

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/309606613>

Bunga Rampai ForMIND 2016

Book · October 2016

CITATIONS

0

READS

72

1 author:



[Ketut Wikantika](#)

Bandung Institute of Technology

59 PUBLICATIONS 85 CITATIONS

SEE PROFILE

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



Indonesian Remote Sensing Book Series [View project](#)

All content following this page was uploaded by [Ketut Wikantika](#) on 02 November 2016.

The user has requested enhancement of the downloaded file. All in-text references [underlined in blue](#) are added to the original document and are linked to publications on ResearchGate, letting you access and read them immediately.



Forum Peneliti Muda Indonesia (ForMIND)



Bunga Rampai
ForMIND
2016



Penerbit ITB

Bunga Rampai
Forum Peneliti Muda Indonesia
2016



Bunga Rampai Forum Peneliti Muda Indonesia 2016

Diterbitkan di Bandung oleh

Penerbit ITB

Jalan Ganesha 10 Bandung

Anggota Ikapi No. 043/JBA (1)

Telp.: 022-2504257, Faks: 022-2534155

Email: itbpress@penerbit.itb.ac.id

ISBN 978-602-7861-52-7

Editor Utama: Ketut Wikantika

Editor: Tombayu Amadeo Hidayat, Debby Nurliza Ulhaq, Nur Asriyah, Saddam Chair

Penelaah Makalah: Acep Purqon, Fenny Dwivany, Topik Hidayat, Rinovia Simanjuntak, Deni Suwardhi

Desain Sampul: Tombayu Amadeo Hidayat

Cetakan Pertama: Oktober 2016

Forum Peneliti Muda Indonesia (ForMIND)

<http://www.formind.or.id>

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak

sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa seizin penerbit

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

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



Kata Pengantar

Selamat bertemu dan saling berbagi pada Konferensi ForMIND 2016 di Universitas Andalas, Padang, 28 Oktober 2016. Tentu saja pada konferensi ke 3 tersebut seluruh anggota ForMIND akan mendapatkan manfaat keilmuan, wawasan dan menambah jejaring mitra untuk berkolaborasi dalam melaksanakan kegiatan pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Salah satu bentuk komitmen dalam memperkuat kemitraan dan kontribusi ForMIND bagi masyarakat maka mulai tahun 2016 diterbitkan “Buku Bunga Rampai ForMIND”.

Buku Bunga Rampai ForMIND merupakan kumpulan artikel ilmiah, semi-ilmiah dan populer-ilmiah dari berbagai disiplin ilmu yang disusun sedemikian rupa sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas secara ilmiah, serta dapat memberikan ilustrasi tentang suatu keilmuan sehingga dapat dengan mudah dimengerti oleh tidak hanya bagi anggota ForMIND saja tetapi masyarakat umum. Buku ini akan menjadi sumber referensi alternatif terkait perkembangan ilmu dan teknologi serta status penerapannya di Indonesia.

Tahun 2016 menjadi tahun pertama diluncurkannya Buku Bunga Rampai ForMIND. Buku ini akan diterbitkan setiap tahun dan ditelaah oleh para nara sumber dengan latar belakang beragam keilmuan. Sangat diharapkan para anggota ForMIND dapat memberikan kontribusinya dalam buku ini secara berkelanjutan. Untuk mempermudah mendapatkan dan memanfaatkan buku ini maka ForMIND akan memberikan akses secara gratis melalui website ForMIND (formind.or.id). Semoga buku ini akan menjadikan ForMIND semakin sadar akan tanggungjawabnya dalam mencerdaskan bangsa dan semakin yakin bahwa bangsa ini maju karena semangat para peneliti mudanya.

