

JURNAL GEOSAINS TERAPAN

Volume I, No. 1, Februari 2015

SISKA AGUSTININGSIH, SUPRIYANTO, HASAN NURUDIN

1 – 5 Pencitraan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Pre-Stack Depth Migration Anisotropi* pada Medium VTI (*Vertical Transverse Isotropy*)

ERNI REVIANTI, SUPRIATNA, EKO KUSRATMOKO

12 – 17 Sebaran Longsor Akibat Gempa Bumi di Provinsi Jawa Barat

HASRATUL HASFARILA, EKO KUSRATMOKO, SUPRIATNA

12 – 17 Perubahan Fluktuasi Permukaan Air Tanah di Daerah Aliran Ci leungsi Hulu, Jawa Barat

FARIS PRAMADHANI, ROKHMATULOH, SUPRIATNA

18 – 28 Potensi Panas Bumi Berdasarkan Karakteristik Fisik Wilayah (Studi Kasus: Daerah Wayang-Windu, Kabupaten Bandung, Propinsi Jawa Barat dan Daerah Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten)

NUR AMALIA, SUPRIATNA, TJIONG GIOK PIN

29 – 35 Zonasi Estuaria Muaragembong berdasarkan Salinitas Permukaan Perairan menggunakan Penginderaan Jauh

36 - 37 Lampiran 1: Contoh Format Penulisan

**DITERBITKAN OLEH PUSAT STUDI GEOSAINS
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA**

Jurnal Geosains Terapan	Vol. 1	No. 1	Page 1- 37	Depok Februari 2015	ISSN 977-2502468008
-------------------------	--------	-------	------------	------------------------	------------------------

JURNAL GEOSAINS TERAPAN

Volume I, No. 1, Februari 2015

Jurnal Geosains Terapan (J. Geos T.) adalah jurnal nasional yang dipublikasikan tiga kali dalam setahun, diterbitkan tiap bulan April, Agustus dan Desember oleh Pusat Studi Geosains, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Indonesia.

Jurnal Geosains Terapan memberikan kesempatan bagi kontributor untuk menuliskan paparan ilmiah untuk mendukung atau berhubungan dengan ilmu kebumihan, meliputi: Geologi, Geofisika, Geokimia, Geodesi, Geomorfologi, Geografi Fisik, dan terapannya. Jurnal Geosains Terapan akan dipublikasikan dalam bentuk buku jurnal dan jurnal *on-line*.

DEWAN REDAKSI JURNAL GEOSAINS TERAPAN

Penasehat : Dekan FMIPA UI
Pengarah : Manajer Riset dan Pengabdian Masyarakat FMIPA UI

**Penanggungjawab
Pimpinan Redaksi** : Dr. Supriatna, MT
**Wakil Pimpinan
Redaksi** : Eko Waludi, ST, M. Si.

Dewan Editor

Ketua : Dr. *Eng.* Supriyanto, M. Sc.
Anggota : Prof. Dr. Jan Sopaheluwakan, LIPI
Dr. Idwan Suhardi, Kemenristek RI
Dr. Agus Guntoro, Universitas Trisakti
Dr. Ildrem Safri, Unpad
Dede Djuhana, M. Si., Ph. D., FMIPA UI
Dr. Supriyanto, FMIPA UI
Dr. Suryantini, ITB
Dr. *rer. nat.* Abdul Haris, FMIPA UI
Dr. Khasani, ST, M.Eng., UGM
Dr. Yuni Krisyuningsih Krisnandi, FMIPA UI

Redaktur Pelaksana : Reza Syahputra, M. Si
: Octria Adi Prasojo, B.Sc., M.Sc.
: Faris Zulkarnain, S.Si
: Oscar Riansyah Tilman, S. Si

**Keuangan
Staf Administrasi** : Agus Riyanto, S.Si

JURNAL GEOSAINS TERAPAN

SK ISSN: 0005.2502468X/JL.3.1?SK.ISSN/2016.2 (15 Februari 2016)

Kantor: Pusat Studi Geosains Gedung A, Lantai Dasar, FMIPA UI

Kampus UI Depok 16424

<http://www.sci.ui.ac.id/jgt>; <http://journal.ui.ac.id/jgt>

Telp. (021) 7866732; e-mail: jgt@sci.ui.ac.id

DAFTAR ISI

Pencitraan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Pre-Stack Depth Migration Anisotropi pada Medium VTI (<i>Vertical Transverse Isotropy</i>) Siska Agustiningsih, Supriyanto, Hasan Nurudin	1 – 5
Sebaran Longsor Akibat Gempa Bumi di Provinsi Jawa Barat Erni Revianti, Supriatna, Eko Kusratmoko	6 – 11
Perubahan Fluktuasi Permukaan Air Tanah di Daerah Aliran Ci leungsi Hulu, Jawa Barat Hasratul Hasfarila, Eko Kusratmoko, Supriatna	12 – 17
Potensi Panas Bumi Berdasarkan Karakteristik Fisik Wilayah (Studi Kasus: Daerah Wayang-Windu, Kabupaten Bandung, Propinsi Jawa Barat dan Daerah Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten) Faris Pramadhani, Rokhmatuloh, Supriatna	18 – 28
Zonasi Estuaria Muaragembong berdasarkan Salinitas Permukaan Perairan menggunakan Penginderaan Jauh Nur Amalia, Supriatna, Tjong Giok Pin	29 – 35

Pencitraan Bawah Permukaan Menggunakan Metode *Pre Stack Depth Migration Anisotropi* pada Medium VTI (*Vertical Transverse Isotropy*)

Siska Agustiningasih¹, Supriyanto², dan Hasan Nurudin

^{1,2}Departemen Fisika, FMIPA UI, Kampus UI Depok 16424
siska.agustiningasih@gmail.com, supri92@gmail.com

Abstrak

Pencitraan bawah permukaan dengan metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) mampu mencitrakan struktur kompleks dengan variasi kecepatan lateral. Akan tetapi, PSDM masih mengasumsikan bumi adalah medium isotropi, maka citra yang dihasilkan menjadi tidak akurat. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya meminimalkan ketidakakuratan hasil pencitraan dengan melibatkan parameter anisotropi dalam pembuatan model kecepatan dalam metode PSDM. Dalam penelitian ini, data seismik yang digunakan merupakan data seismik laut (*offset* 8234,5 meter) dengan VTI (*Vertical Transverse Isotropy*) sebagai asumsi medium anisotropinya. Secara teoritis, digunakan dua parameter untuk mengkarakterisasi medium ini, yaitu δ dan ϵ . Dimana, δ merupakan parameter anisotropi yang mendeskripsikan variasi kecepatan terhadap arah *near vertical* sedangkan ϵ mendeskripsikan variasi kecepatan terhadap arah *near horizontal*. Kedua parameter ini digunakan dalam proses transformasi dari kecepatan interval isotropi ke kecepatan interval anisotropi dan dalam proses PSDM anisotropi Kirchhoff. Secara umum, PSDM anisotropi memberikan hasil *image* yang lebih baik dibandingkan PSDM isotropi dalam kualitas reflektor yang lebih kuat dan kontinuitas yang lebih menerus. Selain itu, *depth migrated gather* hasil PSDM anisotropi juga lebih lurus pada *far offset* dibandingkan dengan hasil dari PSDM isotropi. Hal ini menunjukkan bahwa efek *hockey sticks* pada *far offset* mampu terkoreksi oleh asumsi anisotropi.

Kata kunci : Anisotropi, VTI, *Pre Stack Depth Migration*

Abstract

Subsurface imaging using *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) methods can resolves kompleks structure image with lateral velocity variations. However, *Pre Stack Depth Migration* still performs with isotropic assumption, when the medium is anisotropic, then the seismic image yielded from the process will stay less accurate. So, *Pre Stack Depth Migration* process needs to take anisotropic parameters into account of velocity model buiding. In this research, seismic data is used from a marine survey (*offset* 8234,5 meters) with VTI (*Vertical Transverse Isotropy*) assumption of anisotropic media. Theoretically, this form requires two parameter to describe the media, that is δ and ϵ . Which, δ is an anisotropy parameter that describe velocity variation near vertical while ϵ is an anisotropy parameter that describe velocity variation near horizontal. These parameters are used in isotropic interval velocity transformation into anisotropic one and also in Kirchhoff anisotropic PSDM process. Generally, anisotropic PSDM give strong reflector and better continuity. Furthermore, *depth migrated gathers* from anisotropic PSDM give flatter for far offset, compared with ones from isotropic PSDM. It shows that *hockey sticks* is being corrected with anisotropy assumptions.

Keywords : anisotropy, VTI, *Pre Stack Depth Migration*

1. PENDAHULUAN

Pencitraan bawah permukaan dengan metode *Pre Stack Depth Migration* (PSDM) telah menjadi tahapan pengolahan data seismik yang umum dilakukan. Metode ini mampu mencitrakan struktur kompleks dengan variasi kecepatan lateral. Ini merupakan hal yang menjadi permasalahan dalam metode *Prestack time migration* (PSTM). Keakuratan

PSDM dalam *imaging* dan *positioning* reflektor disebabkan karena kemampuan PSDM untuk melakukan *focusing* suatu titik reflektor dengan variasi kecepatan lateral¹.

Pada proses PSDM, pembuatan model kecepatan merupakan kunci penting dalam pencitraan bawah permukaan dan asumsi medium yang digunakan pada pembuatan model kecepatan interval pun memiliki peranan yang besar. Secara umum, PSDM isotropi hanya melakukan koreksi terhadap variasi kecepatan secara lateral, sedangkan PSDM anisotropi melakukan koreksi untuk perubahan kecepatan terhadap arah penjalaran gelombang².

Kondisi anisotropi disebabkan oleh konfigurasi mineral dan butir dalam batuan, bentuk mineral, rekahan, dan panjang gelombang seismik yang relatif lebih besar dibandingkan dengan ketebalan lapisan³. Dengan mengasumsikan medium berupa anisotropi maka kita memperhitungkan adanya variasi kecepatan dalam satu medium homogen sebagai fungsi dari arah atau sudut penjalaran gelombang.

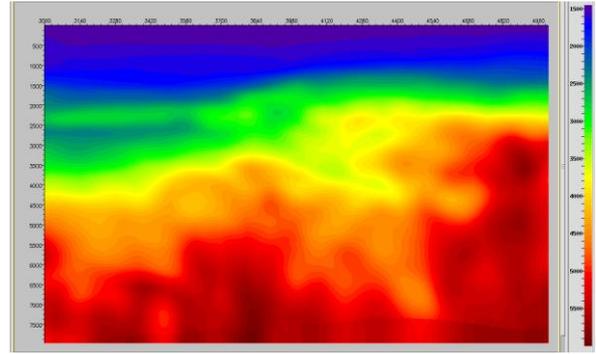
Asumsi model anisotropi yang umum digunakan dalam eksplorasi seismologi adalah model *transverse isotropy*. Medium *transverse isotropy* mengasumsikan bahwa sifat elastik medium tidak berubah pada arah manapun yang tegak lurus terhadap sumbu simetrinya⁴. Pada kasus dimana sumbu simetri berupa sumbu vertikal maka diidentifikasi sebagai model *vertical transverse isotropy* (VTI). Secara teoritis, dibutuhkan 2 parameter untuk mendeskripsikan medium ini, yaitu ϵ dan δ . Kombinasi dari kedua parameter ini mendeskripsikan komponen *non hyperbolic* pada *moveout*. Pada penelitian dilakukan pemodelan parameter ϵ dan δ yang nantinya akan digunakan dalam PSDM anisotropi.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan parameter anisotropi serta mengaplikasikan asumsi medium anisotropi *Vertical Transverse Isotropy* (VTI) pada metode PSDM untuk memperoleh hasil *imaging* bawah permukaan yang baik.

2. METODE PENELITIAN

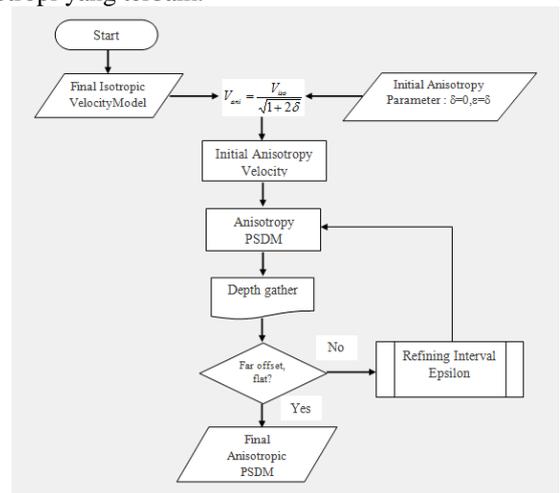
Tahapan proses PSDM pada medium isotropi dimulai dengan membuat model kecepatan interval dengan menggunakan metode *constrained velocity inversion* (CVI) dengan data input berupa kecepatan RMS. Setelah didapatkan model kecepatan interval, kemudian dilakukan proses migrasi dengan algoritma Kirchhoff. Model kecepatan yang didapatkan dari metode CVI masih belum maksimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan proses *update* model kecepatan interval. Proses *update* kecepatan interval yang dilakukan menggunakan metode tomografi *horizon based*. Selanjutnya dilakukan proses iteratif *picking residual moveout*, tomografi *horizon based*, dan migrasi hingga didapatkan model kecepatan interval yang terbaik.

Gambar 1 menunjukkan model yang didapatkan dengan menggunakan asumsi isotropi. Model kecepatan interval tersebut merupakan model terbaik yang didapatkan.



Gbr. 1. Model Kecepatan Interval Awal Hasil CVI

Tahapan PSDM pada medium anisotropi dimulai dengan menggunakan model kecepatan interval isotropi terakhir untuk ditransformasi menjadi model kecepatan anisotropi dengan memasukan parameter anisotropi delta (δ). Dengan menggunakan model kecepatan anisotropi ini dilakukan PSDM dengan memasukan nilai parameter anisotropi epsilon (ϵ) sama dengan nilai delta (δ) awal. Proses iterasi dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter anisotropi yang terbaik.

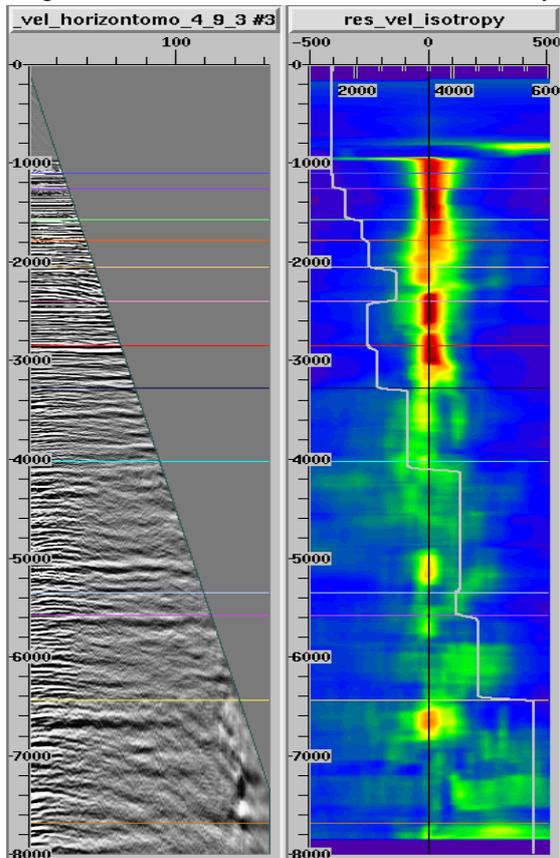


Gbr. 2. Diagram alir proses PSDM anisotropi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemenerusan reflektor sendiri cenderung dilihat pada *near offset*, untuk membedakan antara data *near offset* dan *far offset* maka dilakukan proses muting dengan 25° . Mute 25° menunjukkan bahwa untuk sudut datang di atas 25° sudah dianggap sebagai *far offset*. Hal ini dilakukan selain untuk menghilangkan efek *stretching* juga untuk menghilangkan efek *hockey sticks* yang muncul. Sehingga saat *gather* di *stack*, mampu menghasilkan *image* yang terbaik.

Selain terlihat dari *gather*, cara lain untuk memastikan bahwa kecepatan isotropi sudah maksimal adalah dengan melihat dari *semblance residual moveout*nya.



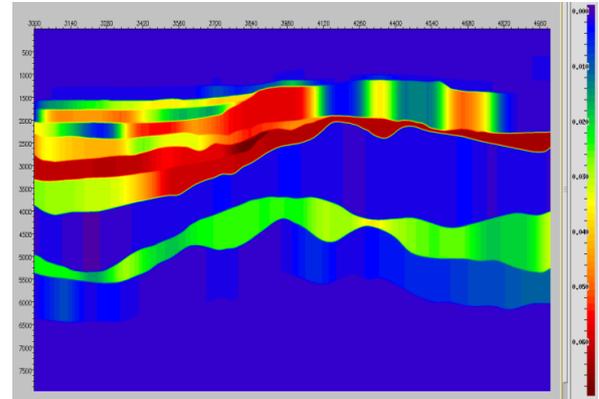
Gbr. 3. *Depth gather* Isotropi dan *semblance residual moveout* pada CRP 3280

Semblance residual moveout menunjukkan *error* pada kecepatan interval yang menyebabkan data *gather* masih kurang lurus. Pada gambar terlihat pada *2. semblance residual moveout* berwarna merah berada di posisi *zero residual moveout*. *Semblance* berwarna merah ini menunjukkan bahwa koherensi maksimum sudah berada di *zero residual moveout* atau dengan kata lain pada data *gather* sudah tidak adanya *residual moveout*.

Pembuatan parameter anisotropi dengan asumsi $\delta = 0$ dan asumsi $\epsilon = \delta$ pada pengolahan data secara anisotropi hanya digunakan sebagai awalan untuk memberikan nilai awal pada epsilon agar dapat dilakukan proses PSDM anisotropi untuk kedua penampang anisotropi delta dan epsilon. Pendekatan $\epsilon = \delta$ merupakan bentuk pendekatan anisotropi yang paling sederhana yaitu *elliptical anisotropy*.

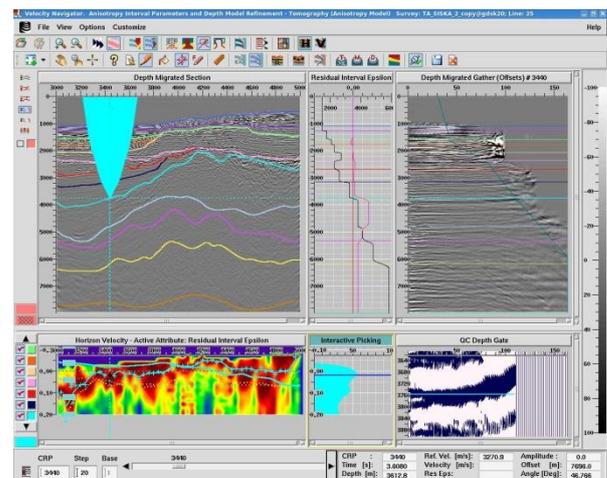
Parameter epsilon (ϵ) anisotropi mengindikasikan fraksi perbedaan antara gelombang P vertikal dan P horizontal. Sedangkan parameter delta (δ) adalah faktor yang menunjukkan kebergantungan V_p pada

sudut sekitar arah vertikal. Nilai parameter delta yang didapatkan memenuhi pendekatan kasus *weak anisotropy*. Hasil pemodelan parameter delta dan epsilon anisotropi nantinya digunakan sebagai masukan untuk PSDM anisotropi.

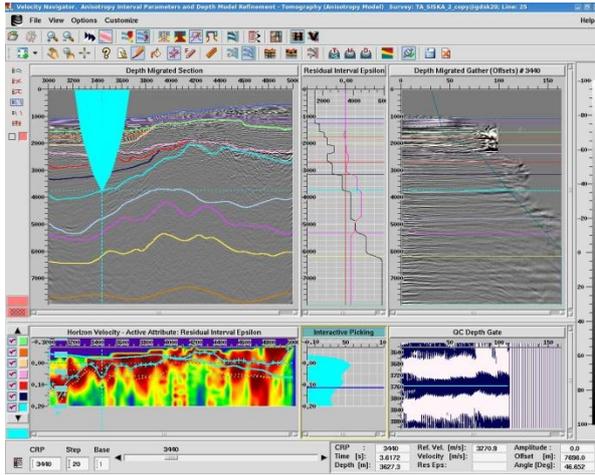


Gbr. 4. Penampang Sebaran Nilai Parameter Epsilon

Pada penelitian ini parameter epsilon anisotropi nilainya akan diperbaiki dengan menggunakan metode *horizon based tomography* sampai didapatkan hasil PSDM anisotropi yang paling baik. Sedangkan untuk parameter delta anisotropi nilainya dibuat tetap. Setelah dilakukan *residual analisis* epsilon pada daerah *far offset*, maka didapatkan nilai parameter akhir epsilon. Leon Thomsen memberikan rentang nilai epsilon dari 0 hingga 0,5. Sedangkan, pada penelitian ini didapatkan rentang nilai parameter anisotropi epsilon dari 0 s/d 0,06955. Rentang ini cenderung cukup kecil bila dibandingkan nilai epsilon Thomsen. Rentang nilai ini sendiri menunjukkan bahwa nilai kecepatan gelombang P di arah *near horizontal* relatif rendah.

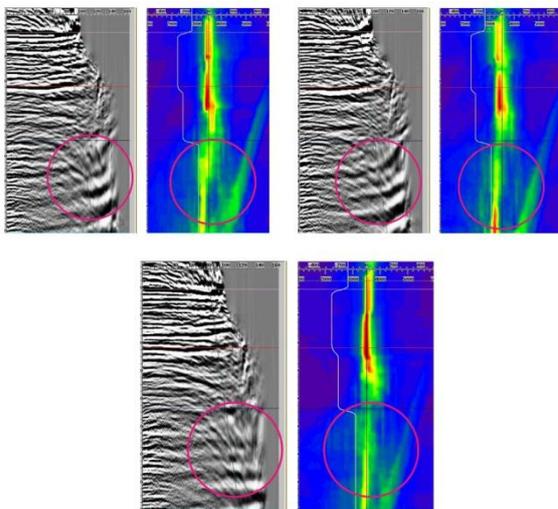


Gbr 5. Gambar *tomography* perbaikan epsilon sebelum *hockey stick effect* dikoreksi



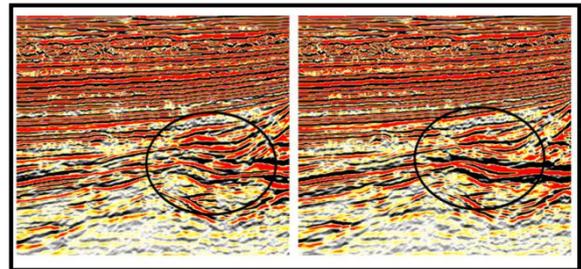
Gbr 6. Gambar tomography perbaikan epsilon sebelum hockey stick effect dikoreksi

Nilai parameter epsilon yang telah kita perhatikan, maka *anisotropic depth migrated* didapatkan sebelumnya dimasukkan pada PSDM. Gambar di bawah ini menunjukkan *gather – gather* akhir dari proses PSDM isotropi dan anisotropi. Jika *gather* relatif lebih lurus – lurus jika dibandingkan dengan *isotropic depth migrated gather*. Selain itu menunjukkan hasil koreksi efek *hockey stick* pada *far offset*. Terlihat pada *gather* medium isotropi pada *far offset* terlihat jelas namun setelah dimasukkan parameter anisotropi epsilon, efek *hockey stick* terkoreksi sehingga data *gather* menjadi lebih lurus. Hal ini berpengaruh terhadap proses *stacking*, dimana data pada *far offset* tidak perlu lagi di mute yang nantinya meningkatkan hasil *imaging*. Selain itu dari keadaan *semblance*, *semblance* pada medium anisotropi pun sudah relatif di posisi *zero residual moveout*.



