistance in Mosquitoes". Journal of Physics: Conference Series 1097(1),012077.
15. **Sidarto, K.A.**, Riza, L.S., Widita, C.K. and Haryadi, F. 2010. "Gas Distribution Network Optimization with Genetic Algorithm". Proc. 2nd Int. Conf. on Soft Computing, Intelligent System and Information Technology (ICSIIT 2010), Bali, Indonesia, 1–2 July, pp. 62-67.

VI. PENGHARGAAN

- Satyalencana Karya Satya X dari Pemerintah RI
- Satyalencana Karya Satya XX dari Pemerintah RI
- Piagam Penghargaan Karya Inovasi, ITB, 2016
- Penghargaan Pengabdian 30 Tahun, ITB
- Penghargaan Pengabdian 40 Tahun, ITB, 2018

VII. SERTIFIKASI

- Sertifikasi Dosen, Kementerian Pendidikan Nasional