Bandung, 28 Oktober 2016

Ketut Wikantika
Editor Utama



Daftar isi

Review Article

Pematangan Buah	1
Promotor gen: tombol on/off ekspresi gen yang penting bagi kelangsungan hidup organisme	9

Article

Optimalisasi Perkembangan Karir Generasi Muda Indonesia di bidang STEM (<i>Science, Technology, Engineering, and Mathematics</i>)	15
Cetak Jari DNA pada Domba Garut	27
Implementasi Pengiriman Pesan dan Serangan pada Kriptografi Kurva Eliptik.....	37
Teknik <i>Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar</i> (PolInSAR) untuk Pemetaan Cadangan Karbon Menggunakan Citra ALOS PALSAR <i>Full-Polarimetric</i>	49
Estimasi Penetrasi Backscattering Data Polarimetric SAR (PolSAR) Berdasarkan Model TVDI.....	69
Deliniasi Produk Gunung Api Dengan Fusi Citra Landsat 8 OLI dan Citra <i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR)	87
Aplikasi LiDAR untuk Kehutanan dalam Estimasi Biomassa (Studi Area: Perkebunan Kelapa Sawit PTPN VIII, Subang, Jawa Barat)	103
Observasi Rekahan pada Morfologi Puncak Gunungapi Aktif dengan Data <i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR) Secara Temporal.....	119

Review Article

Pematangan Buah

Fenny Dwivany dan Dina Hermawaty

Banana Research Group

Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung

fenny@sith.itb.ac.id, www.thebananagroup.org

Apakah Pematangan Buah?

Bagi orang awam, pematangan buah biasanya dikenali dengan perubahan fisik buah baik warna maupun rasa. Secara ilmiah, pematangan buah adalah peristiwa genetik terprogram dan kompleks berupa perubahan secara fisik dan biokimia sehingga buah menjadi layak untuk dikonsumsi. Perubahan yang terjadi selama pematangan buah antara lain perubahan warna kulit, tekstur, rasa, dan dihasilkannya aroma pada buah.

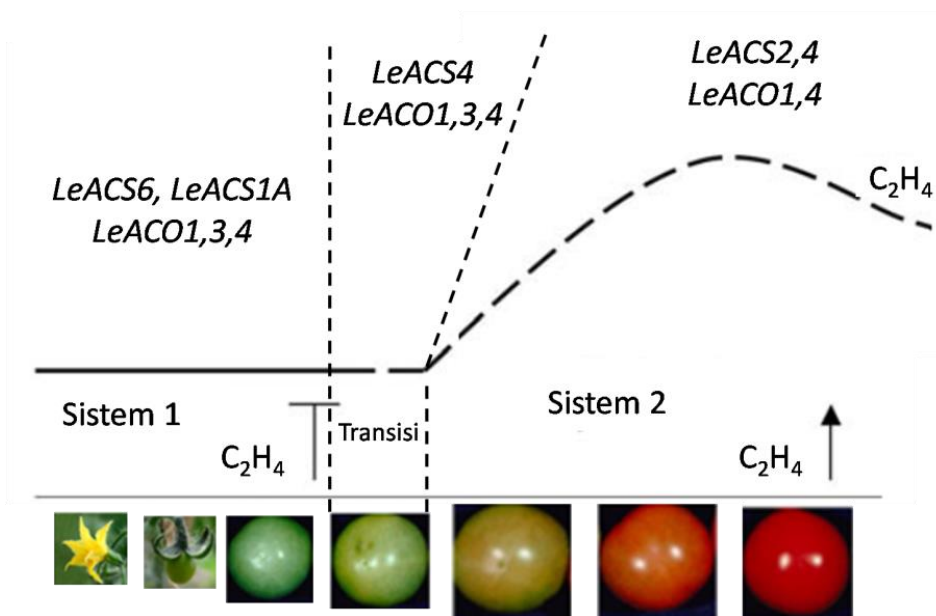
Perubahan warna kulit dihasilkan dari degradasi klorofil serta akumulasi berbagai antosianin pada vakuola. Degradasi klorofil menghasilkan perubahan warna kulit yang semula hijau menjadi kuning seperti halnya pada buah pisang. Pada buah-buahan berwarna jingga atau merah, warna kulit buah dihasilkan dari akumulasi senyawa karotenoid seperti beta karoten dan likopen. Perubahan tekstur buah merupakan hasil hidrolisis polisakarida penyusun dinding sel jaringan buah menyebabkan melemahnya ikatan antar sel. Hal ini diikuti dengan pembengkakan sel akibat perubahan turgor sehingga menghasilkan tekstur buah yang lembut saat matang. Buah yang matang juga akan mengakumulasi gula dalam bentuk glukosa maupun fruktosa di dalam vakuola, hal ini menyebabkan buah yang matang umumnya memiliki rasa yang manis. Sementara itu, aroma buah merupakan produk senyawa kimia volatil seperti ester dan asam lemak rantai pendek yang terdapat di dalam buah. Disamping keuntungan-keuntungan yang dihasilkan oleh proses pematangan buah bila dilihat dari segi kelayakan konsumsi, perubahan komposisi dinding sel, perubahan turgor sel, dan peningkatan kadar air serta gula saat buah menjadi matang menyebabkan buah matang lebih rentan terhadap infeksi oleh patogen oportunistik.