Gbr 7. Gather dan Semblance PSDM Isotropi CRP 3720

Untuk melihat perbaikan keseluruhan yang diberikan PSDM anisotropi dibandingkan dengan PSDM isotropi adalah melakukan *stacking* dengan *offset* yang sama. Tujuannya adalah ingin memastikan bahwa dari PSDM anisotropi ini memberikan *image* yang lebih baik daripada PSDM isotropi *fulloffset*.



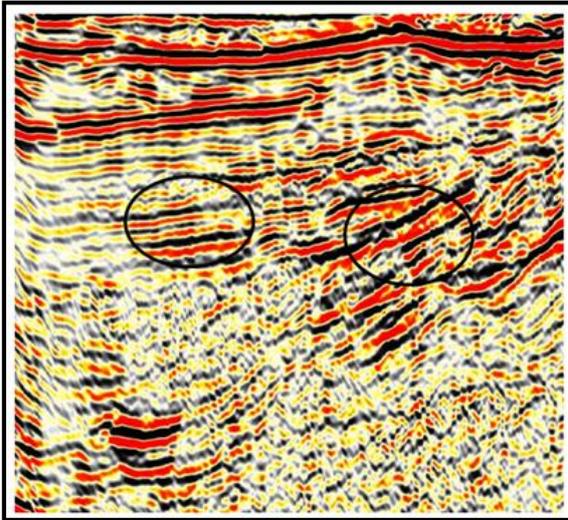
Gbr 8. Perbandingan section PSDM Isotropi (atas) dan PSDM Anisotropi bawah

Keunggulan dari PSDM anisotropi yaitu karakter amplitudo reflektor terlihat lebih kuat dan kontinu. Terlihat reflektor pada gambar di bawah lebih tegas dan relatif lebih lurus dibandingkan PSDM isotropi. Hal ini menyatakan bahwa PSDM anisotropi dapat memberikan hasil *image* yang lebih baik. Perbaikan ini terjadi karena parameter anisotropi yang dimasukkan dapat membuat *event* pada *far-offset* menjadi *flat* yang ketika akan di-*stack* akan menghasilkan *section* yang lebih baik. Hal ini dikarenakan, *event* pada *far-offset* hasil PSDM isotropi yang belum *flat* dilibatkan saat dilakukan *stacking* sehingga hasil *image section*-nya pun semakin buruk. Sedangkan *event far-offset* hasil PSDM anisotropi sudah *flat*, dan ketika di-*stack* hasilnya pun akan semakin menguatkan dan *image*-nya lebih baik daripada proses dengan asumsi isotropi.

Dengan begitu dapat dikatakan bahwa parameter anisotropi yang digunakan sudah tepat sehingga menghasilkan *image* yang lebih baik daripada pada medium isotropi.

Untuk melihat perbaikan yang dilakukan model parameter epsilon di tempat lain sudah bekerja ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Kedua gambar tersebut menunjukkan *gather-gather* isotropi anisotropi serta posisi CR di section. Pada *gather* sendiri terlihat pada *far offset* telah terkoreksi dengan baik oleh analisis epsilon hal ini menunjukkan bahwa epsilon sudah bekerja dengan baik pada daerah yang lain.

Untuk melihat perbaikan imaging, dilakukan stack dengan mute yang sama. Terlihat beberapa perbaikan pada Gambar di bawah ini menunjukkan hasil koreksi efek *hockey stick* pada *far offset*. Terlihat pada gather medium isotropi pada *far offset* terlihat jelas namun setelah dimasukkan parameter anisotropi epsilon efek *hockey stick* terkoreksi sehingga data gather menjadi lebih lurus. Hal ini berpengaruh terhadap proses stacking, dimana data pada *far offset* tidak perlu lagi di mute yang nantinya meningkatkan hasil imaging.



Gbr 9. Section PSDM Anisotropi

Reflektor pun terlihat lebih fokus dan kuat pada PSDM anisotropi dibanding PSDM isotropi. PSDM anisotropi mampu memunculkan reflektor yang semula tidak tampak pada PSDM isotropi. Kedua peningkatan tersebut berhubungan dengan model kecepatan anisotropi yang lebih baik dibanding model kecepatan isotropi karena mengikutsertakan variasi kecepatan terhadap sudut. Pengaruh dari model kecepatan anisotropi mampu membuat *event-event* gelombang pada CRP gather menjadi lebih *flat*, sehingga ketika dilakukan stack mampu meningkatkan rasio sinyal terhadap noise.

4. KESIMPULAN

Hasil analisa parameter epsilon dapat mengkoreksi efek *hockey sticks* pada data. Rentang nilai parameter epsilon yang didapatkan adalah 0 s/d 0,06955 (Thomsen Parameter : 0 s/d 0,5)

PSDM anisotropi memberikan hasil *image* yang lebih baik dibandingkan PSDM isotropi dalam kualitas reflektor yang lebih kuat dan kontinuitas yang lebih menerus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fagin, S., (2002). Model-based depth imaging, *SEG Course Notes Series 10*, Tulsa.
- [2] Alkhalifah, T. and Tsvankin, Ilya. (1995). Velocity Analysis for Transversely Isotropic Media : *Geophysics 60*, 1550 – 1556.
- [3] Thomsen, L. (2002). Understanding Seismic Anisotropy in Exploration and Exploitation, Society Exploration Geophysicists, Tulsa. 1954.
- [4] Tsvankin, Ilya and Thomsen, L. (1994). Nonhyperbolic Reflection Moveout in Anisotropic Media : *Geophysics 59*, 1290 – 1304.

Sebaran Longsor Akibat Gempa Bumi di Provinsi Jawa Barat

Erni Revianti¹, Supriatna, Eko Kusratmoko

¹Departemen Geografi, FMIPA UI, Kampus UI Depok 16424
Erni.revianti@sci.ui.ac.id

Abstrak

Gempa bumi yang kuat dapat menyebabkan banyak kejadian longsor (Meunier dkk., 2013). Untuk menggambarkan tingkat risiko gempa bumi di suatu lokasi dapat digunakan persebaran nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*). Intensitas MMI dan PGA memiliki korelasi yang tinggi dengan pola distribusi tanah longsor (Gorum dkk., 2011). Jawa Barat merupakan provinsi yang rawan terhadap bencana longsor. Dalam periode tahun 1998-2013 ada 481 kejadian longsor, tetapi hanya 2 kejadian longsor yang berasosiasi dengan gempa. 2 longsor tersebut terjadi bersamaan dengan gempa, tersebar di wilayah selatan Jawa yang merupakan wilayah pegunungan curam, dan longsor berada di jarak ± 100 km dari sumber gempa atau episenter. 2 kejadian longsor yang berasosiasi dengan gempa tersebar di wilayah nilai PGA 75-139 gals dengan tingkat kerusakan sedang. Sedangkan longsor yang tidak berasosiasi dengan gempa tersebar di wilayah nilai PGA 22-40 gals dan 40-75 gals dengan tingkat kerusakan ringan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara longsor dengan nilai PGA yaitu longsor yang berasosiasi dengan gempa terjadi jika nilai PGA yang dirasakan yaitu 75-139 gals atau lebih besar.

Abstract

Strong earthquakes can trigger up to hundreds of thousands of landslides (Meunier et al., 2013). To illustrate the level of earthquake risk in one location can be used scatter of PGA (Peak Ground Acceleration). MMI intensities and peak ground acceleration (PGA) found a higher correlation with the landslide distribution pattern (Gorum et al., 2011). West Java is province prone to landslides. In the period 1998-2013 there are 481 occurrences of landslides, but only 2 occurrences of landslides associated with the earthquake. The two landslides occurred simultaneously with the earthquake, spread over an area south of Java which is a region of steep mountains, and landslides are in the range ± 100 km from the earthquake source or epicenter. 2 occurrences of landslides associated with the earthquake spread in the value of the PGA 75-139 gals with medium levels of damage. While landslides are not associated with the earthquake spread in the PGA values 22-40 and 40-75 gals slightly damaged. It can be concluded that there is a relationship between the landslide with the PGA values are earthquake-induced landslides occur if the perceived value is 75-139 PGA gals or greater.

Keywords: Distribution of landslides, PGA (*Peak Ground Acceleration*).

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap bencana di dunia. Menurut data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada tahun 2008, Indonesia mengalami 343 kejadian bencana. Indonesia rawan akan bencana gempa bumi. Gempa bumi yang sering terjadi di Indonesia kebanyakan adalah gempa bumi tektonik. Indonesia memiliki tingkat kegempaan yang tinggi karena Indonesia berada pada daerah pertemuan 3 lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Indo-Australia. Gempa bumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng inilah yang disebut sebagai gempa bumi tektonik.

Gempa bumi dapat menyebabkan berbagai kerusakan dan menyebabkan bencana sekunder antara lain getaran atau guncangan tanah (*ground shaking*), likuifaksi (*liquifaction*), longsor tanah, tsunami, dan bahaya sekunder (arus pendek, gas bocor yang menyebabkan kebakaran, dll).

Gempa bumi dapat menyebabkan tanah longsor, seperti yang diungkapkan dalam Meunier dkk., 2013 bahwa gempa bumi yang kuat dapat menyebabkan banyak kejadian longsor. Terjadi sekitar 4000 tanah longsor yang dipicu oleh gempa Iwate-Miyagi. (Yagi dkk. 2009, dalam Meunier dkk., 2013). Gempa Cuetsu memicu >10.000 tanah longsor, terutama di perbukitan Uonuma dan cekungan Imokawa (Osana dkk. 2007, dalam Meunier dkk., 2013)

Untuk menggambarkan tingkat risiko gempa bumi di suatu lokasi juga dapat digunakan persebaran nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*). Beberapa studi menganggap parameter pemicu seperti intensitas MMI dan PGA memiliki korelasi yang lebih tinggi dengan pola distribusi tanah longsor (Gorum dkk., 2011).

Jawa Barat adalah provinsi yang rawan bencana. Pada September 2009 telah terjadi gempa bumi tektonik yang besar berkekuatan 7,3 skala Richter dengan kedalaman 30km, mengguncang Tasikmalaya dan terasa di sejumlah wilayah lainnya di Pulau Jawa,

Bali dan Sumatera. Gempa bumi tektonik ini menyebabkan longsoran tebing di Kabupaten Cianjur yang mengubur 13 rumah milik warga di Desa Cikangkareng, Cibinong, Cianjur, Jawa Barat.

2. METODE PENELITIAN

Variabel yang digunakan untuk mendukung penelitian dikumpulkan dengan pencarian data ke badan-badan atau kementerian yang memiliki atau dibertanggung jawab dalam penerbitan data tersebut (lihat Tabel 2.1). Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah dengan memasukkan data ke dalam sistem database dan dianalisis dengan bantuan *software Microsoft excel 2007* dan *Arcgis 10*.

Kejadian longsor di Jawa Barat periode tahun 1998-2013 ditampilkan dalam bentuk grafik dan peta. Kejadian gempa di Jawa Barat periode tahun 1982-2013 juga ditampilkan dalam bentuk grafik dan peta. Untuk mengetahui sebaran longsor akibat gempa, dipilih longsor yang kejadiannya berdekatan dengan kejadian gempa (terindikasi karena gempa). terdapat 9 kejadian longsor yang terindikasi gempa. Kejadian longsor tahun 1998-2013 dan 9 kejadian longsor yang terindikasi gempa, masing-masing dipetakan untuk analisis sebarannya dan kemudian dilakukan tumpang tindih (*overlay*) dengan peta lain yaitu lereng, penggunaan tanah, patahan dan nilai PGA untuk analisis.

Tabel 2.1 Variabel Data Penelitian.

No	Variabel	Satuan	Sumber
1	Kejadian Gempa bumi		
	Jarak episenter	Kilometer	Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika kelas 1
	Kekuatan Gempa	Skala Richter	
	Kedalaman	Kilometer	
2	Karakteristik wilayah		
	Kemiringan lereng	Persen	Departemen PU.
	Patahan	Meter	Pusat Lingkungan Geologi Bandung.
	Penggunaan tanah		Departemen PU.
3	Peak Ground Acceleration (PGA)	Gals	Pengolahan data

Peta wilayah nilai PGA didapat dari penghitungan nilai PGA di titik bantu pengukuran. Penghitungan nilai PGA menggunakan rumus empiris McGuire (1974 dalam Fauzi. 2000). Adapun langkah-langkah dalam menghitung nilai PGA, yaitu :

- 1) Menghitung jarak episenter :

$$\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :
 Δ = jarak epicenter (km);
 x_1 = lintang pada daerah pengukuran;
 x_2 = litang pada daerah terjadinya gempa;
 y_1 = bujur pada daerah pengukuran;
 y_2 = bujur pada daerah terjadinya gempa
 Δ dalam satuan derajat yang dikonversi ke dalam satuan kilometer dengan mengalikan 111.11 untuk setiap 1^o. (Siswoyo, 1998)

- 2) Menghitung jarak hiposenter

$$R = (\Delta^2 + h^2)^{1/2} \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan :
 R = jarak *hypocenter* (km)
 h = kedalaman sumber gempa (km)

- 3) Menghitung Magnitudo Gelombang Badan

$$M_b = 0,63 m + 2,5 \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan :
 M_b = magnitudo gelombang body (Skala Richter)
 m = magnitudo gelombang permukaan (Skala Richter)

Setelah diketahui magnitudo gelombang permukaan dan jarak *hypocenter* maka harga-harga tersebut dapat dimasukkan ke dalam rumus McGuire R.K (1974):

$$\alpha = 472,3 \times 10^{0,278m} \times (R + 25)^{-1,301} \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan :
 α = PGA (gal)
 R = jarak *hypocenter*

- 4) Menghitung Intensitas di hiposenter dengan rumus empiris Richter (Ibrahim, dan Subardjo. 2005):

$$I_0 = 1,5 (M_b - 0,5) \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan :
 I_0 = Intensitas pada sumbernya
 M_b = Magnitudo dari gelombang badan / *body wave* (skala Richter)

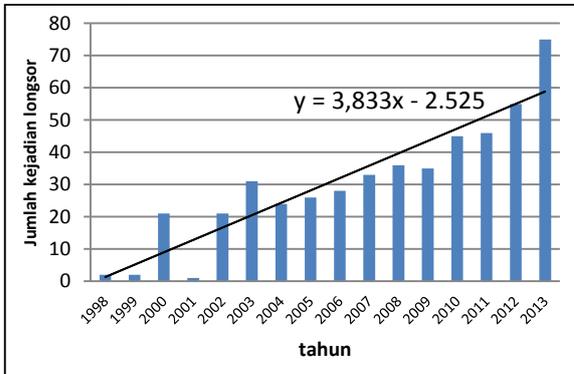
- 5) Menghitung intensitas di titik x dengan rumus konstanta atenuasi Parih Haryadi dan Subardjo (Ibrahim, dan Subardjo. 2005)

$$I = (I_0 \cdot \exp^{-b \cdot \Delta}) \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan :
 I = Intensitas permukaan
 I_0 = Intensitas pada sumbernya
 b = konstanta atenuasi (peluruhan energi), dengan nilai 0,0021
 \exp = bilangan natural, dengan nilai 2,786

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

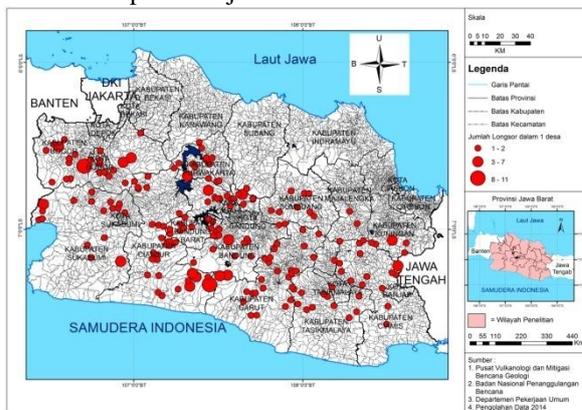
Longsor merupakan perpindahan bebatuan dan material lainnya dalam jumlah besar secara tiba-tiba dan dalam waktu yang singkat, umumnya terjadi di daerah terjal dan tidak stabil. Provinsi dengan riwayat bencana tanah longsor cukup tinggi yaitu Provinsi Jawa Barat.



Gambar 5.1 Kejadian longsor di Jawa Barat periode tahun 1998-2013

Sumber : Pengolahan data 2014

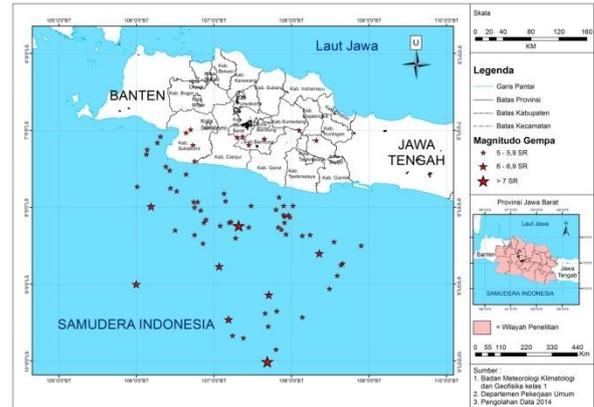
Tren jumlah kejadian longsor tahunan di Jawa Barat menunjukkan tren kenaikan sebesar 3,8 atau sama dengan 4 kejadian. Artinya jumlah kejadian longsor setiap tahun meningkat sebanyak 4 kejadian. Jumlah kejadian longsor terbanyak terjadi pada tahun 2013 mencapai 78 kejadian.



Gambar 5.3 Peta kejadian longsor tiap desa di Provinsi Jawa Barat periode tahun 1998-2013

Dari Gambar 5.3 dapat dilihat kejadian longsor tiap desa di Jawa Barat periode tahun 1998-2013, longsor banyak terjadi di bagian tengah hingga ke selatan Jawa Barat yang merupakan wilayah lereng bukit hingga pegunungan curam.

Jumlah kejadian gempa di Jawa Barat periode tahun 1982 hingga tahun 2013 terdapat 73 gempa yang memiliki kekuatan $\geq 5SR$ dan merupakan gempa dangkal. Gempa terbanyak adalah gempa yang memiliki kekuatan 5-5,9 SR dengan 65 kejadian gempa.



Gambar 5.6 Peta kejadian gempa bumi Provinsi Jawa Barat periode tahun 1982-2013

Episenter gempa atau pusat dari gempa terbanyak terjadi di Samudera Indonesia yaitu di selatan Pulau Jawa. Namun ada sebagian gempa yang termasuk dalam gempa lokal atau gempa yang disebabkan oleh patahan lokal di wilayah daratan seperti yang terlihat cukup banyak di Kabupaten Sukabumi, dan selanjutnya Kabupaten Bandung dan Kabupaten Bandung Barat

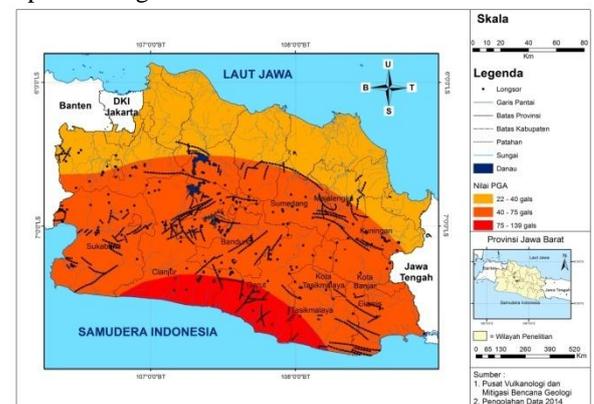
Tabel 5.3 Luas Wilayah Nilai PGA

Nilai PGA	Persentase luas (%)
22-40 gals	31,24
40-75 gals	60,69
75-139 gals	8,08
Jumlah	100

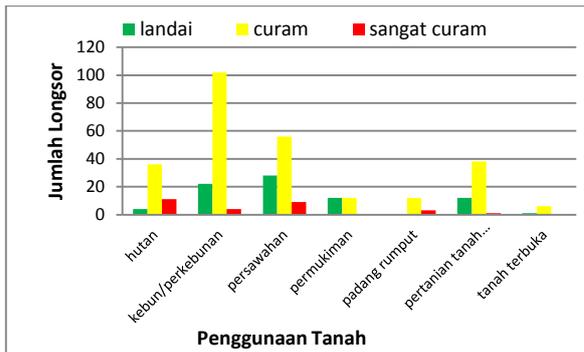
Sumber : Pengolahan Data 2014

Wilayah dengan nilai PGA 40-75 gals merupakan wilayah terluas dengan proporsi 60,69 % dari luas keseluruhan wilayah atau seluas 22.524,63 Km². Nilai PGA ini terletak di bagian tengah hingga selatan Jawa Barat.

Longsor lebih banyak terjadi di wilayah nilai PGA 40-75 gals dengan 183 titik. Longsor terlihat mengelompok mendekati patahan dan berada di sepadan sungai.



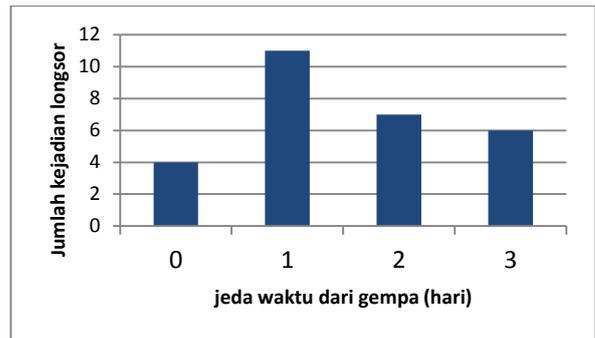
Gambar 5.7 Peta kejadian longsor dengan nilai PGA, Patahan, dan Sungai di Provinsi Jawa Barat periode tahun 2008-2013



Gambar 5.8 Jumlah kejadian ongsor berdasarkan penggunaan tanah dan lereng
 Sumber : pengolahan data 2014

Longsor berdasarkan lereng dan penggunaan tanah seperti pada Gambar 5.8 diketahui longsor yang tersebar di wilayah lereng landai didominasi dengan penggunaan tanah persawahan. Longsor yang tersebar di wilayah lereng curam didominasi dengan penggunaan tanah kebun/perkebunan. Longsor yang tersebar di wilayah lereng sangat curam didominasi dengan penggunaan tanah hutan.

Untuk mengetahui dimana longsor yang diakibatkan gempa, dilakukan pencarian data longsor yang kejadiannya berdekatan dengan kejadian gempa bumi. Berikut grafik mengenai banyaknya longsor berdasarkan jeda waktu(hari) dari kejadian gempa bumi (Gambar 5.9):



Gambar 5.9 Jumlah kejadian longsor berdasarkan jeda waktu(hari) dari gempa bumi
 Sumber : pengolahan data 2014

Dari Gambar 5.9 diketahui ada 4 kejadian longsor yang terjadi bersamaan dengan waktu terjadinya gempa bumi selama tahun 1998 sampai 2013 dan tersebar di beberapa kecamatan di Jawa Barat. Jumlah longsor terbanyak terjadi 1 hari setelah gempa dengan 11 kejadian.

Dalam penelitian ini terdapat 9 kejadian longsor dengan unit analisis lokasi, yang diindikasikan karena gempa. Longsor tersebut tersebar di selatan Jawa Barat yang merupakan wilayah pegunungan curam. Berdasarkan Tabel 5.6, diketahui longsor tersebut tersebar di wilayah lereng curam. Longsor tersebut di penggunaan tanah persawahan, pertanian tanah kering, dan kebun/perkebunan, tetapi longsor lebih banyak terjadi di penggunaan tanah persawahan dimana di penggunaan tanah tersebut tidak terdapat vegetasi yang kuat dan tanah jenuh dengan air. Semua longsor terjadi pada daerah dengan jarak >1000m dari patahan.

Tabel 5.5 Longsor berdasarkan Penyebab, PGA, Lereng, Penggunaan Tanah dan Hujan

Pga	lereng	penggunaan tanah	kejadian longsor		nilai kekuatan perusak longsor	Hujan
			karena gempa	bukan karena gempa		
75-139	curam	Persawahan	1	0	Sedang	Tidak ada
		pertanian tanah kering semusim	1	0	-	Tidak ada
40-75	curam	kebun/perkebunan	0	1	-	Ada
		Persawahan	0	3	-	Ada
22-40	curam	pertanian tanah kering semusim	0	2	-	Ada
		kebun/perkebunan	0	1	-	Ada

Sumber : Pengolahan Data 2014

Menentukan penyebab longsor adalah dengan melihat ada atau tidak adanya hujan dan besar kekuatan dari gempa tersebut yang dirasakan melalui nilai PGA. Karakteristik 9 longsor yang terindikasi karena gempa dapat dilihat pada Tabel 5.5, diketahui bahwa ada 2 longsor yang terjadi pada saat tidak turun hujan dan nilai PGA yang dirasakan besar yaitu 75-139 gals dengan tingkat kerusakan sedang, longsor

tersebut dinyatakan sebagai longsor akibat gempa, sedangkan longsor lainnya terjadi pada saat turun hujan dan dominan nilai PGA yang dirasakan adalah 22-40 gals dengan tingkat kerusakan ringan. Jadi longsor akibat gempa dapat terjadi jika nilai PGA di suatu lokasi yaitu 75-139 gals atau lebih besar dan dengan bantuan faktor pemicu/penyebab lainnya (karakteristik wilayah seperti lereng dan penggunaan tanah).

Tabel 5.6 Longsor Berdasarkan Jeda Waktu Dari Gempa Dan Penyebab Serta Karakteristik Wilayah (Lereng, Penggunaan Tanah, Jarak Dari Patahan)

jeda waktu dari gempa (hari)	Tanggal	Lokasi	lereng	Penggunaan Tanah	jarak dari patahan	penyebab longsor
0 (bersamaan dengan gempa)	2-Sep-09	Cikangkareng, Cibinong, Cianjur	curam	Persawahan	>1000m	Gempa
	2-Sep-09	Girimukti, Sindangbarang, Cianjur	curam	pertanian tanah kering semusim	>1000m	Gempa
1	11-Nov-12	Balegede, naringgul, cianjur	curam	Persawahan	>1000m	Hujan
	15-Mar-13	Cimuncang, Garut Kota, Garut	curam	pertanian tanah kering semusim	>1000m	Hujan
	27-May-13	Pasir Baru, Tanggeung, Cianjur	curam	Persawahan	>1000m	Hujan
2	2-Nov-11	Mekarbakti, Bungbulang, Garut	curam	Persawahan	>1000m	Hujan
	8-May-13	pamalayan, cisewu, garut	curam	kebun/perkebunan	>1000m	Hujan
3	23-Feb-04	Sukamulya, Talegong, Garut	curam	kebun/perkebunan	>1000m	Hujan
	26-Jul-11	Girimukti, Campaka, Cianjur	curam	pertanian tanah kering semusim	>1000m	Hujan

Sumber : Pengolahan Data 2014

Dalam periode tahun 1998-2013 di Jawa Barat terdapat 481 kejadian longsor, tetapi hanya 2 kejadian longsor yang berasosiasi dengan gempa atau longsor yang terjadi akibat gempa. Longsor tersebut tersebar di wilayah selatan Jawa Barat yang merupakan wilayah pegunungan curam. Dari Tabel 5.6 diketahui bahwa longsor tersebut terjadi di hari yang sama dengan terjadinya gempa (bersamaan dengan gempa), terjadi di lereng curam dan penggunaan tanah persawahan dan pertanian tanah kering semusim, dimana di penggunaan tanah tersebut tidak terdapat vegetasi yang kuat.

4. KESIMPULAN

Dalam periode tahun 1998-2013 di Jawa Barat terdapat 481 kejadian longsor, tetapi hanya 2 kejadian longsor yang berasosiasi dengan gempa. 2 longsor tersebut terjadi dalam jeda waktu 0 hari dari gempa atau terjadi bersamaan dengan kejadian gempa. 2 longsor tersebut tersebar di wilayah selatan Jawa Barat yang merupakan wilayah pegunungan curam dan longsor berada di jarak ±100 km dari sumber gempa atau episenter.

2 kejadian longsor yang berasosiasi dengan gempa tersebar di wilayah nilai PGA 75-139 gals dengan tingkat kerusakan sedang. Sedangkan longsor yang tidak berasosiasi dengan gempa tersebar di wilayah nilai PGA 22-40 gals dan 40-75 gals dengan tingkat kerusakan ringan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan antara longsor dengan nilai PGA yaitu longsor yang berasosiasi dengan gempa terjadi

jika nilai PGA yang dirasakan yaitu 75-139 gals atau lebih besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini sulit untuk diselesaikan. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Supriatna, M.T. dan Bapak Dr. rer. Nat. Eko Kusratmoko, M.S. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi
2. Keluarga tercinta, Bapak Arifin dan Ibu Lamiah yang selalu menginspirasi, menyemangati, mendo'akan, dan mendukung penulis sepenuhnya baik moral maupun materiil yang tak pernah henti. Kakak dan adik tersayang serta sahabat-sahabat tercinta
3. Bapak Ahmad selaku Kabid gerakan tanah dan gempa bumi, PVMBG, Badan Geologi yang telah memberikan data yang dibutuhkan penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Dikti yang telah membiayai penulis dalam menjalankan perkuliahan dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu atas bantuan yang diberikan selama penyusunan skripsi ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] Agus, F. 2007. *Pedoman Umum Budidaya Pertanian di Lahan Pegunungan*. Jakarta : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.

- [2] Aleotti, P. 2004. *A warning system of rainfall-induced shallow failure*. Engineering Geology, Vol. 73, pp. 247–265.
- [3] BPS Provinsi Jawa Barat. 2012. *Jawa Barat Dalam Angka*. BPS : Bandung.
- [4] Destriani, N. dan Adjie Pamungkas. 2013. *Identifikasi daerah kawasan rentan tanah longsor dalam KSN Gunung Merapi di Kabupaten Sleman*. Jurnal teknik pomits vol. 2, no. 2
- [5] Fauzi. 2000. *Aplikasi Sistem Informasi Geografi Untuk Peta Bencana Alam di Indonesia*. 14 September 2012
- [6] Gorum, Xuanmei F., Cees J.V.W., Run Q.H., Qiang X., Chuan T., Gonghui W. 2011. *Distribution Pattern of Earthquake-Induced Landslides Triggered by The 12 May 2008 Wenchuan Earthquake*. Geomorphology, vol. 133, pp. 152–167
- [7] Hasmar, Halim. 2007. *Evaluasi Potensial Likuifaksi Akibat Gempa bumi Tektonik Lapisan Pasir Jenuh Air dengan Metode Shaking Table*. Jurnal Logika Vol. 4, No. 1
- [8] Hasnawir. 2012. *Intensitas curah hujan memicu tanah longsor dangkal di Sulawesi Selatan*. Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea, Vol. 1, No.1, hal. 62-73
- [9] Ibrahim, G dan Subardjo. 2005. *Pengetahuan Seismologi*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta : iii + 108 hlm
- [10] Meunier, P., dkk. 2013. *Landslide Patterns Reveal The Sources Of Large Earthquakes*. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 363, pp. 27–33
- [11] Musson. 1996. *Intensity and Intensity Scales*. British Geological Survey : Inggris
- [12] Naryanto, H.S., dkk. 2009. *Indonesia Diantara Berkah dan Musibah*. Jakarta : Kementrian Negara Riset dan Teknologi
- [13] Nurmala, C. 2007. *Model Analisis Risiko Kegempaan Daerah Sukabumi, Jawa Barat*. Skripsi Mahasiswa Departemen Geografi FMIPA UI Depok.
- [14] Pannekoek, A.J. 1949. *“Outline OF The Geomorphology of Java”*. Terj : Budio Basri, pp. 270-326
- [15] Pinter, Nicholas. *Earthquake Magnitude and Intensity*. 1992. University of California - Santa Barbara.
- [16] Schulz, W.H., dkk. 2012. *Evidence for earthquake triggering of large landslides in coastal Oregon, USA*. Geomorphology, Vol. 141-142, pp. 88–98
- [17] Siswoyo. 1998. *Aktivitas Gempa bumi Tektonik di Bali dan Lombok*. Skripsi Mahasiswa Departemen Geografi FMIPA UI, Depok: vii + 31 hlm
- [18] Sudarmadji, T. 1997. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Watershed Management)*. Samarinda: Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman
- [19] Van Bemmelen, 1949. *The Geology of Indonesia vol. 1 A. Government Printing Office, The Hague, Martinus Nijhoff*, vol. 1A, Netherlands
- [20] Wangke, Filycia Renatha. 2010. *Analisa Pengaruh Kegempaan Terhadap Stabilitas Lereng – Studi Kasus Gempa Padang Sep 2009*. Skripsi Mahasiswa Fakultas Teknik UI Depok
- [21] Xu, Chong. 2012. *Gis-Based Support Vector Machine Modeling of Earthquake-Triggered Landslide Susceptibility In The Jianjiang River Watershed, China*. Geomorphology, Vol. 145–146, pp. 70–80
- [22] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). 2008
<http://www.esdm.go.id/berita/geologi/42-geologi/687-gempa-bumi-di-daerah-69-istimewa-yogyakarta.html>
- [23] Kementrian Pekerjaan Umum RI
http://www.pu.go.id/publik/ind/produk/info_peta/rwnbanjir/bencana2006/3334gempasejarah.htm
- [24] Pusat Pendidikan Mitigasi Bencana (P₂MB) Universitas Pendidikan Indonesia. 2010.
<http://p2mb.geografi.upi.edu/Landslide.html>
- [25] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Jawa Barat. 2013.
http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/Gempa_a_bumi-a-tsunami/katalog-Gempa_bumi-merusak/248-katalog-gempa-bumi-merusak-tahun-2011
- [26] USGS. 2012. Earthquake Glossary-Intensity.
<http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=intensity>

Perubahan Fluktuasi Permukaan Air Tanah di Daerah Aliran *Ci leungsi* Hulu, Jawa Barat

Hasratul Hasfarila¹

¹Departemen Geografi, FMIPA UI, Kampus UI Depok 16424
hasfa_rila@yahoo.com

Abstrak

Air tanah merupakan sumber daya yang sangat penting. Pengukuran dan analisis mengenai ketinggian permukaan air diperlukan untuk mengetahui ketersediaan air tanah, salah satunya di Daerah Aliran *Ci Leungsi* Hulu, Jawa Barat. Penelitian ini membahas perubahan fluktuasi permukaan air tanah tahun 1991-1992 sampai 2013-2014. Variabel yang digunakan ialah fluktuasi permukaan air tanah, curah hujan, ketinggian, lereng, jenis batuan, dan penggunaan tanah. Metode penelitian ini ialah survey lapang periode Bulan November-Desember 2013 dan Januari 2014. Analisis yang digunakan ialah analisis statistik dan analisis deskriptif secara spasial dan temporal. Hasil yang diperoleh ialah fluktuasi permukaan air tanah di DA *Ci Leungsi* Hulu tahun 2013 sebesar 0,86-6,12 m dengan rata-rata fluktuasi 3,17 m, sedangkan fluktuasi permukaan air tanah pada tahun 1991 sebesar 0,10-5,80 m dengan rata-rata fluktuasi 2,35 m. Perubahan fluktuasi permukaan air tanah dipengaruhi oleh penambahan Permukiman. Semakin besar luas Permukiman, maka perubahan fluktuasi permukaan air tanah semakin besar di Daerah Aliran *Ci Leungsi* Hulu. Selain itu fluktuasi permukaan air tanah di DA *Ci Leungsi* Hulu secara temporal dipengaruhi oleh curah hujan sebesar 78,47% dan secara spasial dipengaruhi oleh ketinggian, lereng, karakteristik batuan, dan penggunaan tanah, dimana kelima aspek ini tidak dapat berdiri sendiri dalam mempengaruhi besarnya fluktuasi permukaan air tanah.

Abstract

Groundwater is an important resource. Measurement and analysis of water table is required to determine the availability of ground water, for example in upstream area of *Ci Leungsi* Watershed, West Java. This study discusses the changes of water table fluctuation in 1991-1992 until 2013-2014. The variable used are water table fluctuation, rainfall, altitude, slope, rock, and landuse. This research method is field survey period from November to December 2013, and January 2014. Analysis used is statistical analysis and descriptive analysis of spatial and temporal. The water table fluctuation in upstream area of *Ci Leungsi* watershed in 2013-2014 amounted 0.86 to 6.12 m with an average fluctuation of 3.17 m, while water table fluctuations in 1991 amounted 0.10 to 5.80 m with an average fluctuation of 2.35 m. Changes of water table fluctuation influenced by the addition of settlement. The larger change of settlement, impact on larger change of water table fluctuation in upstream area of *Ci Leungsi* watershed. Additionally, water table fluctuations in upstream area of *Ci Leungsi* watershed temporally influenced by rainfall of 78.47% and spatially influenced by altitude, slope, rock characteristics, and landuse, all of them can not influencing the water table fluctuation independently.

Keywords: *Change, fluctuatioan, rainfall, rock, and landuse*

1. PENDAHULUAN

Air tanah merupakan sumber daya yang sangat penting. Pengukuran dan analisis mengenai ketinggian permukaan air diperlukan untuk mengetahui ketersediaan air tanah.

Pada dasarnya permukaan bumi memiliki sifat yang berubah-ubah. Perubahan yang terjadi ini dapat dikategorikan menjadi dua, yakni perubahan secara horizontal dan vertikal. Salah satu contoh perubahan secara vertikal yang sering terjadi adalah naik

turunnya permukaan air tanah atau biasa disebut dengan fluktuasi permukaan air tanah.

Menurut Balek (1983) fluktuasi air tanah sangat dipengaruhi oleh interaksi antara curah hujan, jenis batuan, penggunaan tanah (vegetasi), jenis tanah, dan jaringan sungai. Serta bergantung pada kelembaban di atmosfer dan infiltrasi dari danau dan sungai. Fluktuasi permukaan air tanah yang terjadi disuatu wilayah dapat digunakan untuk estimasi pengisian air tanah (Healy and Cook, 2002 dalam Diouf, dk., 2012)

Wilayah penelitian ini ialah Daerah Aliran

Ci Leungsi Hulu bagian barat yang merupakan bagian dari Kali Bekasi yang berhulu di Gunung Hambalang, Gunung Pancar, Gunung Putri dan sebagainya dengan luas 13259,67 Ha. DA *Ci Leungsi* Hulu merupakan salah satu DAS yang memiliki kondisi geologi yang bervariasi mulai dari bentuk formasi yang beragam, banyaknya sesar dan lipatan serta gunung-gunung yang menjadi hulu dari setiap subDAS. Topografi DA *Ci Leungsi* Hulu pun beragam, mulai dari dataran rendah hingga pegunungan ada di wilayah ini.

Daerah Aliran *Ci Leungsi* Hulu meliputi Kecamatan Citeureup, Kecamatan Gunung Putri, Kecamatan Klapanunggal, dan Babakan Madang daerah tersebut terletak berdekatan dengan Kecamatan Cibinong sebagai pusat pemerintahan Kabupaten Bogor dan menjadi penghubung antara Kabupaten Bogor dengan Kota Bekasi. Keberadaan DA *Ci Leungsi* Hulu yang strategis dan sumber daya alam yang melimpah, menyebabkan tumbunya sector industri seperti industri semen. Keberadaan industri-industri kemudian memicu munculnya permukiman penduduk dan peningkatan kebutuhan lahan sebagai tempat tinggal.

Keberagaman dan kedinamisan DA *Ci Leungsi* Hulu inilah yang menjadi alasan dilakukannya penelitian mengenai fluktuasi permukaan air tanah di wilayah ini, sebab tidak dapat dipungkiri bahwa apa yang terjadi pada air tanah dipengaruhi oleh kondisi fisik yaitu topografi, jenis batuan, dan curah hujan serta penggunaan tanah. Selain itu penelitian ini diharapkan mampu mengembangkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Supriatna (1992) yang berjudul

“*Fluktuasi Muka Air Tanah di DA Ci Leungsi Hulu*”

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini ialah:

- a. a. Perubah Bagaimana fluktuasi permukaan air tanah di DA *Ci Leungsi* Hulu tahun 2013-2014 dan perubahannya jika dibandingkan pada tahun 1991-1992?
- b. Bagaimana pengaruh curah hujan, ketinggian, lereng, jenis batuan, dan penggunaan tanah tahun 2013 terhadap fluktuasi permukaan air tanah DA *Ci Leungsi* Hulu Tahun 2013-2014?
- c. Bagaimana pengaruh perubahan penggunaan tanah terhadap perubahan fluktuasi permukaan air tanah tahun 1991-1992 hingga 2013-2014 di DA *Ci Leungsi* Hulu?

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilakukan pada November-Desember 2013 dan Januari 2014. Fokus penelitian ini ialah kedalaman air tanah dangkal (air tanah bebas) di Daerah Aliran *Ci Leungsi* Hulu. Data kedalaman diambil melalui survey lapang dengan alat sederhana. Hasil pengukuran tersebut diperoleh nilai fluktuasi permukaan air tanah dan dapat dibandingkan dengan fluktuasi permukaan air tanah tahun 1991-1992. Perubahan tersebut kemudian dikorelasikan dengan penggunaan tanah. Fluktuasi permukaan air tanah tahun 2013-2014 dioverlay dengan peta jenis batuan,

lereng, ketinggian, jenis batuan, penggunaan tanah tahun 2013.

Untuk mengetahui pengaruh curah hujan terhadap fluktuasi permukaan air tanah menggunakan analisis statistik. Untuk mengetahui perubahan fluktuasi permukaan air tanah tahun 1991-1992 dan 2013-2014 dengan cara membuat peta fluktuasi permukaan air tanah kemudian dilihat perbedaannya dengan menggunakan analisis deskriptif secara spasial dan temporal.

Untuk mengetahui pengaruh curah hujan terhadap fluktuasi air tanah, analisis yang digunakan ialah analisis statistik.

Untuk mengetahui pengaruh ketinggian, lereng, jenis batuan, dan penggunaan tanah tahun 2013 terhadap fluktuasi air tanah tahun 2013-2014 analisis deskriptif pada penampang melintang hasil *overlay* kelima variable tersebut.

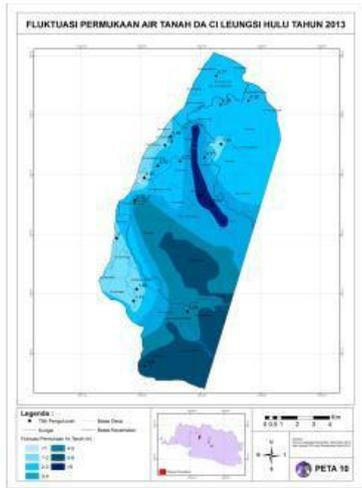
Unit analisis grid dan analisis statistik digunakan untuk melihat persentase perubahan penggunaan tanah yang kemudian dihubungkan dengan perubahan fluktuasi permukaan air tanah yang terjadi pada masing-masing grid. Unit analisis grid yang dimaksud dalam penelitian ini adalah cakupan titik pengukuran dengan ukuran 250x250 meter. Alasan penentuan ukuran grid adalah karena air tanah dangkal wilayah resapannya hanya diwilayah sekitarnya saja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Fluktuasi Permukaan Air Tanah Tahun 2013-2014

Hasil pengukuran kedalaman air tanah selama periode Bulan November-Desember 2013 dan Januari 2014 menghasilkan kedalaman air tanah yang berubah-ubah setiap pengukurannya. Selama 3 bulan melakukan pengumpulan data, diperoleh kedalaman air tanah paling dangkal dan kedalaman air tanah paling dalam di 19 titik pengukuran. Selisih antara kedalaman air tanah paling dangkal dan kedalaman air tanah paling dalam itu lah yang merupakan nilai dari fluktuasi permukaan air tanah (lihat tabel 5.1)

Fluktuasi permukaan air tanah di DA *Ci Leungsi* Hulu berkisar antara 0,85 m sampai dengan 6,12 m. Fluktuasi permukaan air tanah terkecil terjadi pada sumur sanja (0,86 m) dan terbesar pada sumur pasir mukti (6,12 m). Rata-rata fluktuasi permukaan air tanah di sembilanbelas sumur yaitu sebesar 3,08 m. Lokasi no. 7,8,13,14,15,18, dan 19 merupakan sumur yang memiliki fluktuasi permukaan air tanah diatas rata-rata sedangkan sumur lainnya memiliki fluktuasi di bawah rata-rata. Besar nilai fluktuasi kemudian diklasifikasikan menjadi 7 kelas yaitu <1 m, 1-2 m, 2-3 m, 3-4 m, 4-5 m, 5-6 m, dan >6 m (lihat peta 12).