Secara fisiologis, buah dikelompokkan menjadi buah klimakterik dan non klimakterik. Buah klimakterik merupakan kelompok buah-buahan yang mengalami peningkatan laju respirasi dan produksi gas etilen pada awal fasa pematangan buahnya. Sementara itu, buah-buahan yang tidak mengalami lonjakan respirasi serta mempertahankan gas etilen dalam jumlah yang kecil selama proses pematangan disebut sebagai buah non-klimakterik. Etilen merupakan senyawa gas hidrokarbon yang juga berperan sebagai hormon pada tumbuhan tingkat tinggi sebab dapat mengaktifasi metabolisme sel



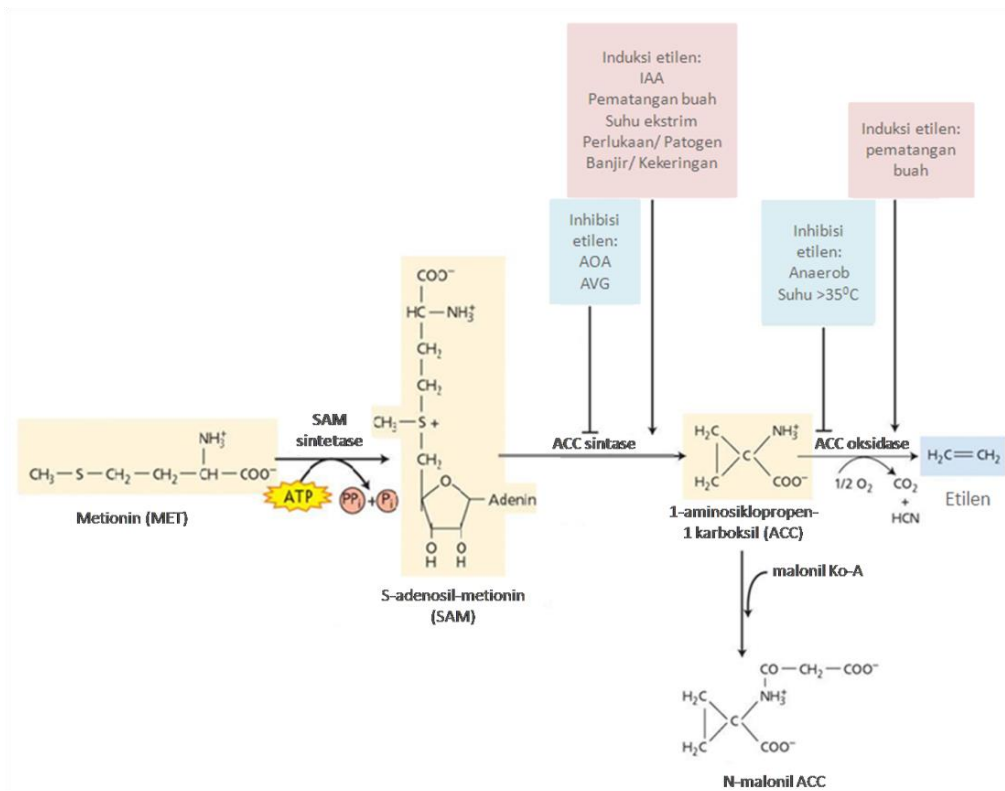
pada konsentrasi yang sangat rendah yaitu 10-100nL/L. Pentingnya etilen pada proses pematangan buah dipelajari melalui penelitian menggunakan senyawa inhibitor etilen maupun organisme mutan yang membuktikan peran penting gas etilen dalam proses pematangan buah-buah klimakterik. Meskipun proses pematangan alami pada buah klimakterik sangat bergantung pada keberadaan etilen (*ethylene-dependent*), dilaporkan juga keberadaan jalur regulasi ekspresi gen pada buah klimakterik yang tidak bergantung pada etilen (*ethylene-independent*). Pada tomat dan buah klimakterik lainnya, terdapat dua sistem yang mengatur produksi etilen. Sistem 1 berperan selama pertumbuhan dan perkembangan vegetatif maupun respon terhadap stres lingkungan dan bekerja secara *autoinhibitor*, yaitu keberadaan etilen akan menurunkan laju pembentukan etilen berikutnya. Sistem kedua bekerja secara *autocatalytic*, yaitu keberadaan gas etilen akan meningkatkan pembentukan gas etilen yang lebih banyak lagi. Sistem 2 ini aktif pada saat proses pematangan buah maupun penebaran bunga (Gambar 1).