Wilayah yang memiliki fluktuasi permukaan air tanah <math>< 1\text{ m}</math> hanya ditemukan diperbatasan antara Desa Leuwintug dengan Desa Sanja dengan luas area sebesar 29 Ha atau 0,22% dari luas total wilayah penelitian. Kemudian wilayah yang memiliki fluktuasi permukaan air tanah 1-2 m cenderung tersebar dibagian barat wilayah penelitian dan sebagian Desa Tajur dengan luas area sebesar 1118 Ha atau sebesar 8,44% dari luas total wilayah penelitian.

Sementara itu, wilayah yang memiliki fluktuasi permukaan air tanah paling besar yaitu >6 m tersebar di bagian tengah wilayah penelitian, mencakup sebagian Desa Citeurep, Gunung Sari, Pasir Mukti, Tarikolot, dan Tajur dengan luas area sebesar 380 Ha atau sebesar 2,87% dari luas total wilayah penelitian.

3.2. Perubahan Fluktuasi Permukaan Air Tanah Tahun 1991-2014

Pada Tahun 1991-1992 besar fluktuasi permukaan air tanah hanya sebesar 0,10-5,80 m dimana fluktuasi terendah terjadi pada sumur Nambo 2 dan fluktuasi tertinggi terjadi pada sumur Tarikolot sedangkan pada tahun 2013-2014 besar fluktuasi 0,86-6,12 m dimana fluktuasi terendah terjadi pada sumur Sanja dan tertinggi pada Sumur Pasir Mukti.

Tidak hanya dari segi besar fluktuasi permukaan air tanah tetapi juga dari rata-rata fluktuasi permukaan air tanah berubah. Pada Tahun 1991-1992 fluktuasi rata-rata hanya sebesar 2,35 m sedangkan pada tahun 2013-2014 fluktuasi rata-rata meningkat sebesar 0,82 m sehingga menjadi 3,17 m

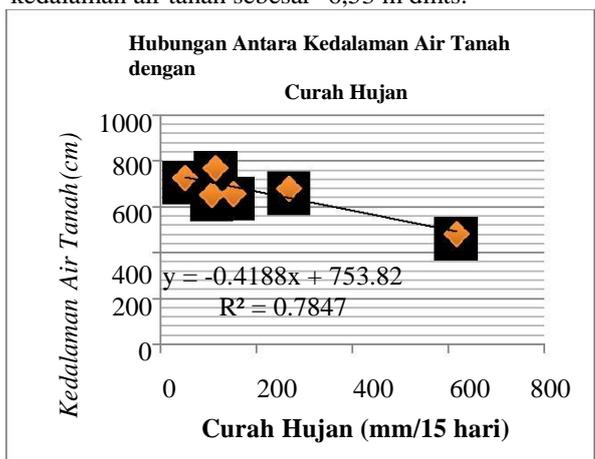
3.3. Hubungan antara curah hujan dengan Fluktuasi Permukaan Air Tanah

Pengukuran pertama pada awal November didapatkan kedalaman air tanah berkisar antara - 0,74 m dmts sampai dengan -15,06 m dmts dengan rata-rata -6,57 m dmts serta jumlah curah hujan sebesar 152 mm. Lihat lampiran 2, rentang antara pengukuran pertama dengan pengukuran kedua jumlah curah

hujan sebesar 115 mm, penurunan jumlah curah hujan menyebabkan penurunan rata-rata kedalaman air tanah sebesar -7,72 m dmts dengan 17 sumur mengalami penurunan permukaan air tanah sebesar 0,02-3,42 m dan 2 sumur lainnya yaitu Sumur Citeurep 2 dan Citaringgul mengalami kenaikan permukaan air tanah masing-masing 0,16 dan 0,21 m.

Jumlah curah hujan rentang antara pengukuran ke-2 dengan ke-3 sebesar 268 mm. Jumlah ini meningkat dari jumlah curah hujan sebelumnya. Peningkatan jumlah curah hujan ini diikuti oleh peningkatan rata-rata kedalaman air tanah sebesar - 6,83 m dmts dan kenaikan permukaan air tanah pada sumur-sumur yang menjadi titik pengukuran yaitu diantaranya 17 sumur mengalami kenaikan permukaan air tanah sebesar 0,09-2,89 m dan 2 sumur sisanya yaitu Sumur Tlajung Udik dan Sumur Karangasem Barat mengalami penurunan masing-masing 0,80 m dan 0,02 m.

Pengisian air tanah oleh air hujan terus berlanjut hingga pengukuran ke-4, setelah curah hujan sebesar 286 mm mengisi air tanah di pengukuran ke-3, kemudian curah hujan sebesar 107 mm di pengukuran ke-4 tambah mengisi air tanah. Walaupun dari segi jumlah curah hujan ini mengalami penurunan tetapi jumlah curah hujan ini mampu menambah air tanah di akuifer-akuifer bebas yang sebelumnya sudah terisi karena jumlah curah hujan yang cukup besar di pengukuran ke-3. Hasil dari penambahan air tanah terlihat pada hasil pengukuran ke-4 yaitu 13 sumur mengalami kenaikan permukaan air tanah sebesar 0,01-3,05 m dan 6 sumur yaitu Sumur Pasir Mukti, Nambo 2, Tajur, Lulut, Karang tengah, dan Cijayanti mengalami penurunan sebesar 0,05-1,17 m dan rata-rata kedalaman air tanah sebesar -6,53 m dmts.



Pada pengukuran ke-5 ini, rata-rata kedalaman air tanah sebesar -7,27 m dmts, nilai ini merupakan rata-rata kedalaman air tanah terbesar dibandingkan dengan pengukuran yang lain. Tercatat bahwa 18 sumur mengalami

penurunan permukaan air tanah 0,07-5,32 m dan hanya Sumur Nambo 1 yang mengalami kenaikan permukaan air tanah sebesar 0,20 m. Banyaknya sumur yang mengalami penurunan permukaan air tanah ini disebabkan oleh sedikitnya jumlah curah hujan yaitu 50 mm.

Selanjutnya pada pengukuran ke-6 jumlah curah hujan meningkat signifikan yaitu 617 mm. Besarnya curah hujan ini mampu mengisi kekurangan air tanah pada akuifer-akuifer yang kemudian berdampak positif pada kelimpahan air tanah, hal ini kemudian berdampak pada penurunan rata-rata kedalaman air tanah sebesar -4,84 m dmts serta kondisi air tanah pada semua titik pengukuran meningkat antara 0,24-6,04 m.

Hasil penjabaran diatas kemudian dikorelasikan antara jumlah curah hujan dengan rata-rata kedalaman air tanah tiap pengukurannya seperti terlihat pada gambar 8.

3.4. Hubungan Ketinggian, Jenis Batuan, Lereng, dan Penggunaan Tanah Terhadap Fluktuasi Air Tanah Tahun 2013-201

Wilayah luktiasi permukaan air tanah rendah yaitu 1-2 m dan 2-3 m dapat ditemukan di wilayah ketinggian 100-225 m dpl. Di DA *Ci Leungsi* Hulu, wilayah dengan fluktuasi permukaan air tanah ini dapat ditemukan di dekat sungai dan memiliki karakteristik lereng datar hingga agak landai, jenis batuan alluvial serta keberadaan Permukiman yang masih sedikit.

Hal ini terjadi sebab pada musim penghujan air hujan yang jatuh pada wilayah ini akan mampu dengan mudah terinfiltrasi kedalam tanah untuk membentuk air tanah dikarenakan karakteristik jenis batuan alluvial memiliki permeabilitas tinggi. Seperti sudah dipaparkan pada bab 2 bahwa tingginya permeabilitas memberikan ruang yang besar untuk air tanah meloloskan diri kedalam tanah dan memiliki daya serap yang relatif tinggi. Kemudian pada musim kemarau, saat curah hujan sebagai sumber air tanah berkurang maka keberadaan air sungai menjadi penting sebagai sumber air tanah pengganti. Jadi baik saat musim hujan maupun musim kemarau, persediaan air tanah selalu terjaga dan fluktuasi air tanah yang terjadi tidak terlalu besar. Persediaan air tanah yang tetap terjaga juga didukung oleh berkurangnya pengambilan air tanah sebab pada wilayah ini jarang ditemukan Permukiman penduduk.

Kemudian, wilayah fluktuasi permukaan air tanah tinggi yaitu 5-6 m dan >6 m dapat ditemukan di wilayah dengan ketinggian rendah dan tinggi. Wilayah ketinggian rendah berkisar 100-150 m aml dan wilayah ketinggian tinggi berkisar 300-450 m aml. Masing-masing wilayah ini memiliki karakteristik yang berbeda.

Wilayah fluktuasi permukaan air tanah tinggi di wilayah ketinggian rendah memiliki karakteristik lereng datar hingga agak landai dan jenis batuan kipas alluvial. Sesuai dengan karakteristiknya, kipas alluvial

terdiri atas lanau, batu pasir, kerikil, dan kerakal yang membuat batuan ini mampu meloloskan air hujan dengan baik ke dalam tanah. Kondisi jenis batuan ini didukung oleh lereng pada wilayah ini yang datar hingga agak landai sehingga memudahkan air tanah mengumpul pada satu area. Tetapi keberadaan air tanah yang melimpah ini bertolak belakang dengan keadaan fluktuasi air tanahnya yang besar yaitu 5-6 m. Hal ini disebabkan oleh hampir seluruh wilayah fluktuasi air tanah tinggi ini berupa Permukiman, sehingga pengambilan air tanah terjadi terus menerus.

Lalu wilayah fluktuasi permukaan air tanah tinggi >6 m ditemukan di wilayah ketinggian tinggi yaitu 300-450 m aml memiliki karakteristik lereng agak curam dan jenis batuan berupa breksi lava Gunung Kencana dan Gunung Limo. Sesuai karakteriksinya, jenis batuan breksi lava Gunung Kencana dan Gunung Limo terdiri atas bongkahan andesit dan breksi andesit. Jenis batuan ini merupakan hasil produk gunung api dan jenis batuan beku kategori menengah sehingga memiliki permeabilitas rendah hingga sedang. Permeabilitas yang rendah akan menyulitkan air hujan untuk meloloskan diri ke dalam tanah yang berakibat keberadaan air tanah yang terbatas.

Disamping itu, pada wilayah fluktuasi permukaan air tanah ini memiliki lereng agak curam sehingga membuat air tanah yang ada bergerak ke wilayah yang jauh lebih rendah. Selain lereng yang agak curam dan karakteristik jenis batuan yang menghambat pembentukan air tanah, pada wilayah ini air tanah secara terus menerus dikonsumsi oleh penduduk.

3.5. Hubungan Perubahan Penggunaan Tanah dengan Perubahan Fluktuasi Air Tanah Perubahan penggunaan tanah yang terjadi

pada kelima grid pengukuran ialah hilangnya hutan, berkurangnya kebun campuran, sawah, tegalan semak belukar, dan padang rumput. Perubahan penggunaan tanah yang sangat signifikan terjadi pada grid pengukuran Karangasem Barat dan Leuwintug, dimana hutan, kebun campuran, sawah, tegalan, dan semak belukar berubah seluruhnya menjadi Permukiman. Kemudian pada grid pengukuran Citeurep 2, yang sebelumnya sudah terdapat Permukiman kini Permukiman tersebut bertambah sebesar 45,80% dan penggunaan tanah seperti tegalan, kebun campuran, padang rumput, sawah dan semak belukar sudah tidak dapat ditemukan lagi.

Pada grid pengukuran Nambo 1, perubahan penggunaan tanah yang terjadi hilangnya hutan, padang rumput, dan sawah serta berkurangnya kebun kebun campuran (-44,17%) dan bertambahnya Permukiman (+87,20%). Walau mengalami penurunan, keberadaan kebun campuran pada tahun 2013 tidak terlepas dari peran Industri Semen Holcim Tbk terhadap lingkungan karena

letak industri ini tidak jauh dari grid pengukuran Nambo 1.

Kondisi yang hampir sama terjadi pula pada grid pengukuran Kadumangu, dimana bertambahnya padang rumput (+22,99%) tidak terlepas dari pengaruh keberadaan sirkuit sentul dan padang golf yang tidak jauh dari grid pengukuran ini. Akses jalan yang baik dan letak yang strategis membuat muncul Permukiman (77,01%) yang sebelumnya tidak ada pada tahun 1991.

Jadi dapat disimpulkan bahwa pada kelima grid titik pengukuran, perubahan penggunaan tanah yang signifikan berupa Permukiman dengan persentase berkisar antara 45,8-100 %. Oleh karena itu, jenis perubahan penggunaan tanah yang digunakan untuk dikorelasikan dengan perubahan fluktuasi permukaan air tanah hanyalah jenis penggunaan tanah Permukiman.

Tabel 1.. Hubungan Perubahan Fluktuasi Air tanah dengan Persentase Penambahan Permukiman

No	Grid	Perubahan Fluktuasi Air Tanah (m)	Persentase Penambahan Permukiman (%)
1	Citeurep 2	0.60	45,80
2	Kadumangu	1.20	77,01
3	Nambo1	1.68	87,20
4	Karangasem Barat	2.22	100
5	Leuwintug	2.95	100

[Sumber: Pengolahan Data 2014]

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa penambahan Permukiman diikuti oleh perubahan fluktuasi air tanah yang terjadi. Semakin besar persentase perubahan Permukiman, maka semakin tinggi juga perubahan fluktuasi permukaan air tanah.

4. KESIMPULAN

Fluktuasi permukaan air tanah di DA Ci Leungsi Hulu tahun 2013-2014 sebesar 0,86-6,12 m dengan rata-rata fluktuasi 3,17 m, sedangkan fluktuasi permukaan air tanah pada tahun 1991-1992 sebesar 0,10-5,80 m dengan rata-rata fluktuasi 2,35 m. Perubahan fluktuasi permukaan air tanah dipengaruhi oleh penambahan Permukiman. Semakin besar luas Permukiman, maka perubahan fluktuasi permukaan air tanah semakin besar.

Fluktuasi permukaan air tanah di DA Ci Leungsi

Hulu tahun 2013-2014 secara temporal dipengaruhi oleh curah hujan sebesar 78,47 %. Selain itu, besarnya fluktuasi permukaan air tanah di DA Ci Leungsi Hulu secara spasial dipengaruhi oleh ketinggian, lereng, karakteristik batuan serta penggunaan tanah yang ada dimana kelima aspek ini tidak dapat berdiri sendiri dalam mempengaruhi besarnya fluktuasi permukaan air tanah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa, dinas dan instansi terkait, dan teman-teman yang selalu membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]Asdak, Chay. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [2] Balek, J. 1983. *Development in Water Science: Hidrology and Water Resources in Tropical Region*. Amsterdam- Oxford. New York.
- [3] Bisht, Dinesh., Shilpa Jain, M. Mohan Raju. 2013. *Prededction of Water Table Fluctuation Through Fuzzy Logic & Artificial Neural Network*. International Journal of Advaced Science and Technology.
- [4] Davie, Tim. 2008. *Fundamental of Hydrology*. Taylor & Francis e-Libraby.
- [5] Diouf, Ousmane Coly., Seynabou Cisse Faye., et al., 2012. *Combined uses of water table fluctuation (WTF) chloride mass balace (CMB) and environmental isotopes methods to investigate groundwater recharge in the Thiaroye sandy aquifer (Dakar, Senegal)*. African Journal of Enviromental Science and Tecnology Vol. 6 (11), pp. 425-437.
- [6] Harnandi, Dadi., Pasaribu, Manaris. 2009. *Penyelidikan Konservasi Cekungan Air Tanah Bogor Provinsi Jawa Barat*. Dept. ESDM: Bandung.
- [7] Hasan, M. Iqbal. 2010. *Pokok-pokok Materi Statistik 2*. Bumi Aksara: Jakarta.
- [8] Higy, Christophe., Musy, Andre. 2011. *Hydrologi: A Science of Nature*. CRC Press. New York.
- [9] Luduc, Cristian., John Bromley, Pierre Schroeter. 1997. *Water Table Fluctuation And Recharge In Semi-Arid Climate: Some Result Of The HAPEX-Sahel Hydrodynamic Survey (Niger)*. Journal of Hydrology.
- [10] Nurwidyanto, M. Irham., Meida Yustiana., Sugeng Widada. 2006. *Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Porositas dan Permeabilitas Pada Batu Pasir*. Jurnal berkala fisika Vol.9, No.4, Oktober 2006, hal 191-195. Jurusan Fisika Universitas Diponegoro.
- [11]Runtuwu, Eleonora., Budi Karwita, Kharmilasari, Kurmen Sudarman, Wahyu Tri Nugroho, Anang Firmansyah. 2011. *Dinamika Elevasi Muka Air Pada Lahan dan Saluran di*

Lahan Gambut. Riset Geologi dan Pertambangan.

- [12] Salim, Peter. 1985. *Kamus Advance English-Indonesia Dictionary*. Intan Pariwara.
- [13] Seyhan, Basin. 1995. *Dasar-dasar Hidrologi*. Gadjah Mada University. Yogyakarta.
- [14] Supriatna. 1992. *Fluktuasi Permukaan Air Tanah di Daerah Aliran Ci Leungsi Hulu*. Skripsi Jurusan Geografi FMIPA UI Depok.
- [15] Soemanto, C.D. 1999. *Hidrologi Teknik*. Erlangga. Jakarta.

Potensi Panas Bumi Berdasarkan Karakteristik Fisik Wilayah (Studi Kasus : Daerah Wayang-Windu, Kabupaten Bandung, Propinsi Jawa Barat dan Daerah Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten)

Faris Pramadhani*, Rokhmatuloh, Supriatna

Departemen Geografi, FMIPA UI, Kampus UI Depok 16424

faris.pramadhani@ui.ac.id*

Abstrak

Daerah Wayang-Windu dan Daerah Gunung Endut berada dalam Zona Gunungapi Kuartar Jawa, dimana aktivitas vulkanisme dan magmatisme menandakan keduanya merupakan daerah potensial panas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi panas bumi di masing-masing daerah penelitian berdasarkan karakteristik fisik wilayahnya. Kemudian hasil potensi yang muncul dibandingkan satu sama lain untuk mempelajari persamaan dan perbedaan sistem panas bumi di kedua daerah penelitian. Dalam penelitian ini, wilayah prospek panas bumi di delineasi menggunakan model Fuzzy Logic. Model ini mengintegrasikan variabel penciri kehadiran sistem panas bumi di permukaan yang dikenali melalui aplikasi Penginderaan Jauh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa morfologi struktural seperti kaldera, tapal kuda, horst dan graben merupakan variabel penciri yang paling mempengaruhi potensi panas bumi di kedua daerah penelitian. Daerah Wayang-Windu memiliki luas wilayah prospek 58,6 km², suhu reservoir 220⁰ C-270⁰ C dengan potensi sumberdaya sebesar 707,6 MWe. Daerah Gunung Endut memiliki luas wilayah prospek 17,5 km², suhu reservoir 181⁰ C dengan potensi sumberdaya sebesar 95 MWe. Berdasarkan karakteristik fisik wilayahnya, Daerah Wayang-Windu yang merupakan Lapangan Panas Bumi dengan Sistem Vulkanik Kompleks Gunungapi memiliki potensi panas bumi lebih besar dibandingkan dengan Daerah Gunung Endut yang merupakan Lapangan Panas Bumi dengan Sistem Vulkanik-Tektonik (kerucut vulkanik-graben).

Kata kunci : *fuzzy logic*, Gunung Endut, panas bumi, penginderaan jauh, Wayang Windu

Abstract

Wayang-Windu area and Mount Endut area included in the Quaternary Volcanic Zone of Java Island, where volcanism and magmatism activity indicate both an area of geothermal potential. This study aims to identify the potential of geothermal energy in each study area based on the physical characteristics of the region. Apparent of potential result over each area compared to find out the similarities and differentiation of geothermal systems that exist in the area. In this study, geothermal prospect areas were delineated using Fuzzy Logic model. This model integrate the surface identifier variables that identified through the Application of Remote Sensing. The results showed that the structural morphology, such as caldera, sector collapse, horst and graben, is an identifier variables that most influence the geothermal potential in both areas of research. Wayang-Windu has an area of 58.6 km² prospects, reservoir temperature of about 220⁰ C - 270⁰ C with a potential resource is calculated as about 707.6 MWe. Mount Endut has an area of 17.5 km² prospects, reservoir temperature of about 181⁰ C with a potential resource is calculated as about 95 MWe. Based on the physical characteristics of the region, the Wayang Windu area which is a Volcanic Complex Geothermal System has geothermal potential is greater than area of Mount Endut area which is Volcano-Tectonic Geothermal System.

Key words : *fuzzy logic, geothermal, Mount Endut, remote sensing, Wayang-Windu*

1. PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan alternatif energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Di Indonesia, sebagian besar energi panas bumi yang telah dimanfaatkan selama ini merupakan energi yang diekstrak dari sistem konvektif hidrotermal. Namun, potensi panas bumi dari satu lapangan ke lapangan panas bumi lainnya

tidak selalu sama. Lokasi sumber panas, sirkulasi fluida, dan jalur patahan sebagai komponen utama sistem panas bumi bergantung pula pada bagaimana karakteristik fisik wilayahnya. Dengan mengetahui keterkaitan antara sistem panas bumi dan karakteristik fisik suatu wilayah, dapat diketahui pula implikasinya terhadap potensi panas bumi yang muncul di wilayah tersebut.

Kehadiran struktur kedalaman lokal yang berkaitan dengan panas bumi dapat tercermin terhadap ekspresi struktur geologi di permukaan, seperti kelurusan – kelurusan topografi dan bentukan struktur melingkar. Disamping itu, sistem rekahan dan patahan di lapangan panas bumi sebagai media penetrasi fluida naik ke atas pada umumnya ditandai dengan deposit mineral di permukaan yang berhubungan dengan manifestasi dan gejala alterasi batuan (umumnya lempung). Data-data mengenai manifestasi ini dapat berguna dalam tahap prospeksi untuk mengenali dimana terdapat sistem panas bumi pada suatu wilayah (Saptadji, 2002).

Kriteria geologi ataupun ekspresi gejala panas bumi di permukaan dapat diidentifikasi lewat aplikasi penginderaan jauh dan diintegrasikan menggunakan model SIG (Sistem Informasi Geografis). Penilaian permeabilitas batuan (patahan/rekahan) dalam suatu lapangan panas bumi dapat diukur menggunakan metode *Fault and Fracture Density* (Soengkono, 1999). Sementara kaitannya dengan ciri panas bumi lain di permukaan, seperti batuan alterasi / endapan hidrotermal dapat diukur lewat metode *Defoliant Tehnique* menggunakan sensor citra inframerah (Utami & Soetoto, 2001).

Karakteristik fisik suatu wilayah menimbulkan ketidakseragaman interaksi komponen utama sistem panas bumi satu daerah dengan daerah lainnya. Sehingga, menimbulkan perbedaan besaran potensi maupun lokasi wilayah prospeknya. Atas dasar adanya perbedaan tersebut, maka dapat diketahui bagaimana pengaruh karakteristik fisik memunculkan potensi panas bumi di masing-masing daerah

Penelitian ini mengambil studi kasus yaitu Daerah Gunung Endut, Kabupaten Lebak, Banten dan Daerah Wayang-windu, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Dua daerah ini memiliki sejarah aktifitas vulkanisme pada zaman Kuartar. Kehadiran gunungapi kuartar di daerah penelitian adalah penanda bahwa keduanya merupakan daerah potensial panas bumi.

Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana potensi panas bumi di kedua daerah penelitian. Mengetahui pengaruh karakteristik fisik wilayah terhadap potensi panas bumi di kedua daerah penelitian, Membandingkan sistem dan potensi panas bumi dari kedua daerah penelitian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Panas Bumi di Indonesia

Posisi Kepulauan Indonesia yang terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar (Eurasia, Hindia–Australia, dan Pasifik) menjadikannya memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Subduksi antar lempeng benua dan

samudra menghasilkan suatu proses peleburan magma dalam bentuk partial melting batuan mantel dan magma mengalami diferensiasi pada saat perjalanan ke permukaan. Proses tersebut membentuk kantong – kantong magma yang berperan dalam pembentukan jalur gunungapi yang dikenal sebagai lingkaran api (*ring of fire*). Munculnya rentetan gunung api Pasifik di sebagian wilayah Indonesia beserta aktivitas tektoniknya, dapat dijadikan sebagai model konseptual pembentukan sistem panas bumi di Indonesia (Kasbani, 2010).

Berdasarkan kriteria tatanan geologinya, sistem panas bumi konvektif hidrotermal di Indonesia dibagi dalam 3 kategori utama (Badan Geologi, 2008., dalam Kasbani 2010) :

- (a) Sistem Vulkanik. Sistem panas bumi vulkanik berasosiasi dengan aktifitas vulkanik kuartar. Fluida panas bumi pada sistem ini menerima panas dari intrusi magma dengan panas yang tertinggi ($\leq 370^{\circ}\text{C}$) dibanding dengan tipe sistem panas bumi lainnya.
- (b) Sistem Vulkano – Tektonik. adalah sistem panas bumi yang berasosiasi antara struktur graben (tektonik) dan kerucut vulkanik, umumnya ditemukan di daerah Sumatera pada jalur sistem sesar sumatera (Sesar Semangko) dan memiliki reservoir menengah (50 – 100 MW) sampai tinggi (>100 MW).
- (c) Sistem Tektonik. sistem panas bumi yang tidak berkaitan langsung dengan vulkanisme dan umumnya berada di luar jalur vulkanik Kuartar (Kasbani, 2010), dimana gaya tektonik menyebabkan regangan pada lapisan bumi dan menyebabkan material panas (*heat source*) dapat muncul di kedalaman dangkal (Ballard, 2000).

2.2 Geomorfologi Lapangan Panas Bumi Vulkanik

Studi geomorfologi pada suatu lapangan panas bumi umumnya mempunyai dua tujuan utama. Pertama, bermaksud mengorganisasikan secara sistematis pemerian bentang alam dalam suatu skema pengelompokan. Kedua, bermaksud untuk mengetahui penyimpangan-penyimpangan yang terjadi dari pengelompokan, guna membuktikan adanya suatu perubahan dalam tata lingkungan bentang alam yang normal, untuk suatu tujuan dan sasaran yang ingin dicapai (Bloom, 1979., dalam Mardiana, 2007). Bogie, *et al* (2010) menyebutkan setidaknya ada dua bentukan menyimpang di lapangan vulkanik yang berhubungan dengan kepanasbumian, yaitu :

- *Sector collapse kecil*, dengan radius 1 – 2 km, lingkaran ini memutus puncak kawah.
- *Sector collapse besar*, radius > 2 km, lingkaran ini memutus puncak kaldera, dimana batas lingkarannya menjadi bagian dari puncak kaldera tersebut.

2.3 Peran Penginderaan Jauh Dalam Eksplorasi Panas Bumi

Penginderaan jauh dapat membantu pemetaan geologi permukaan, khususnya dalam memetakan struktur geologi, daerah manifestasi panas, dan pelamparan batuan teralterasi (Utami dan Soetoto, 2001). Di samping dapat membantu menentukan strategi ground survey (baik geokimia maupun geofisika), dan membantu pemilihan lokasi pemboran eksplorasi.

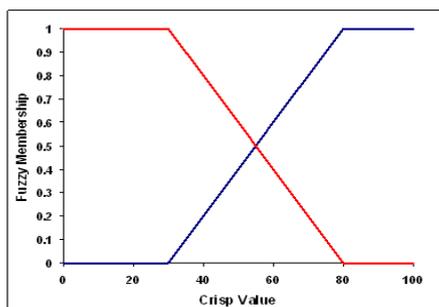
Struktur geologi perlu dipetakan dan diketahui karakteristiknya karena struktur tersebut mengontrol permeabilitas reservoir panas bumi (Soengkono, 1999). Foto udara banyak dipakai untuk membantu memetakan struktur geologi, seperti yang telah dilakukan di Taupo, Selandia Baru (Soengkono, 1999), dan Islandia Selatan (Khodayar et al., 2010).

Saepulloh, *et al* (2010) menyebutkan bahwa citra ASTER yang memiliki resolusi spasial 15-30 m untuk band VNIR-SWIR dapat mengenali daerah panas bumi di Pulau Bacan, Maluku Utara. Mereka memetakan sebaran mineral kaolinite, illite dan alunite melalui metode Spectral Angle Mapper (SAM). Berikutnya, Wibowo (2006) melakukan pengenalan daerah panas bumi lewat pemetaan daerah alterasi lempung dan oksida besi di Jawa Barat menggunakan sensor citra Landsat TM. Hasilnya menunjukkan adanya korelasi antara kejadian panas bumi dan sebaran alterasi di permukaan dalam jarak tertentu.

2.4 Fuzzy Logic

Konsep Fuzzy Logic diperkenalkan pertama kali oleh Wilkinson pada tahun 1963 dan Zadeh pada tahun 1965 (Zadeh, 1993). Konsep Fuzzy Logic merupakan pengembangan dari logika Boolean/Klasik, dimana logika Boolean menyatakan bahwa segala hal diekspresikan dalam istilah binari (seperti : 0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak).

Fuzzy Linear merupakan salah satu fungsi dalam Fuzzy Logic, fungsi ini memiliki konsep bahwa untuk memetakan sesuatu dengan mentransformasikan nilai maksimum dan minimum dari input awal (Gambar 2.1).



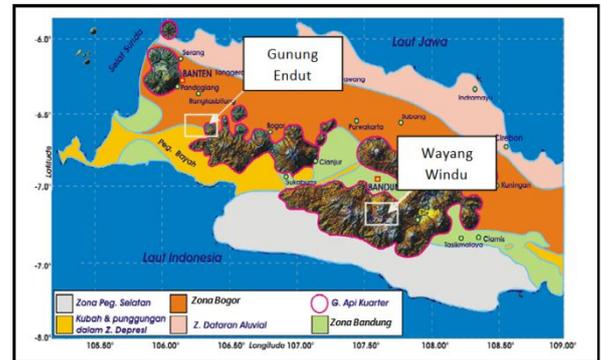
Gbr 2.1. Grafik Fungsi Fuzzy Linear (Zadeh, 1993)

2.5 Geologi Daerah Penelitian

2.5.1 Geologi Wayang-Windu

Secara regional Daerah penelitian Wayang-Windu berada dalam Fisiografi Zona Gunung Api Kuarter (Van Bemmelen, 1949).

Batuan gunung api Daerah Wayang-Windu meliputi 9 (sembilan) litologi (berturut-turut dari tua ke muda) : Gunung Api Pangalengan (PV), Tanjaknangsi (TV), Kuda (KV), Kendang (KaV), Dogdog (DV), Malabar (MV), dan Wayang-Windu (WW). Satuan Batuan Piroklastika Pangalengan (PP) berasal dari banyak sumber erupsi gunung api, sedangkan Endapan Aluvium (Al) merupakan hasil pengerjaan ulang seluruh batuan gunung api primer tersebut di atas.



Gbr 2.2 Fisiografi Jawa Bagian Barat

2.5.2 Geologi Gunung Endut

Dalam fisiografi skala regional, Gunung Endut berada pada jajaran pertemuan 3 Fisiografi, yaitu antara Zona Bogor, Punggungan dan Kubah dalam Zona Depresi dan Zona Gunungapi Kuarter, dimana merupakan perbukitan lipatan yang tersedimentasi dan terpatahkan di laut dalam pada zaman Tersier dan membentuk Antiklinorium kemudian tertindih oleh gunungapi kuarter yang lebih muda. (Van Bemmelen, 1949).

Berdasarkan rujukan Peta Geologi Sistematis skala 1:50.000 hasil laporan Penyelidikan Terpadu PSDG (Kusnadi *et al*, 2006), Batuan di Daerah Gunung Endut dikelompokkan menjadi 12 satuan. Urutan dari tua ke muda adalah Formasi Badui (Tmd), Anggota Batugamping (Tmb), Anggota Batupasir (Tmbp), Dasit (Tda), Intrusi Andesit (Ta), Batuan Gunungapi Pra-Endut (Tve), Batuan Gunungapi Pilangranal (Tvp), Diorit (Td), Granodiorit (Tgr) , Batuan Gunungapi Pilar (Qvpi), Batuan Gunungapi Endut (Qve) dan Aluvium (Qal).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Secara administrasi, Daerah Wayang-Windu terletak di Kabupaten Bandung Selatan, Propinsi Jawa Barat. Berdasarkan peta dasar rupa bumi skala 1:25.000, daerah penelitian meliputi Lembar Peta Pangalengan (nomor 1208-633), Lebaksari (1208-632), Soreang (1208-633), dan Pakutandang (1208-634). Sedangkan Gunung Endut terletak di Kecamatan Lebakgedong,

Ciparay, Leuwidamar, Sajira, Sobang dan Muncang, Kabupaten Lebak, Propinsi Banten. Dimensi penelitian ini mencakup keseluruhan tubuh Gunungapi Endut menuju ke lereng barat.

Potensi panas bumi di masing-masing daerah penelitian diukur melalui besaran sumberdaya energi listrik yang bisa dihasilkan dalam kurun waktu tertentu. Parameter yang dikaji untuk mengukur penentuan besaran energi listrik adalah luas wilayah prospek dan suhu reservoir. Luas wilayah prospek panas bumi diterapkan dengan menyusun variabel-variabel penciri utama sistem panas bumi dalam satu model spasial Fuzzy Logic. Didalamnya meliputi tahap deliniasi wilayah berdasarkan hasil integrasi variabel penciri sistem panas bumi, yaitu tingkat permeabilitas batuan, morfologi struktural dan sebaran batuan alterasi. Sedangkan suhu reservoir diperoleh menggunakan Metode Geotermometri. Metode ini menggunakan variabel mata air panas untuk menentukan besaran suhu reservoir di kedalaman. Setelah mendapatkan luas wilayah prospek dan suhu reservoir, maka dapat ditentukan besaran potensi sumberdaya energi di masing-masing daerah penelitian melalui Metode Volumetrik.

Pengaruh karakteristik fisik terhadap potensi panas bumi di masing-masing daerah penelitian dikaji melalui konsep korelasi. Dua hal yang dikorelasikan adalah variabel fisik dengan area prospek panas bumi. Variabel fisik yang digunakan adalah struktur geologi, litologi dan geomorfologi. Dengan mengetahui keterkaitan keduanya, maka dapat diketahui karakteristik fisik yang paling mempengaruhi terbentuknya potensi panas bumi di masing-masing daerah penelitian.

Hasil analisis keduanya dijadikan acuan untuk mendapatkan matriks perbandingan potensi panas bumi di masing-masing daerah penelitian.

Secara garis besar, metodologi penelitian meliputi lima tahap pekerjaan, yang terdiri dari:

- 1) Pengumpulan dan pemasukkan data yang digunakan sebagai variabel.
- 2) Pembuatan model yang didasarkan pada studi empiris dan penentuan kriteria umum untuk mengenali gejala sistem panas bumi di masing-masing daerah penelitian. Termasuk validasi hasil model prediksi dengan data lapangan.
- 3) Perhitungan potensi sumberdaya spekulatif panas bumi untuk masing-masing daerah penelitian.
- 4) Korelasi antara potensi panas bumi dengan karakteristik fisik wilayah di masing-masing daerah penelitian.
- 5) Pembuatan matriks perbandingan sistem panas bumi antara Daerah Wayang-Windu dan Gunung Endut.

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Data dan Peta Geologi Sistematis skala 1: 50.000, data kelurusan diperoleh dari interpretasi

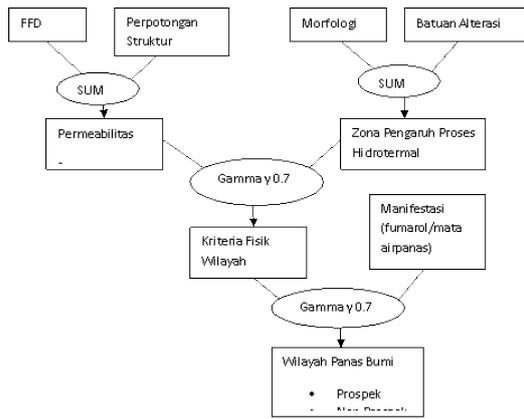
DEM (*Digital Elevation Modelling*) yang di ekstrak dari kontur Peta Rupa Bumi skala 1 : 25.000, data citra Landsat TM-5 tahun 1999, dan data *ground truth* diperoleh dari data titik sumur pengeboran panas bumi dan hasil uji kandungan kimia sampel air milik laboratorium PT. Star Energy Ltd.-Wayang Windu Geothermal dan Laporan hasil penyelidikan terpadu panas bumi Gunung Endut milik Badan Geologi - Pusat Sumber Daya Geologi Bandung tahun 2006. Pengolahan data dilakukan melalui beberapa perangkat lunak pengolah citra satelit, data spasial, dan non-spasial diantaranya ENVI 4.7, Global Mapper 14.0, Microsoft Excel 2007, PCI Geomatica 12, dan ArcGIS 9.3.

Pengolahan struktur dilakukan melalui metode FFD, yang diperkenalkan oleh Soengkono pada tahun 1999. Tujuan dari analisa ini adalah untuk memperoleh densitas kelurusan. Selanjutnya dibuat peta kontur nilai densitas kelurusan yang diasumsikan bahwa pada densitas tinggi berasosiasi dengan pusat pergerakan fluida panas bumi atau zona permeabel.

Pengolahan sebaran alterasi dilakukan menggunakan metode Defoliant atau *Directed Principal Component Analysis*. DPC di kalkulasi menggunakan syarat tertentu. Band rasio untuk objek kajian harus secara teoritis tinggi (yaitu, lebih besar dari 1) di salah satu input gambar lainnya dan secara teoritis rendah (yaitu, kurang dari 1) dalam gambar input lainnya. Hasil DPC yaitu berupa nilai hubungan dari input dua band rasio. Warna terang dan gelap dalam hasil luaran gambar menunjukkan ada tidaknya mineral lempung (*clay*).

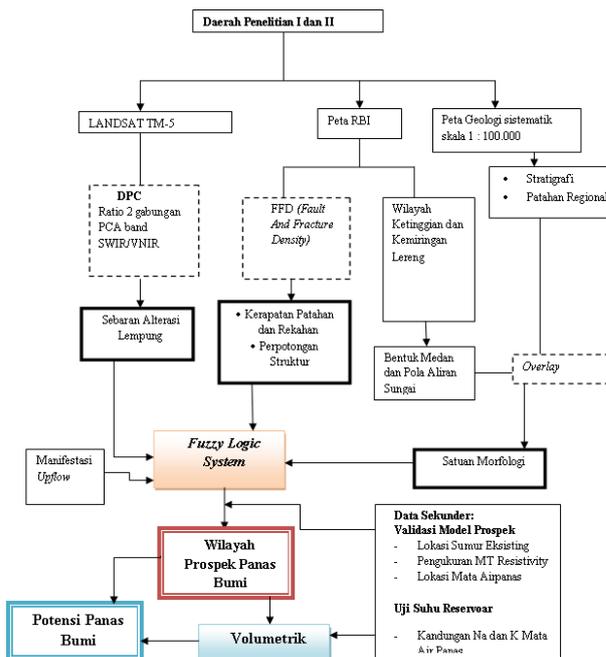
Untuk memperoleh wilayah prospek panas bumi pada masing-masing daerah penelitian dilakukan proses tumpang tindih peta yang menginformasikan derajat kehadiran variabel panas bumi dengan menggunakan model Fuzzy Logic. Proses ini menggabungkan variabel-variabel kriteria fisik wilayah dan manifestasi sebagai indikator panas bumi. Operator Fuzzy yang digunakan dalam analisis ini adalah operator Fuzzy Gamma dan Fuzzy SUM.

Hasil wilayah prospek (*predictive*) berdasarkan karakteristik fisik di verifikasi dengan jangkuan manifestasi, dimana menurut Saptadji (2002), lokasi panas bumi umumnya berjarak 3 km dari manifestasinya. Sehingga berdasarkan gabungan kriteria fisik wilayah dan manifestasi dapat didelineasi wilayah prospek panas bumi (*predictive*). Angka ~ 0 untuk wilayah non prospek dan $> 0,7$ untuk wilayah prospek. Wilayah dengan nilai Fuzzy $> 0,7$ didasarkan pada batas nilai Gamma 0,7 yang digunakan dalam penelitian ini. Berikut ini adalah skema Fuzzy yang digunakan dalam tahap analisis wilayah prospek (Gambar 3.1).



Gbr 3.1 Skema Pengolahan Model Fuzzy

Untuk pengujian akurasi model Wilayah Prospek, dilakukan tahap validasi antara hasil Model Prediksi Fuzzy Logic dengan data Ground Truth, yaitu titik lokasi pengeboran, titik manifestasi dan anomali Tahanan Jenis Tinggi menggunakan analisis Kappa. Analisis Kappa dilakukan dengan menampalkan sampel pengukuran hasil pengukuran Fuzzy dengan pengukuran geofisika. Sampel diambil tiap Grid dengan ukuran 1 x 1 km. Nilai Kappa akan menunjukkan tingkat keselarasan (aggrement) dan prosentase total akurasi dari kedua hasil pengukuran. Untuk memperoleh suhu reservoir digunakan metode Geotermometri Airpanas menggunakan persamaan Giggenbach (1988). Analisis potensi di kedua daerah penelitian menggunakan metode pengujian volumetrik potensi listrik berdasarkan luasan Wilayah Prospek hasil pengolahan sebelumnya dan suhu reservoir. Skema analisis potensi secara garis besar ditunjukkan dalam Gambar 3.2



Gbr 3.2 Skema Analisis Potensi

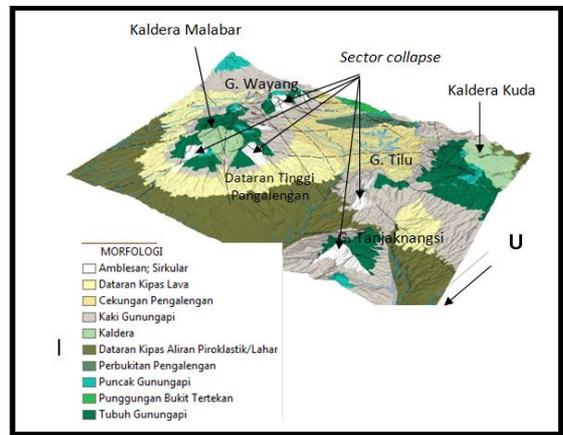
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Geomorfologi

Morfologi yang diidentifikasi adalah morfologi bentukan asal struktural, baik struktur melingkar/ struktur kelurusan, antara lain :

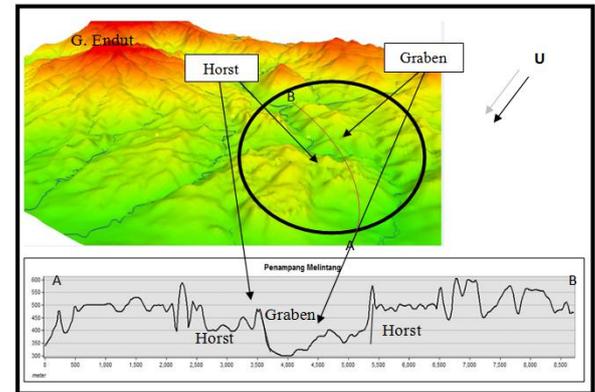
- Morfologi Tapal Kuda (*Sector collapse*)
- Kawah atau sisa kawah, berhubungan dengan eksplosi
- Kaldera
- Graben/Horst

Di Wayang-Windu, terdapat dua kaldera yaitu Kaldera Malabar dan Kaldera Gunung Kuda dan bentukan morfologi Tapal Kuda (*sector collapse*) (Gambar 4.1). *Sector collapse* di daerah ini berada di sekitar lereng Gunung Bedil-Wayang-Windu, lereng Kaldera Malabar, lereng Gunung Tilu dan Tanjaknangsi.



Gbr.4.1 Morfologi Daerah Wayang-Windu

Di Gunung Endut morfologi bentukan asal struktural yang terbentuk bersifat struktur kelurusan (sesar). Morfologi ini mengisi bagian tengah ke barat daya daerah penelitian. Bagian morfologi ini menandakan terjadinya deformasi struktural akibat penggesaran (tektonisme). Anggota Unit Morfologi yang masuk dalam Gejala Patahan adalah Punggungan Struktural Pilar-Endut, Lembah Struktural Pilar-Endut, Gawir Sesar dan Kelurusan Struktur Sesar.



Gbr.4.2 Morfologi Daerah Gunung Endut

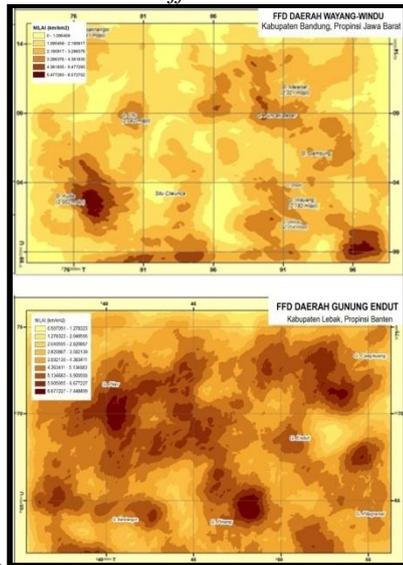
4.2 Permeabilitas Batuan

Berdasarkan hasil penarikan kelurusan yang di ekstrak dari tampilan *Hillshade* sudut inklinasi cahaya (dalam horizontal) arah 0°, 45°, 90°, 135° dan sudut ketinggian 45° vertikal yang di interpretasikan melalui Diagram Roset didapatkan FFD dan Kerapatan Pepotongan Struktur di kedua daerah penelitian.

4.2.1 Fault And Fracture Density (FFD)

Hasil FFD menunjukkan bahwa nilai kerapatan tertinggi di Wayang-Windu sebesar 6,5 km/km² dan nilai terendah sebesar 0 km/km². Sebaran FFD tinggi berada di dalam kaldera Gunung Malabar, tubuh sampai kaki barat Gunung Wayang Windu, lereng barat Gunung Kendang dan di lereng timur kaldera Gunung Kuda.

Hasil FFD di Daerah Gunung Endut menunjukkan nilai kerapatan dengan kisaran 0,5 – 7,4 km/km². Sebaran nilai FFD tinggi terkonsentrasi di kaki barat Gunung Endut dan menjauh ke barat daya daerah penelitian mengikuti arah aliran sungai. Diasumsikan bahwa daerah nilai FFD > 5 km/km² adalah zona patahan dan rekahan intensif). Dalam zona ini terdapat sesar mendatar (*strike slip fault*) yang ditandai dari kenampakan jaringan sungai yang mengalami pembelokan tegak lurus aliran asal/*stream offset*.



Gambar 4.3. FFD Wayang-Windu dan Gunung Endut

4.2.2 Kerapatan Titik Perpotongan Struktur

Di Daerah Wayang-Windu, zona bukaan ini terdapat di sepanjang kaki utara Gunung Malabar hingga kaki selatan Gunung Windu, dengan nilai kerapatan sebanyak 18 - 25/km².

Di Daerah Gunung Endut, titik lokasi perpotongan struktur berada di kaki Gunung Endut yang bentuk medannya relatif bergelombang landai sampai terjal, dengan nilai kerapatan sebesar 26/km². Pada lokasi tertentu memperlihatkan bidang morfologi Graben dan Horst, dimana terdapat bidang sesar sejajar bertemu dengan sesar

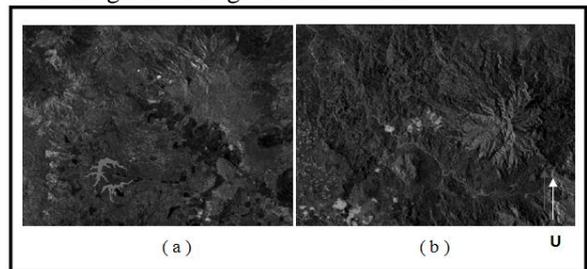
dari arah lain dan saling berpotongan membentuk sesar kompleks di zona tersebut.

4.3 Sebaran Endapan Hidrotermal (Alterasi)

Hasil komputasi statistik *eigenvalue* DPC menunjukkan nilai kontras negatif (-0,397648) dan positif (+0,917538) serta *eigenvalue* sebesar 7,34 % pada *loading* DPC 2. Kondisi ini menjelaskan bahwa sebaran alterasi lempung dapat dikenali pada *loading* ini. Sebaran berada pada nilai negatif dan ditandai dengan rona gelap pada citra luaran (Gambar 4.4).

Di Daerah Wayang-Windu, sebaran alterasi (ubahan hidrotermal) lempung mengikuti aliran lava kaki barat daya sampai selatan Gunungapi Malabar ke arah Gunungapi Wayang-Windu. Sebagian lagi menyebar acak di Puncak Wayang-Windu dan berada di sekitar kehadiran fumarol dan tanah beruap.

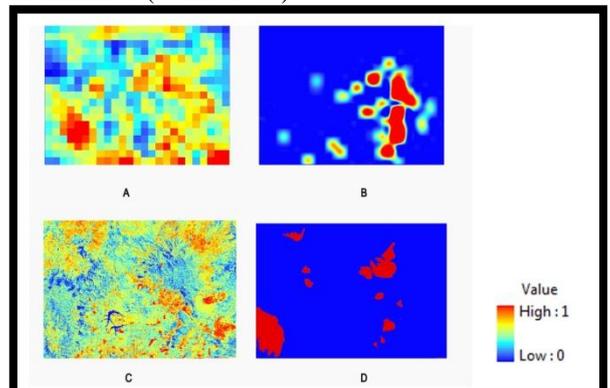
Di Daerah Gunung Endut, sebaran alterasi lempung berada di kaki kerucut Gunung Endut sebelah timur sampai timur laut mengikuti arah aliran sungai di lereng kerucut Endut.



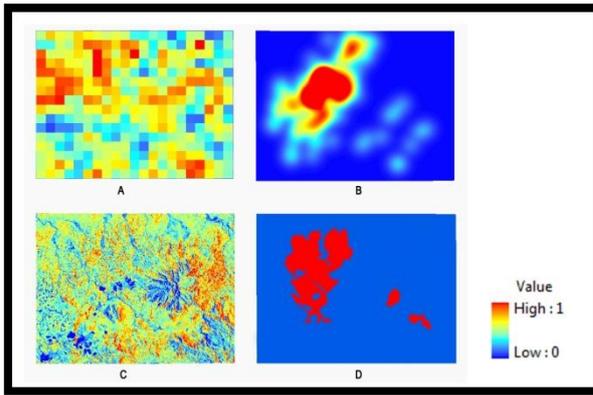
Gambar 4.4. Citra *loading* DPC 2 menunjukkan sebaran alterasi lempung dalam rona gelap (a) Wayang-Windu, (b) Gunung Endut

4.4 Potensi Panas Bumi

Operator Fuzzy yang digunakan dalam analisis ini adalah operator Fuzzy Gamma dan Fuzzy SUM. Berikut ini adalah gambar hasil tumpang susun data kriteria fisik yang telah difuzzifikasi (Gambar 4.5)



(I)

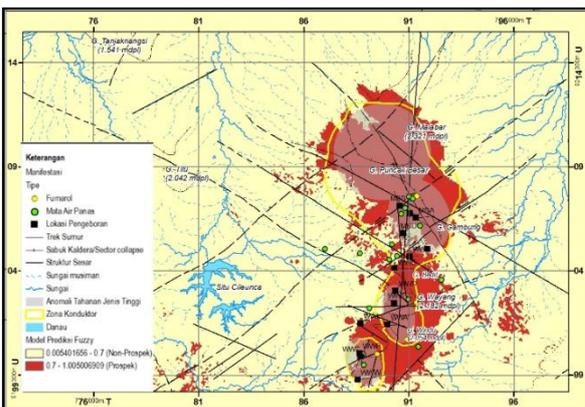


(II)

Gbr 4.5. Fuzzy Sets Wilayah Prospek Panas Bumi, berturut-turut A. FFD, B. Perpotongan Struktur C. Batuan Alterasi, dan D. Morfologi bentukan asal struktural. Daerah (I) Wayang-Windu, (II) Gunung Endut

4.4.1 Wayang-Windu

Berdasarkan hasil Model Fuzzy, dapat diketahui bahwa Wilayah Prospek Panas Bumi di Daerah Wayang-Windu terkonsentrasi di timur daerah penelitian. Konsentrasi ini berada di sekitar Gunung Wayang-Windu, Bedil, Gambung, Puncak Besar, dan Kaldera Malabar. Terdapat pula beberapa konsentrasi tidak dominan di selatan dan tenggara daerah penelitian. Meskipun konsentrasi ini tidak dominan dan tidak terdapat manifestasi mata aipanas, wilayah ini tetap masuk dalam bagian dari wilayah prospek karena dapat dijadikan sebagai zona recharge air panas bumi di daerah Wayang-Windu.



Gbr 4.6. Peta Wilayah Prospek Wayang-Windu

Hasil Kappa menunjukkan sebanyak 128 sampel hasil kedua pengukuran menunjukkan keselarasan (agreement) dalam menyatakan titik non prospek dari total 130 sampel non prospek hasil pengukuran Fuzzy. Kemudian sebanyak 28 sampel hasil kedua pengukuran menunjukkan keselarasan (agreement) dalam menyatakan titik prospek dari 62 total sampel prospek hasil pengukuran Fuzzy. Berdasarkan nilai kappa sebesar 0,504 dan total keselarasan sebesar 71,5 %, hasil

delineasi pengukuran model Fuzzy cukup selaras dengan hasil delineasi pengukuran geofisika di lapangan. Sehingga, berdasarkan ekstraksi titik bor dan analisis Kappa, model prediksi Fuzzy cukup akurat untuk digunakan sebagai Wilayah Prospek Panas Bumi di Daerah Wayang-Windu.

Perhitungan Geotermometri menunjukkan bahwa suhu reservoir di Daerah Wayang-Windu berkisar antara 220⁰ C sampai 278⁰ C, dimana menurut Klasifikasi Bendoriter dan Cormy (1990)., dalam Saptadji (2002) termasuk ke dalam Sistem Panasbumi Enthalpi Tinggi.

Perhitungan potensi listrik panas bumi dilakukan dengan menghitung cadangan panas (heat storage) dengan memakai beberapa parameter hasil penelitian terdahulu, antara lain (O’Sullivan, 1986., dalam Saptadji, 2002):

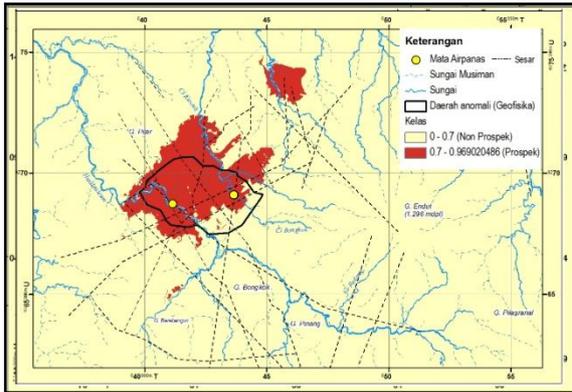
- o Harga rata-rata densitas bahan yang terlarut (saturated density = 2.5 x 10³(kg/m³)
- o Harga rata-rata panas spesifik (specific heat) = 1 x 10³ (kJ/kg^o c)
- o Tebal rata-rata reservoir, 2 x 10E³ (m)
- o Suhu dasar sumber panas untuk pembangkit listrik minimum 180⁰ C
- o 30 tahun masa eksploitasi = 1 x 10E⁹ s
- o Harga efisiensi ekstraksi sumber (resource extraction efficiency) = 0.035
- o Luas Daerah Prospek (A) = 58,6 km² dengan suhu reservoir rata-rata (T_{ave}) 249⁰ C.

Berdasarkan luas daerah pengukuran wilayah prospek di permukaan, suhu reservoir dan parameter pendukung lainnya, maka potensi listrik (Sumberdaya Spekulatif) di Daerah Wayang-Windu adalah :

$$\begin{aligned}
 H_{el} &= 5 \times 10E^{15} \times A \times (T_{ave} - 180) \times 1 \times 10E^{-6} \times 0,035 \times 1 \times 10E^{-9} \\
 &= 0,175 \times 58,6 \times 69 \\
 &= 707,595 \text{ MWe}
 \end{aligned}$$

4.4.2 Gunung Endut

Di Daerah Gunung Endut wilayah prospek terkonsentrasi di barat Daerah Penelitian dengan luas sebesar 17,57 km². Relatif berada di barat dari kaki Gunung Endut mengisi sekitar aliran sungai Cikawah dan sungai Handeleum. Konsentrasi berikutnya nampak di utara kaki Gunung Endut. Terdapat pula dua kosentrasi tidak dominan di utara Gunung Barebangeun. Konsentrasi ini mengisi sekitar aliran sungai.



Gbr 4.6 Peta Wilayah Prospek Gunung Endut

Hasil Analisis Kappa memperlihatkan bahwa sebanyak 149 sampel kedua hasil pengukuran menunjukkan keselarasan (*agreement*) dalam menyatakan titik non-prospek dari total 150 titik sampel non prospek hasil pengukuran Fuzzy. Kemudian sebanyak 7 sampel kedua hasil pengukuran menunjukkan keselarasan (*agreement*) dalam menyatakan titik prospek dari total 19 titik sampel prospek hasil pengukuran Fuzzy. Tingkat akurasi keselarasan dari kedua pengukuran sebesar 64 % dan nilai Kappa termasuk dalam kelas cukup (0,484). Sehingga, Berdasarkan hasil ekstraksi titik mata air panas dan analisis Kappa, deliniasi prospek panas bumi menggunakan model prediksi Fuzzy cukup akurat untuk dijadikan Wilayah Prospek Panas Bumi di Daerah Gunung Endut.

Berdasarkan hasil plot Diagram Cl-HCO₃-SO₄, Air Panas Cikawah 1 termasuk dalam Air panas *Mature Water* atau mendekati kondisi reservoir alaminya, dimana pada Diagram Na-K-Mg pun menunjukkan manifestasi Cikawah 1 pada garis kesetimbangan menengah (*partial equilibrium*). Sedangkan Air panas Cikawah 2 dan Handeleum adalah tipe air Peripheral atau mengalami pencampuran dengan air meteorik. Berdasarkan Geotermometri, Suhu reservoir Gunung Endut bernilai sebesar 181⁰ C dalam klasifikasi Menurut Benderiter dan Cormy (1990)., dalam Saptadji (2002), adalah Sistem Panasbumi Enthalpi Sedang. Mempertimbangkan suhu reservoir sedang/menengah dapat memiliki toleransi *cut off* sebesar 150⁰ C (Kusnadi *et al*,2006) dan luas wilayah prospek sebesar 17,57 km². Maka potensi listrik (Sumberdaya Spekulatif) di Daerah Gunung Endut adalah :

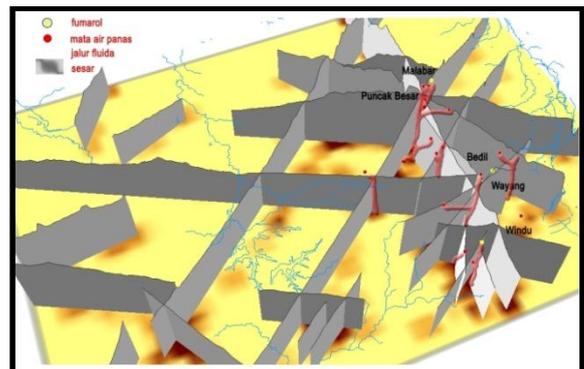
$$\begin{aligned}
 H_{el} &= 5 \times 10E^{15} \times A \times (T - 150) \times 1 \times 10E^{-6} \times \\
 &0,035 \times 1 \times 10E^{-9} \\
 &= 0,175 \times 17,57 \times 31 \\
 &= \mathbf{95,31 \text{ MWe}}
 \end{aligned}$$

4.5 Pengaruh Karakteristik Fisik Wilayah Terhadap Potensi Panas Bumi

4.5.1 Wayang-Windu

Berdasarkan analisa regresi linier berganda dari variabel fisik yang dikaji (kerapatan patahan dan rekahan, perpotongan struktur, morfologi bentukan asal stuktural dan batuan alterasi), menyatakan morfologi bentukan asal struktural merupakan variabel yang paling mempengaruhi tingkat nilai prospek Fuzzy di Daerah Wayang-Windu. Morfologi tersebut adalah Kaldera dan *Sector collapse*/Tapal Kuda, diperlihatkan dari nilai *coefficient* tertinggi sebesar 0,491055.

Berdasarkan hasil tumpang susun titik manifestasi dan kerapatan perpotongan struktur. Kemunculan manifestasi berupa mata air panas, fumarol, tanah beruap dan batuan alterasi permukaan berasosiasi dengan kehadiran kerapatan titik pepotongan struktur tinggi. Perpotongan struktur berarah Barat Laut – Tenggara, Barat Daya – Timur Laut dan Utara – Selatan membentuk pola yang memanjang mengikuti arah patahan Utara – Selatan. Struktur-struktur ini pula yang mengontrol kemunculan manifestasi maupun sistem panas bumi di Daerah Wayang-Windu.



Gbr 4.7. Skema Pemunculan Manifestasi Wayang-Windu yang dikontrol oleh Perpotongan Sesar

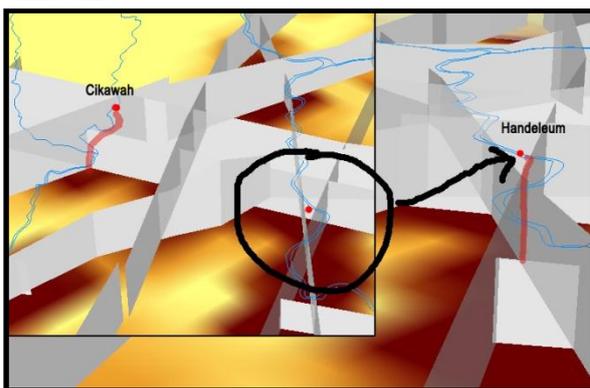
Potensi panas bumi di Daerah Wayang-Windu dipengaruhi oleh kehadiran Morfologi Tapal Kuda dan Kaldera serta berasosiasi dengan kehadiran gunungapi komposit muda pada zona gunungapi kuarter Jawa, ditandai dengan titik gunungapi sebanyak 6 buah, yaitu Malabar, Puncak Besar, Gambung, Bedil, Wayang dan Windu. Daerah ini mempunyai pelamparan prospek luas dan permeabilitas reservoir besar yang diakibatkan oleh perkembangan struktur Kaldera / Tapal Kuda, serta titik perpotongan struktur berarah Barat Laut – Tenggara, Barat Daya – Timur Laut dan Utara – Selatan. Maka, Berdasarkan Karakteristik Fisik Wilayah, Kondisi suhu reservoir kelas tinggi (220-270⁰C) dan potensi sumberdaya kelas tinggi (>100MW), Lapangan Panasbumi Wayang-Windu merupakan Lapangan Panasbumi dengan Sistem Vulkanik Kompleks Gunungapi.

4.5.2 Gunung Endut

Morfologi Graben dan Horst merupakan variabel yang paling mempengaruhi tingkat prospek panas bumi di daerah penelitian, dimana ditunjukkan oleh nilai *coefficient* 0,58133 .

Sumber panas bumi di Daerah Gunung Endut saat ini berasal dari intrusi batuan beku 500 m dari bawah permukaan yang ditandai dengan anomali tahanan jenis tinggi (Kusnadi et al, 2006). Intrusi tersebut ditandai pula dengan adanya kawasan perbukitan dan kubah Intrusi Batuan Beku di selatan daerah penelitian. Jika Kubah dan Perbukitan ini terbentuk pada zaman Tersier, maka telah terjadi perlipatan yang sangat kuat hingga tersingkapnya morfologi tersebut saat ini. Perlipatan yang sangat kuat ini telah didiskusikan pula oleh Van Bemmelen (1949) pada pembagian Zona Fisiografi Jawa Bagian Barat, dimana Daerah Gunung Endut termasuk dalam Zona pertemuan Antiklinorium Bogor, Kubah Bayah dan Zona Gunungapi Kuartir Jawa. Gaya perlipatan yang sangat kuat dimana melebihi tingkat elastistas batuan menimbulkan ketidakseimbangan posisi batuan yang berujung pada aktivitas pengsesaran atau morfologi bentukan struktural saat ini.

Di Daerah Gunung Endut, kelurusan struktur di dominasi oleh tren berarah Barat Daya – Timur Laut dan Barat Laut - Tenggara. Sesar mendatar Barat Daya – Timur Laut ini mengontrol pemunculan morfologi Graben dan Mata Airpanas Cikawah.



Gbr 4.8. Skema Pemunculan Mata Airpanas Daerah Gunung Endut yang dikontrol oleh Perpotongan Sesar Barat Daya – Timur Laut dan Barat Laut – Tenggara

Di sisi lain, inflasi atau deflasi vulkanisme Gunungapi Endut pada kala Pleistosen menyebabkan sesar di barat daerah penelitian semakin kompleks dan membentuk reservoir panas bumi saat ini.

Adanya perselingan morfologi kerucut Gunungapi kuartir dan morfologi Graben berbatuan Tersier-Kuartir ini mendukung keberadaan sesar kompleks disana, dimana terjadi potong-memotong antara sesar lama berarah Barat Daya – Timur Laut dengan sesar baru berarah Barat Laut – Tenggara. Maka, Berdasarkan Karakteristik fisik wilayah dengan kondisi suhu reservoir kelas sedang (180° - 220° C) dan potensi sedang (50 – 100 MWe), maka Lapangan Panasbumi Gunung Endut merupakan Lapangan dengan Sistem Vulkanik-Tektonik atau Kerucut Vulkanik-Graben.

4.6 Perbandingan Potensi Panasbumi Daerah Wayang-Windu (WW) dan Daerah Gunung Endut (GE)

Wilayah Prospek WW berasosiasi dengan Kompleks Gunungapi, dimana terdapatnya rentetan gunungapi dalam satu wilayah dan terjadinya tumpang-tindih lokasi erupsi maupun endapannya. Rentetan gunungapi ini berpotensi untuk menciptakan pusat-pusat sumber panas. Kondisi ini menimbulkan adanya reservoir panas bumi yang berasal dari rentetan gunungapi tersebut. Ditambah lagi dengan adanya morfologi Kaldera dan Tapal Kuda yang dapat menyebabkan struktur geologi di WW semakin matang. Sehingga besaran potensi listrik di Daerah WW dapat mencapai 707 MWe dengan kondisi Suhu Reservoir Tinggi, yaitu antara 220° C sampai 270° C (Enthalpi Tinggi) dengan Wilayah Prospek yang luas mencapai 58,7 km². Berdasarkan asosiasinya dengan karakteristik fisik wilayah, Lapangan Panas Bumi Daerah Wayang-Windu merupakan Sistem Vulkanik Kompleks Gunungapi.

Daerah GE memiliki potensi listrik sekitar 95 MWe dengan kondisi Suhu Reservoir Sedang, yaitu 181° C. Luas Wilayah Prospek GE sebesar 17,5 km². Distribusi Wilayah Prospek berada di luar kerucut Gunungapi Endut, yaitu berada pada Morfologi Graben dengan sumberpanas berasal dari intrusi batuan beku Andesit 500 m dari permukaan. Kelurusan struktur berarah Barat Laut – Tenggara berumur Tersier terindikasi mengalami reaktivasi seiring pemunculan kerucut Gunungapi Endut, sehingga panasbumi di GE masih dapat diasosiasikan dengan Gunungapi Kuartir Endut. Berdasarkan asosiasinya dengan karakteristik fisik wilayah, Lapangan Panasbumi Gunung Endut merupakan Lapangan dengan Sistem Vulkanik-Tektonik (Kerucut Vulkanik-Graben).

4.7 Perbandingan Fisik Wilayah Daerah Wayang-Windu (WW) dan Daerah Gunung Endut (GE)

Jumlah dan tipe manifestasi di Daerah Wayang Windu lebih besar dan variatif ketimbang Daerah Gunung Endut. Kehadiran fumarol, tanah beruap dan kolam lumpur di WW merupakan penciri yang signifikan untuk memperlihatkan

perbedaan sistem panasbumi dengan GE, dimana di Daerah GE tidak terdapat manifestasi-manifestasi tersebut melainkan hanya terdapat 3 buah mata air panas. Jumlah manifestasi di WW sebanyak 24 buah dengan 4 tipe manifestasi dan GE sebanyak 3 buah dengan hanya satu tipe manifestasi. Kehadiran manifestasi yang lebih variatif di Wayang-Windu pun merupakan penanda bahwa lapangan ini memiliki potensi yang lebih besar ketimbang Gunung Endut.

Hasil penarikan kelurusan struktur (kekar/rekahan) dan struktur utama (patahan/sesar) menunjukkan Wayang-Windu dan Gunung Endut memiliki perbedaan terutama pada arah kelurusan sesar dan distribusi kerapatannya. Tren kelurusan sesar di Daerah WW di kontrol oleh sesar berarah Utara – Selatan yang relatif memanjang terpotong oleh sesar berarah Barat Laut – Tenggara, Barat Daya – Timur Laut.. Sedangkan di Daerah GE, perpotongan sesar berarah Barat Laut-Tenggara dan Barat Daya-Timur Laut yang terbentuk relatif mengelompok dengan cakupan area yang lebih kecil ketimbang Wayang-Windu. Sehingga, bentukan perpotongan sesar yang lebih mengelompok dan sempit menyebabkan potensi yang muncul lebih kecil pula ketimbang di WW yang membentuk memanjang dengan areal cakupan yang luas.

Karakteristik fisik yang berasosiasi dengan sistem panasbumi di WW adalah morfologi bentukan asal vulkanik-struktural, yaitu Kaldera Malabar dan Tapal Kuda di lereng barat G. Bedil-Wayang dan G. Windu. Morfologi ini masih berada di dalam ruang rentetan gunung-gunung api. Berbeda dengan WW, di Daerah GE menunjukkan bahwa Wilayah Prospek berasosiasi dengan pemunculan morfologi struktural Graben dan Horst. Morfologi ini berada di luar kerucut Gunungapi Endut. Maka, kondisi ini menjelaskan bahwa di barat kerucut Endut, perkembangan struktur geologi lebih matang ketimbang di kerucut Gunung Endut itu sendiri.

Tabel 5.1 Matriks Perbandingan Karakteristik Fisik Wilayah, Potensi dan Sistem Panasbumi Daerah Wayang-Windu dan Daerah Gunung Endut

	Wayang-Windu	Gunung Endut
1 Struktur		
Arah	Barat Laut – Tenggara, Barat Daya – Timur Laut dan Utara – Selatan	Barat Daya – Timur Laut dan Barat Laut - Tenggara
FFD tertinggi	6,5 km ²	7,4 km ²
Konsentrasi Perpotongan Struktur	sekitar kerucut G. Malabar, Bedil-Wayang-Windu	sekitar aliran sungai Handeuleum dan Cikawah
2 Geomorfologi dan Litologi		
Morfologi bentukan asal struktural	Tapal Kuda dan Kaldera	Horst dan Graben
Sebaran Batuan Alterasi	sekitar lereng barat G. Wayang dan selatan G. Puncak Besar	utara G. Endut dan sekitar Graben G. Pilar
Umur Batuan (perbukuan)	Pleistosen- Holosen	Miosen - Pleistosen
Fisiografi Regional	Zona Gunungapi Kuarter	Zona Gunungapi Kuarter, Zona Bandung (Depresi) dan Zona Bogor
3 Potensi dan Sistem Panasbumi		
Wilayah Prospek	Terletak pada rentetan kerucut gunungapi Malabar, Puncak Besar, Bedil dan Wayang-Windu (Komposit)	Terletak di luar kerucut Gunung Endut. Berada pada Gunung Pilar yang telah mengalami pengesaran
Suhu Reservoir	Tinggi, 220 ⁰ C - 278 ⁰ C	Sedang, 181 ⁰ C
Sumberdaya Spekulatif	707 MWe	95,3 MWe
Tipe Manifestasi	fumarol, tanah beruap, kolam lumpur, mata airpanas, dan batuan alterasi	mata airpanas dan batuan alterasi
Sumber Panas	Instrusi Batuan Beku	Instrusi Batuan Beku
Luas Wilayah Prospek	58,56 km ²	17,57 km ²
Sistem Panasbumi	Vulkanik Kompleks Gunungapi	Vulkano-Tektonik (Kerucut Vulkanik-Graben)

5. KESIMPULAN

- Potensi panas bumi di Daerah Wayang-Windu berada di sekitar kerucut gunungapi komposit, yaitu Gunung Puncak Besar, Gambung, Bedil, Wayang, Windu, dan Kaldera Malabar dengan luas 58,7 km², suhu reservoir 278⁰ C (enthalpi tinggi) dan potensi sumberdaya 707,595 MWe. Sedangkan di Daerah Gunung Endut, potensi berada di luar kerucut Gunung Endut, yaitu berada di sekitar aliran Sungai Cikawah dan Handeuleum dengan luas 17,57 km², suhu reservoir 181⁰ C (enthalpi sedang) dan potensi sumberdaya sebesar 95,3 MWe.
- Morfologi bentukan asal struktural merupakan variabel yang paling mempengaruhi potensi panas bumi di kedua daerah penelitian, dimana sistem panas bumi Daerah Wayang-Windu dipengaruhi oleh kehadiran Morfologi Tapal Kuda dan Kaldera. Sedangkan Daerah Gunung Endut dipengaruhi oleh kehadiran Morfologi Horst dan Graben. Maka, berdasarkan karakteristik fisik wilayahnya, Daerah Wayang-Windu merupakan Lapangan dengan Sistem Panas Bumi Vulkanik Kompleks Gunungapi dan Daerah Gunung Endut merupakan Lapangan dengan Sistem Panas Bumi Vulkano-Tektonik (Kerucut vulkanik-Graben).
- Secara garis besar, Daerah Wayang-Windu dengan Sistem Vulkanik Kompleks Gunungapi memiliki potensi panas bumi lebih besar dibandingkan dengan Daerah Gunung Endut dengan Sistem Vulkano-Tektonik.

DAFTAR ACUAN

- [1] Badan Standardisasi Nasional. (1999). *Klasifikasi Potensi Energi Panas Bumi di Indonesia*.
- [2] Ballard, D., Robert. (Ed.). (2000). *Encyclopedia of Volcanoes*. New York: Academic Press.
- [3] Bemmelen, R.W., van. (1949). *The Geology of Indonesia* (Vol 2). The Hague.

- [4] Bogie, I., Yudi, I.K., & Merry, C.W. (2008). Overview of the Wayang Windu geothermal field, West Java, Indonesia. *Journal Geothermics*, 37, 347-365. <http://www.sciencedirect.com>
- [5] Bogie, I., Shanti, R.A.S., & Dwiyoarani, M. (2010). *Volcanic Landforms that Mark the Successfully Developed Geothermal Systems of Java, Indonesia Identified from ASTER Satellite Imagery*. Proceedings World Geothermal Congress, Bali.
- [6] Bronto, S. (2010). *Geologi Gunungapi Purba*. Bandung: Badan Geologi ESDM.
- [7] Giggenbach, W.F. (1988). *Chemical Techniques in Geothermal Exploration*. New Zealand: Chemistry Division, DSIR, Private Bag.
- [8] Kasbani. (2010). *Tipe Sistem Panas Bumi di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya*. Bandung: Badan Geologi, ESDM.
- [9] Khodayar, M., Sveinbjorn, B., & Hjalti, F. (2010). Effect of Tectonics and Earthquakes on Geothermal Activity Near Plate Boundaries: A Case Study From South Iceland, *Journal Geothermics*, 39, 207-219. Elsevier. <http://www.sciencedirect.com>
- [10] Kusnadi, D., Alanda, I., Yuanno, R., Suhanto, & Edi, S. (2006). *Penyelidikan Terpadu Panasbumi Daerah Gunung Endut Kabupaten Lebak, Banten*. Prosiding Pemaparan Hasil Kegiatan lapangan dan Non Lapangan, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- [11] Mardiana, U. (2007). *Manifestasi Panasbumi Berdasarkan Nilai Tahanan Jenis Batuan : Studi Kasus Gunung Papandayan, Kabupaten Garut, Propinsi Jawa Barat*. Laboratorium Geofisika, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- [12] Pusat Sumber Daya Geologi. (2006). *Data Analisis Contoh Air Geokimia Daerah Panas Bumi G. Endut, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten*. (Tidak dipublikasikan).
- [13] Saepulloh, A., Minoru, U., Prihadi, S., & Suryantini. (2012). *Spatial Priority Assesment of Geothermal Potentials Using Multi-sensor Remote Sensing Data and Applications*. Proceedings Geothermal Workshop ITB, Bandung.
- [14] Saptadji, N.M. (2002). *Teknik Panasbumi*. Bandung: Departemen Teknik Perminyakan-Institut Teknologi Bandung.
- [15] Soengkono, S. (1999). *Assessment of Faults and Fractures at The Mokai Geothermal Field, Taupo Volcanic Zone, New Zealand*. Auckland, Geothermal Institute.
- [16] UNOCAL Geothermal Indonesia. (2002). *Laporan Lapangan Panas Bumi Wayang-Windu*. (Tidak dipublikasikan).
- [17] Utami, Pri., & Soetoto. (2001). *Peran Citra Penginderaan Jauh Dalam Pengembangan Sumberdaya Panasbumi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [18] Wibowo, H. (2006). *Spatial Data Analysis and Integration for Regional-Scale Geothermal Prospectivity Mapping, West Java, Indonesia*. Msc Thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- [19] Zadeh, L.A. (1993). *Fuzzy sets Information Control*. California: University of California, Department of Electrical Engineering.

Zonasi Estuaria Muaragembong Berdasarkan Salinitas Permukaan Perairan Menggunakan Penginderaan Jauh

Nur Amalia¹, Supriatna² dan Tjong Giok Pin²

¹Mahasiswa Departemen Geografi, FMIPA UI, Kampus UI Depok 16424

²Dosen Departemen Geografi, FMIPA UI, Kampus UI Depok 16424
nur.amalia91@sci.ui.ac.id, ysupri@sci.ui.ac.id, tjong.giok@sci.ui.ac.id

Abstrak

Estuaria merupakan wilayah peralihan tempat bertemunya air sungai yang bersalinitas rendah dengan air laut yang bersalinitas tinggi. Perubahan Sebaran salinitas yang dinamis di estuaria dapat mempengaruhi kualitas dan pemanfaatan air. Zonasi sebaran salinitas perlu dilakukan agar pemanfaatan lingkungan air dapat dilakukan secara tepat. Nilai salinitas permukaan perairan estuaria didapatkan dari hasil interpretasi citra Landsat 5 TM menggunakan algoritma Wouthuyzen, dkk. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa di estuaria Muaragembong terdapat 4 zona, yaitu: Zona Limnetic, Mexo-Oligohaline, Mexo-Mesohaline, dan Mexo-Polyhaline pada bulan kering. Sedangkan pada bulan basah hanya ditemukan 2 zona, yaitu Zona Mexo-Oligohaline dan zona Mexo-Polihaline. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh keadaan arus permukaan laut, pada saat arus bergerak ke Timur Laut masukan air asin ke wilayah estuaria muaragembong akan lebih banyak sehingga variasi salinitas yang dihasilkan dari pencampuran air lebih tinggi daripada variasi salinitas disaat arus bergerak ke arah Barat Daya dimana masukan air asin dari laut lebih sedikit.

Kata Kunci: Estuaria, salinitas permukaan air, penginderaan jauh

Abstract

Estuaria is a transition area where low salinity river water mixed with high salinity sea water. Dynamically Changes of salinity distribution in estuary can influence the water quality and utility. Therefore, zonation of salinity distribution was important to do so the utilization of water environment can be made in the proper order. In this research Estuary's surface water salinity was getting by interpretation result of Landsat 5 TM satellite image with equation made by Wouthuyzen, *et.al.*. This research conclude that in Muaragembong estuary there is four zone that is Limnetic, Mexo-Oligohaline, Mexo-Mesohaline and Mexo Polyhaline in dry seasons. While in wet seasons there is only two zone that is Mexo-Oligohaline and Mexo-Mesohaline. This condition was influenced by sea surface current, when the sea surface current move to the North East input of saline water to Muaragembong estuary was more excessive so the salinity variation created by water mixing was higher than salinity variation when the current move to the South west which the input of saline water to the Estuary was lower.

Keywords: Estuary, surface water salinity, remote sensing

1. PENDAHULUAN

Estuaria merupakan wilayah peralihan dimana dua lingkungan yaitu laut dan sungai berinteraksi sehingga menyediakan tempat pemijahan dan sumber makanan yang penting bagi banyak kehidupan. Lingkungan estuaria sangat dinamis, pergerakan keluar masuknya air terus terjadi di wilayah ini. Air laut yang memiliki salinitas tinggi masuk ke badan sungai akibat adanya pasang, sedangkan air tawar dari sungai dan run-off dari daratan mengalir menuju lautan. Pertemuan kedua air yang memiliki densitas yang berbeda ini akan menciptakan perairan payau.

Estuari Muaragembong berada di Kecamatan Muaragembong, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Kawasan ini dikelilingi oleh lahan perairan laut

Jawa yang luas dan terhimpit di antara Kotamadya Jakarta Utara dan Kabupaten Karawang. 60% penduduk di wilayah ini bermata pencaharian dengan mengandalkan tambak perikanan seluas 10.125 ha yang berada di kawasan ini.

Menurut Marine Conservation Data Atlas dan PHKA Kawasan ini merupakan Kawasan Konservasi Laut Daerah kategori IV (pemanfaatan secara lestari ekosistem alami) yang telah ditetapkan sebagai wilayah perlindungan dengan prioritas pertama untuk estuaria dan bakau, sejak kuartal pertama tahun 1985 (Strategi Utama Jejaring KKL, 2006). Dalam RTRW Kabupaten Bekasi tahun 2003-2013 kawasan ini telah ditetapkan sbagai kawasan hutan lindung dan berdampingan dengan kawasan pariwisata di Desa Pantaisederhana.

2. RUMUSAN MASALAH

Bagaimana zonasi estuaria Muaragembong berdasarkan salinitas permukaan perairan estuari Muaragembong?

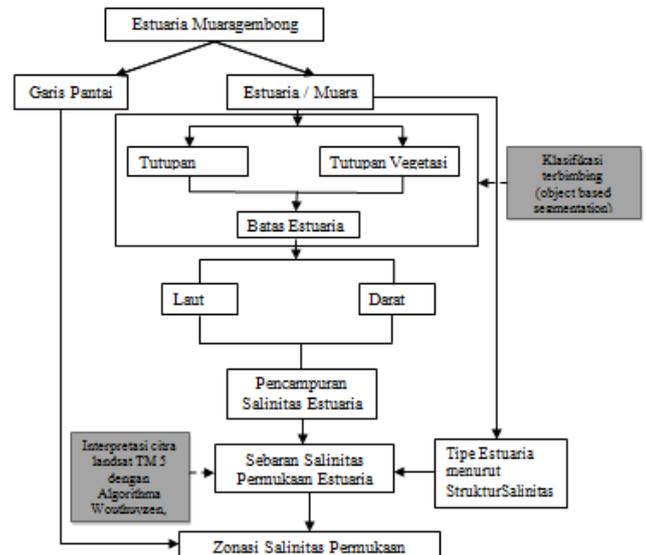
3. BATASAN PENELITIAN

1. Wilayah penelitian meliputi estuaria Muara Gembong yang berada di kecamatan Muaragembong tepatnya disekitar aliran sungai Mati yang meliputi Desa Pantaimekar dan Desa Pantaisederhana
2. Estuari adalah suatu badan air pantai setengah tertutup yang berhubungan langsung dengan laut terbuka, sehingga sangat terpengaruh oleh gerakan pasut, dimana air laut bercampur dengan air tawar dari buangan air daratan, contohnya muara sungai, teluk pantai, rawa pasut, dan badan air di balik pematang pantai (Odum, 1971).
3. Zonasi adalah pengwilayahan atau pembatasan wilayah, berdasarkan suatu karakteristik tertentu. Dalam penelitian ini karakter yang diamati antara lain salinitas permukaan, tutupan lahan, dan jarak dari pantai.
4. Muara adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut.
5. Mulut sungai adalah bagian paling hilir dari muara sungai yang langsung bertemu dengan laut.
6. Jangkauan adalah jarak pengaruh pasang surut yang mempengaruhi salinitas permukaan estuaria dihitung dari mulut sungai.
7. Salinitas adalah permil (‰), yaitu jumlah berat total (gr) material padat seperti NaCl yang terkandung dalam 1000 gram air.
8. Salinitas permukaan perairan adalah salinitas yang diukur pada permukaan perairan yang diukur dari bagian paling atas perairan yang langsung bertemu dengan lapisan atmosfer sampai kedalaman <15m.
9. Perairan estuari adalah segala bentuk badan air yang berada pada ekosistem estuari meliputi perairan laut, tambak, maupun badan sungai.
10. Permukaan perairan adalah zona perairan dengan kedalaman 0 -15 m dari muka air teratas yang bertemu lapisan atmosfer. batasan ini ditentukan berdasarkan kemampuan saluran pada satelit Landsat dalam penetrasi cahaya.

3. METODE PENELITIAN

Wilayah penelitian terletak pada 5°59'16" - 6°24'1" LS dan 106°57'42" - 107°15'1" BT meliputi dua desa di Kecamatan Muaragembong yaitu desa Pantaimekar dan desa Pantaisederhana. Wilayah penelitian yang dimaksud merupakan wilayah

perairan estuaria yang dibatasi oleh penutupan lahan berupa sawah dengan sebaran 26 titik pengukuran salinitas yang tersebar di sepanjang Sungai Mati dari wilayah Laut sampai daerah persawahan yang diasumsikan sebagai batas daerah air Tawar. Alur pikir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr 1. Diagram Alur Penelitian

Dalam penelitian ini ada dua tipe data yang diperlukan yaitu data primer dan sekunder. Data primer adalah data pengukuran salinitas di lapangan yang diukur dengan menggunakan alat ukur salinitas berupa *hand-refraktometer* Atago dengan ketelitian 1‰. Sedangkan data sekunder yang didapat dari beberapa instansi dapat dilihat pada Tabel 1.

Dalam penelitian ini variabel yang digunakan antara lain :

- Salinitas permukaan
- Pasang surut air laut
- Arus permukaan laut
- Debit sungai
- Curah hujan harian
- Tutupan lahan
- Jarak dari mulut sungai atau jarak dari garis pantai.

Tabel 1. Data Sekunder Penelitian

No.	Data	Bentuk Data	Sumber data
1.	Peta RBI Kecamatan Muaragembong, Bekasi skala 1 : 25.000	Spasial	Diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG),
2.	Peta Administrasi, Peta Penggunaan Tanah dan Jaringan Sungai, Kecamatan Muaragembong	Spasial	Diperoleh dari Badan Pertanahan Nasional (BPN),
3.	Citra Landsat-5 TM+ (Path/Row 122/64) Tahun 1990, 1995,2000,2005, dan 2010	Spasial	Diperoleh dari Lembaga Penenrbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN)
4.	Data pasang surut harian perairan Jakarta, Tahun 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, dan 2013.	Tabuler	Diperoleh dari DISHIDROS TNI AL dan Badan Informasi Geospasial (BIG)
5.	Data Arus dan , Gelombang harian perairan Jakarta, Tahun 2005, 2010, 2013	Tabuler	Diperoleh dari stasiun Meteorologi Maritim BMKG, berupa tabel hasil pengamatan tiap 6 Jam dan rata-rata bulanan
6.	Data Curah Hujan Kecamatan Muaragembong	Tabuler	Diperoleh dari Kantor Div.1 Perum Jasa Tirta 2,
7.	Data Curah Hujan Perairan Tanjung Priuk	Tabuler	Diperoleh dari Stasiun Meteorologi Maritim BMKG
8.	Data Debit Harian pada Sub Das Citarum Hilir (Sungai mati, Sungai Gembong)	Tabuler	Diperoleh dari BPSDA Jawa Barat, dan Kantor Div.2 Perum Jasa Tirta 2
9.	Data Statistik Kecamatan Muaragembong	Tabuler	Badan Pusat Statistik (BPS),

Pengolahan data dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Pembuatan peta tutupan lahan dari komposit 742 citra Landsat ETM 7+ yang telah di *Gap* and *Fill* dan di *crop* sesuai wilayah administrasi Kecamatan Muaragembong menggunakan metode Klasifikasi terbimbing (*object based segmentation*).
2. Pembuatan Peta batas estuaria berdasarkan peta tutupan lahan yang telah diperoleh dari interpretasi citra landsat. Penentuan batas estuaria dibuat berdasarkan hasil tinjauan pustaka dimana wilayah estuaria ditandai oleh tutupan lahan berupa tambak, rawa dan berasosiasi dengan mangrove. Asumsi terhadap tutupan lahan sawah yang memiliki salinitas perairan yang tawar juga dijadikan pembatas wilayah estuaria dalam penelitian ini.
3. Pembuatan peta sebaran salinitas berdasarkan hasil interpretasi citra Landsat 5 TM yang telah diolah menggunakan persamaan pendugaan nilai salinitas yang didapatkan Wouthuyzen,dkk. yaitu :

$$\text{Salinitas (Psu)} = \frac{-142,72 * (-61,182X^3 + 79,129X^2 - 34,022X + 4,885) + 32,702}{1} \quad (1)$$

dimana: X = kromatisiti biru = (Band-1/(band-1+band-2+Band-3))

Nilai sebaran salinitas yang didapat diklasifikasi berdasarkan klasifikasi Venice System, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi nilai salinitas

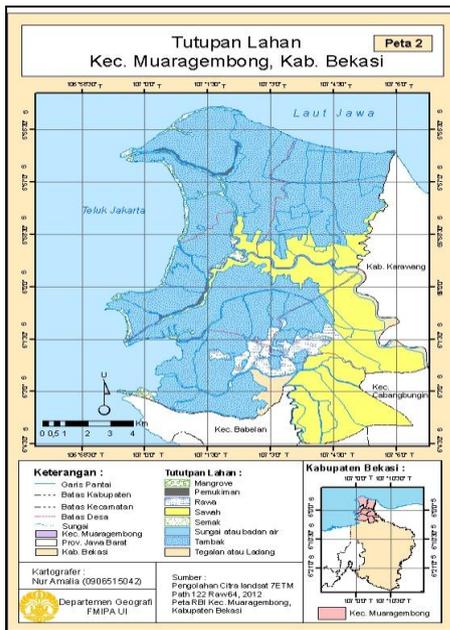
No.	Klasifikasi Salinitas (‰)
1.	0-0,5 ‰
2.	0,5-5 ‰
3.	5-18 ‰
4.	18-30 ‰
5.	30-40 ‰
6.	>40 ‰

4. Pembuatan Peta Zonasi Estuaria berdasarkan salinitas permukaan perairan. berdasarkan beberapa variabel antara lain Sebaran Salinitas, Tutupan lahan, dn jarak dari garis pantai.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tutupan Lahan

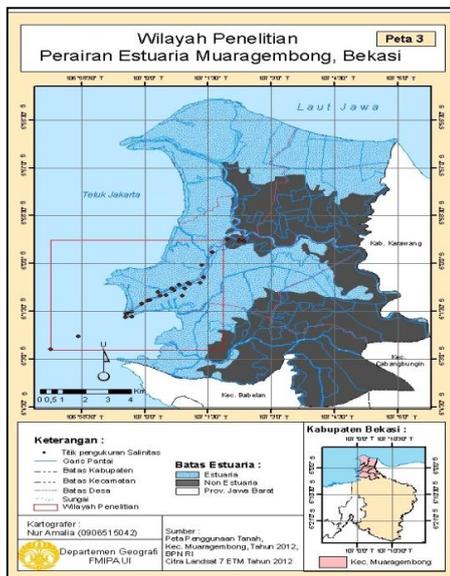
Tutupan lahan di Kecamatan Muaragembong didominasi oleh Tambak seluas 9.784 ha, sawah seluas 1.930 ha. Terdapat enam pemukiman di wilayah ini yang dibangun di sepanjang tepian sungai, terutama Sungai Citarum (Lihat Gambar 2).



Gbr 2. Peta Tutupan Lahan Kecamatan Muaragembong

4.2 Ekosistem Estuaria Muaragembong

Ekosistem Estuaria di Kecamatan muaragembong secara umum terletak disemu muara di Kecamatan Muaragembong. Merupakan Estuaria bertipe tercampur sebagian (*Partially Mixed Estuary*) (Irma, 2011). Dari wilayah estuaria tersebut peneliti menentukan wilayah penelitian serta titik sampel pada survey lapangan. (lihat Gambar 3).

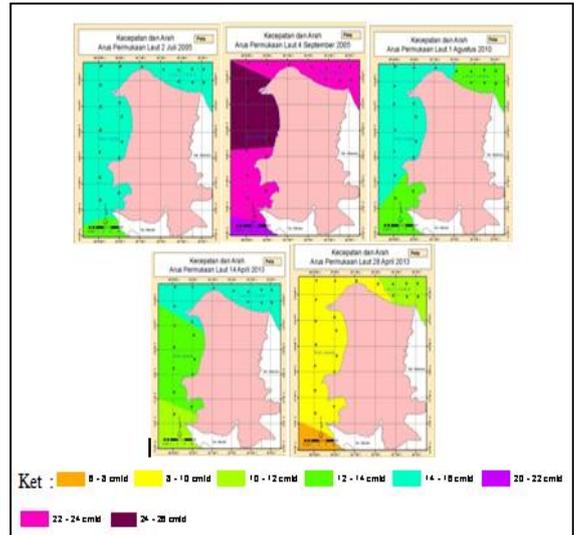


Gbr 3. Peta Batas Estuaria dan sebaran titik pengukuran salinitas di lapangan.

4.3 Kondisi Oseanografis Perairan disekitar Muaragembong

Estuaria muaragembong yang berada di sebelah timur Teluk Jakarta memiliki kondisi oseanografi

yang hampir sama dengan perairan Jakarta. Pasang Surut perairan ini bertipe Semidiurnal condong ke harian ganda dengan dua kali pasang dan dua kali surut. Arus bergerak ke arah Barat Daya Pada Musim Timur dan Ke arah Timur laut pada Musim Barat dengan Kecepatan rata-rata berkisar antara 6 – 26 cm³/d (Lihat Gambar 4).



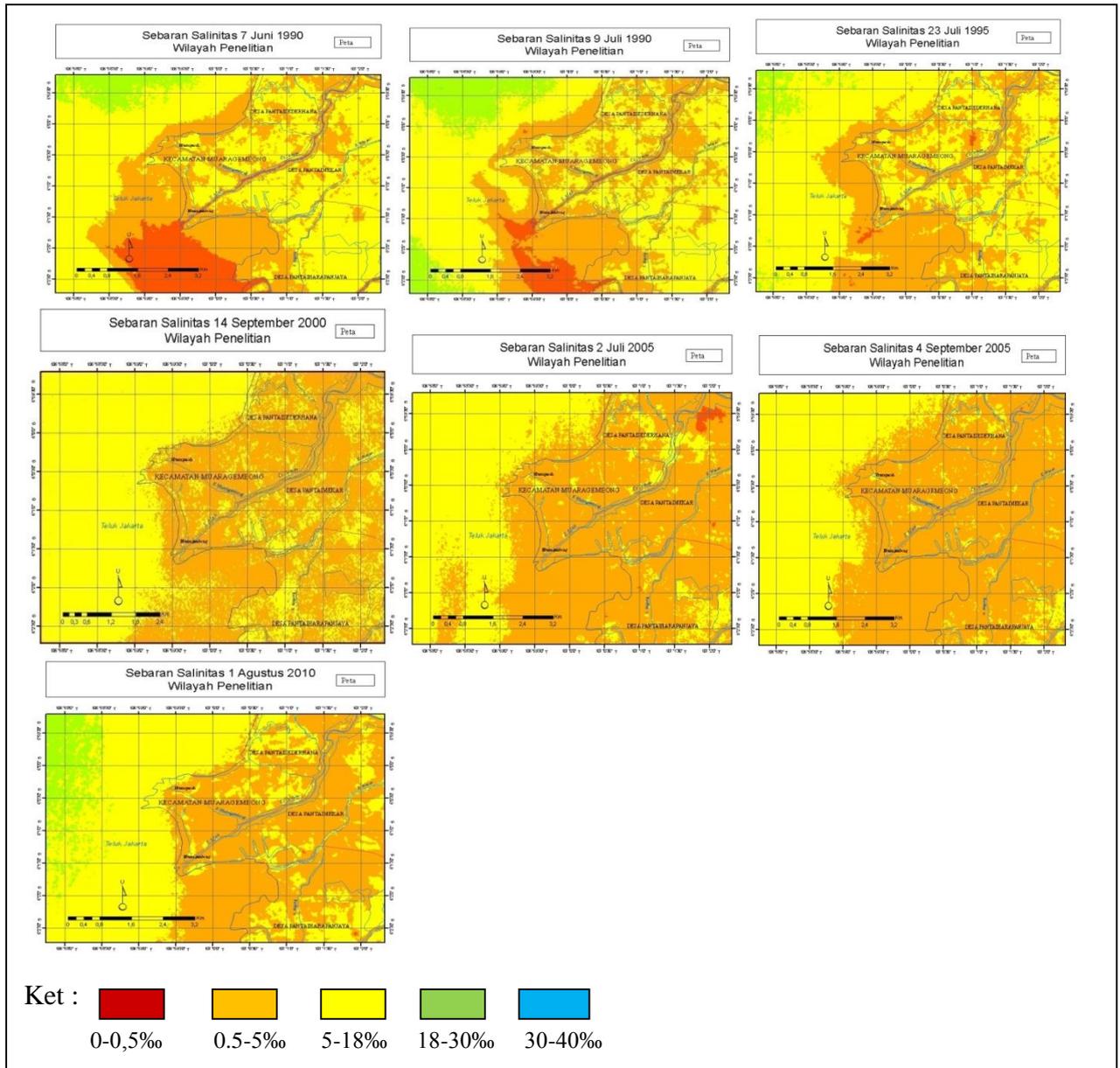
Gbr 4. Kecepatan dan Arah Arus Permukaan Laut tahun 2005, 2010, dan 2013 pada tanggal pengamatan.

4.4 Sebaran Salinitas

- Pada bulan Juni di tahun 1990, variasi salinitas di wilayah penelitian tinggi, dipengaruhi oleh : curah hujan dan debit yang besar
- Pada bulan Juli, tahun 1990, variasi salinitas tinggi, lebih dipengaruhi oleh arus atau gelombang dipermukaan laut.
- Pada Bulan Juli tahun 1995 , variasi salinitas tinggi, dipengaruhi oleh Debit sungai dan Curah Hujan.
- Pada bulan september tahun 2000 Variasi salinitas rendah dan salinitas perairan cenderung tawar, dipengaruhi oleh kondisi arus dipermukaan laut yang relatif memiliki kecepatan arus yang tinggi dan mengarah ke Barat Daya pada bulan september
- Pada Bulan Juli Tahun 2005 variasi salinitas rendah dengan nilai salinitas yang relatif rendah, dipengaruhi oleh tingginya Debit sungai.
- Pada bulan September di tahun 2005, variasi salinitas rendah, kondisi serupa mendapat pengaruh tambahan dari tingginya Curah hujan dan kondisi arus permukaan laut.
- Pada bulan Agustus 2010 variasi salinitas yang cukup tinggi, berkisar antara 0,06 hingga 25, 32, dipengaruhi oleh tingginya debit dan curah hujan.

- Pada Bulan April di tahun 2013 pada saat pengukuran lapang, variasi salinitas yang rendah di duga dipengaruhi oleh Curah

hujan yang masih tinggi karena merupakan peralihan antara musim barat dan musim timur. (Lihat Gambar 5 dan Tabel 3).



Gbr 5. Sebaran Salinitas Tahun 1990, 1995, 2000, 2005, dan 2010 pada tanggal pengamatan.

Tabel 3. Nilai Salinitas dan variabel yang mempengaruhinya

Tanggal pengamatan	Salinitas			Hari Hujan	Ch rata-rata	Debit	Kondisi Pasang-Surut (m)
	Min	Max	Rata-rata				
07/06/90	0,050	33,76	8,32	3	2,28	114	0,2
09/07/90	0,058	33,76	8,58	0	0	31,8	0,2
23/07/95	0,058	28,16	6,80	3	0,6	37,7	0,4
14/09/00	0,047	10,68	1,03	1	1,1	30,7	0,6
02/07/05	0,058	22,45	5,38	0	0	112	0,4
04/09/05	0,059	18,37	4,85	1	4,75	112	0,5
01/08/10	0,061	25,32	7,2	5	9,45	148,4	0,4

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa di estuaria Muaragembong terdapat 4 zona, yaitu: Zona Limnetic, Mexo-Oligohaline, Mexo-Mesohaline, dan Mexo-Polyhaline pada bulan kering. Sedangkan pada bulan basah hanya ditemukan 2 zona, yaitu Zona Mexo-Oligohaline dan zona Mexo-Polihaline. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh keadaan arus permukaan laut, pada saat arus bergerak ke Timur Laut masukan air asin ke wilayah estuaria muaragembong akan lebih banyak sehingga variasi salinitas yang dihasilkan dari pencampuran air lebih tinggi daripada variasi salinitas disaat arus bergerak ke arah Barat Daya dimana masukan air asin dari laut lebih sedikit

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat diselesaikan berkat rahmat dan karunia Allah SWT. Bapak Drs. Supriatna, M.T. dan Bapak Drs. Tjong Giok Pin, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberi arahan dalam penulisan skripsi ini. Kedua Orangtua penulis yang senantiasa memberi doa dan dukungan penuh kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini. Para staff di beberapa instansi yang telah memberikan data, serta pihak-pihak lain yang turut membantu selama proses penyusunan skripsi ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] Ahn, Y. H. Shanmugam, P., Moon, J. E. and Ryu, J. H., 2008. Satellite remote sensing of a low-salinity water plume in the East China Sea. *Annales Geophysicae*, Volume 26, Issue 7, pp.2019-2035.
- [2] Azis, M F.,2007, *Tipe Estuari Binuangen, Banten berdasarkan Distribusi suhu dan salinitas perairan*, Pusat Penelitian
- [3] Bowers, D.G. dan Brett, H.L.2007. *The Relationship Between Cdom And Salinity In Estuaries: An Analytical And Graphical Solution*.
- [4] Burbridge P, R., 1990, *Tidal Wetland Resources in the tropics*, House of ross comrie, perthshire Scotland. Resource management and optimalization, volume 7(1-4),pp.115-140. Tropical resources : ecology and development edited by jose I furtado...[et al.]1990 Harwood Academic Publishe GmbH, Poststrasse 22, 7000 Chur, Switzerland
- [5] Elliot DJ James A. 1984. *An Introduction to Water Quality Modelling* . Department of Civil Engineering UK: University Upon Tyne. H. Young, J.M. Gilbert, S.H. Murray, and R.D. Ball, Causal effects of aroma compounds on royal gala apple flavours, *J. Sci. Food Agric.* 71 (1996) 329-336.
- [6] Ferraris. R. P., F.D.P. Estepa. J.M. Ladja and E.G. De Jesus. 1986. *Effect of salinity on the osmotic. chloride. total protein and calcium concentration in the hemolymph of the prawn. Penaeus monodon Fabricius*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 83A (4) : 701-708.
- [7] Gilles. R. and P. Pequeux. 1983. *Interactions of chemical and osmotic regulation with the environment*. p: 109-177. In F. J. Vernberg and W. B. Vernberg (eds.). *The Biology of crustacea*, Vol. 8 : Environmental adaptatiions. Academic Press. New York. pp : 109-177.
- [8] IOCCG (2000). *Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically Complex, Waters*. Sathyendranath, S. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3, IOCCG, Dartmouth, Canada.
- [9] Jemmet A., 1998, *Implementing Estuary Management Plans : A Case Study from the Dee Estuary*, *The Geographical Journal*, Vol. 164, No. 3 (Nov., 1998), pp. 307-318. , Wiley on behalf of The Royal Geographical Society (with the Institute of British Geographers) <<http://www.jstor.org/stable/3060619> diakses pada 18/02/2013>
- [10] Karim, M. Yusri, *The Effect of Osmotic at Various Medium Salinity on Vitality of Female Mud Crab (Scylla olivacea)*. *Vol.14.No.1.Th.2007*, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hassanudin.Makasar.
- [11] *Marine Biology : An Ecological Approach*, third edition, 1993, James W. Nybakken. Harper Collins College Publishers.
- [12] Notes and Comment nternational Symposium for the Classification of Brackish Waters, sponsored by the International Association of Limnology and the International Union of Biological Sciences, was held in Venice, 8-14 April 1958.
- [13] Odum E, P., 1971, *Fundamentals of Ecology* 3rd Ed, Saunders College Publishing., Athens Georgia. Translation : dasar-dasar ekologi edisi ketiga 1998, gajah mada university press, yogyakarta. Oseanografi LIPI. Oseanologi dan Limnologi di Indonesia (2007) 33: 97– 110 < sumber : www.oseanografi.lipi.go.id>
- [14] Sediadi, A2011, *Kajian Spasial Dan Temporal Kualitas Perairan Teluk Jakarta*.Disertasi FMIPA UI, Depok.
- [15] Setianingsih, A I., 2010, *Adsorpsi Unsur Logam Berat Oleh Padatan Tersuspensi Di Estuari Muaragembong,Bekasi*, Disertasi, IPB, Bogor. Setyawan, N. 2001. *Pola keruangan (spatial) Kualitas Lingkungan Perairan di teluk*

- Jakarta Tahun 1996 – 2000. Skripsi Sarjana Geografi FMIPA UI. Depok.
Sigid Hariyadi, *Kajian Ketersediaan Oksigen Dan Kaitannya Dengan Beban Organik Di Perairan Estuari Sungai Cisadane*. Disertasi IPB bogor 2011
- [16] Supriadi I, H., 2001, *Dinamika Estuari Tropik*, Jurnal Oseana, Volume XXVI, Nomor 4, 2001:1 – 11
- [17] Triatmodjo, B. 1999, *Teknik Pantai edisi kedua*, Beta Offset, Yogyakarta.
- [18] Wouthuyzen S., dkk.,2004, *Pengukuran Salinitas Permukaan Teluk Jakarta Melalui Penginderaan Warna Laut Menggunakan Data Multi-Temporal Citra Satelit Landsat-7 ETM+*, PIT MAPIN XVII, 10-12-2008, Bandung.

Lampiran 1: Contoh Format Penulisan

Tatacara Penulisan Artikel di Jurnal Geosains Terapan

Penulis¹, Penulis Kedua², ..., dan Penulis Terakhir

¹Departemen Kimia, FMIPA UI, Kampus UI Depok 16424

²Ilmu Fisika, Pascasarjana Universitas Indonesia Salemba 4 Jakarta 10430

penulis1@sci.ui.ac.id, penulis2@sci.ui.ac.id

Abstrak

Panduan ini terdiri dari instruksi dan contoh format untuk membuat artikel di **Jurnal Geosains Terapan** yang diterbitkan oleh Pusat Studi Geosains FMIPA Universitas Indonesia. Jumlah halaman artikel **minimal 4 (empat) halaman, maksimal 12 halaman**, dan dapat dikirim ke redaksi **Jurnal Geosains Terapan**, di **Sekretariat Jurnal Geosains Terapan (JGT), Pusat Studi Geosains, Gedung A Lantai Dasar, Fakultas MIPA UI, Depok 16424** atau melalui email pada alamat jgt@sci.ui.ac.id. Artikel dapat ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris. Artikel dimulai dengan Abstrak dalam bahasa Indonesia (atau bahasa Inggris) dengan huruf ukuran **9-poin**. Abstrak dalam bahasa Inggris dapat pula ditampilkan setelah Abstrak bahasa Indonesia. Judul Abstrak **bercetak tebal** dengan ukuran huruf **10-poin** dan terletak terpusat seperti pada contoh ini. Abstrak tidak boleh lebih dari 200 kata. Penyajian artikel diperbolehkan sesuai selera Penulis, tetapi secara garis besar harus terdiri dari PENDAHULUAN, METODE PENELITIAN atau EKSPERIMENTAL, HASIL DAN DISKUSI, KESIMPULAN dan DAFTAR ACUAN yang disajikan secara berurutan.

Abstract

English version of the abstract can be written here.

Keywords: *Tulislah maksimum lima buah kata kunci dalam bahasa Inggris dengan huruf miring berukuran 9-poin.*

1. PENDAHULUAN

Silahkan tulis artikel dengan format MS Word dan kirim versi digitalnya (soft copynya) yang telah diberi nama judul paper dan penulisnya, dikirim ke redaksi melalui email di jgt@sci.ui.ac.id.

Untuk memudahkan penyelesaian penulisan artikel yang sesuai dengan format yang diinginkan, Panduan ini dapat diunduh melalui alamat website <http://sci.ui.ac.id/jgt>. Penulis dapat langsung menulis artikel pada format versi digital yang tersedia sehingga tidak perlu berfikir lagi tentang aturan penulisan yang rinci. Jika penulis ingin menulis artikel dengan membuat format sendiri, maka panduan ini harap diperhatikan dan diikuti dengan baik.

2. METODE PENELITIAN

Ukuran kertas yang digunakan adalah standar A4 dan batas kiri 30 mm, kanan 20 mm, atas dan bawah masing-masing 25 mm. Untuk penulisan teks digunakan format dua kolom. Jarak kedua kolom **6 mm (0.24 inci)**. Jenis huruf (*font*) yang digunakan adalah **Times New Roman**. Judul paper diletakkan di baris pertama halaman satu dan terpusat dengan menggunakan ukuran huruf **14-poin** serta **bercetak tebal**. Setelah judul, disisipkan satu baris kosong ukuran 14-poin. Kemudian dituliskan nama penulis

(ukuran huruf **12-poin**), sisipkan satu baris kosong (ukuran huruf **10 poin**), dan nama institusi serta alamat para penulis (ukuran huruf **10-poin**) secara terpusat. **Nama penulis** yang dapat diajak untuk korespondensi harap diberi **garis bawah**. Untuk memulai penulisan Abstrak, disisipkan 2 (dua) baris kosong (ukuran huruf **12-poin**).

Subjudul diberi nomor urut dan diketik dengan huruf besar bercetak tebal (ukuran huruf **12-poin**). Isi teks diketik dengan huruf berukuran **10-poin**. Antara baris terakhir teks dengan subjudul berikutnya disisipkan baris kosong (ukuran huruf **16-poin**). Antara subjudul dengan baris awal teks diletakkan baris kosong **10-poin**. *Istilah bahasa Inggris* harus ditulis dengan huruf miring. Penulisan persamaan harus diikuti dengan nomor yang mengacu pada jumlah persamaan yang ditulis. (lihat contoh persamaan 1)

$$\oint B.ds = 0 \quad (1)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bilamana artikel perlu didukung dengan data-data dalam bentuk tabel, penulis dapat menggunakan format tabel panjang 2 kolom (lihat Tabel 1), atau format tabel pendek 1 kolom (lihat Tabel 2).

Tabel 1. Contoh tabel dengan format dua kolom.

No	Nama Material	Tipe Anisotropi
1	Cobalt (Co)	Uniaxial anisotropy
2	Nickel (Ni)	Cubic anisotropy

Tabel 2. Posisi tabel di dalam format satu kolom.

No	Nama Material
1.	Cobalt (Co)
2.	Nickel (Ni)
3.	Permaloy (Py)

Tabel dimulai dengan judul tabel (ukuran huruf **10-poin**) yang dicetak miring. Huruf di dalam tabel berukuran 10-poin. Tabel diletakkan secara terpusat dan batas tabel tidak boleh melewati batas kolom.

Selanjutnya, hasil eksperimen dapat ditampilkan dalam bentuk gambar (grafik atau foto), lihat contoh Gambar 1. Judul gambar (ukuran huruf **10-poin**) diletakkan di bawah gambar dengan huruf dicetak miring. Gambar dapat mengisi satu kolom atau dua kolom penuh. Letak gambar adalah terpusat. Resolusi foto yang discan tidak boleh kurang dari 300 dpi. Penomoran tabel dan gambar harus berurutan.



Gbr 1. Contoh gambar diletakkan di dalam format satu kolom.

Daftar acuan harus diletakkan pada akhir artikel dan ditulis berurutan seperti yang dirujuk di dalam teks. Jika merujuk acuan di dalam teks, maka harus ditandai dengan angka Arab dengan kurung kotak,

seperti [1]. Penulisan daftar acuan harus sesuai dengan judul artikel yang diacu, sebagai contoh dapat dilihat di akhir panduan ini.

4. KESIMPULAN

Panduan ini diberlakukan untuk memudahkan para penulis dalam menulis artikel untuk Jurnal Geosains Terapan. Di samping itu penulisan sesuai dengan format yang disyaratkan akan memudahkan pihak editor untuk memproses lebih lanjut tahapan-tahapan prosedur penerbitan artikel JGT.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih dapat disampaikan kepada pihak pemberi dana penelitian, kepada lembaga/orang yang membantu penelitian, kepada orang yang membantu dalam diskusi, dll.

DAFTAR ACUAN

- [1] H. Young, J.M. Gilbert, S.H. Murray, and R.D. Ball, Causal effects of aroma compounds on royal gala apple flavours, *J. Sci. Food Agric.* 71 (1996) 329-336.
- [2] A.S. Carslaw, and J.C. Jaeger, *Conduction of heat in solids*, 2nd edition, Clarendon Press, Oxford (1959).
- [3] L. Weiss, *Instruction to Authors*, Elsevier Publishing, <http://www.elsevier.com/authors.html>, 1999.
- [4] T. Toriyama, Y. Tanimoto, S. Sugiyama, Single crystalline silicon nano wire piezoresistors for mechanical sensors, *Transducers '01 Eurosensors XV Digest of technical papers, Munich* (2001), 1002-1005.