Terdapat tiga tahap utama dalam biosintesis hormon gas etilen pada tumbuhan tingkat tinggi, yaitu (1) perubahan metionin menjadi *S-adenosyl-L-methionine* (SAM) dengan bantuan enzim SAM sintetase, (2) pembentukan *1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid* (ACC) dari SAM yang dikatalisis oleh enzim ACC sintase, dan (3) sintesis gas etilen (C_2H_4) dari ACC yang diperantarai enzim ACC oksidase dengan CO_2 dan HCN sebagai produk samping (Gambar 2). SAM memiliki fungsi yang beragam dalam metabolisme sel, salah satunya sebagai donor metil dalam proses metilasi. Berdasarkan tahapan diatas, sintesis etilen yang dikatalisis oleh enzim ACC sintase (ACS) dan ACC oksidase (ACO) merupakan peristiwa khas pematangan buah.



Gambar 1. Regulasi biosintesis etilen pada perkembangan dan pematangan buah tomat. Pada sistem 1 gen *LeACS1A*, *LeACS6*, *LeACO1,3,4* bekerja secara *autoinhibitor* untuk menghambat sintesis etilen. Pada saat transisi, gen *LeACS4* menginduksi lonjakan *autocatalytic* etilen dan menyebabkan umpan balik negatif terhadap sistem 1. Pada sistem 2, produksi etilen dihasilkan dari aktivitas gen *LeACS2,4* dan *LeACO1,4* (dimodifikasi dari Barry dan Gionannoni, 2007).

Selain berperan penting pada proses pematangan buah, gas etilen juga diketahui memiliki peran dalam respon terhadap pengaruh lingkungan. Perlukaan, suhu ekstrim (suhu sangat tinggi maupun rendah), banjir atau kekeringan, kontaminasi logam berat, keberadaan hormon lain, serta infeksi oleh mikroorganisme patogen dapat meningkatkan produksi gas etilen endogen pada tumbuhan. Dalam bidang agroindustri hal-hal diatas dianggap merugikan, mengingat peningkatan produksi etilen akan menyebabkan buah lebih cepat matang dan rusak.



Gambar 2. Biosintesis etilen pada tumbuhan tingkat tinggi (dimodifikasi dari Taiz dan Zeiger, 2002).

Faktor apakah yang mempengaruhi kualitas buah setelah panen?

Buah merupakan sumber energi, nutrisi, vitamin dan mineral yang murah. Cara terbaik untuk mendapatkan manfaat maksimal dari buah-buahan adalah dengan mengonsumsi buah dalam keadaan segar. Buah yang dipanen umumnya akan dikumpulkan kemudian didistribusikan ke berbagai tempat untuk keperluan perdagangan maupun konsumsi. Secara alami, buah berada pada kondisi yang cukup stabil selama berada pada tanaman induknya. Proses panen akan memutuskan jalur nutrisi alami buah dan menyebabkan penurunan kualitas dalam waktu beberapa hari saja. Penurunan kualitas buah yang begitu cepat disebabkan oleh karakter produk buah segar yang rentan terhadap kerusakan fisik, mekanis, kimiawi dan enzimatis, mikrobiologis, proses penuaan fisiologis, dan serangan serangga. Untuk mengatasi permasalahan ini, manajemen panen dan pasca panen yang efektif harus dilakukan untuk meminimalisasi kerusakan, mempertahankan kualitas, dan memperpanjang umur simpan dari buah.



Buah pisang merupakan salah satu produk buah segar yang termasuk dalam kelompok buah klimakterik. Faktor utama yang menyebabkan penurunan kualitas buah pisang adalah infeksi patogen dan pembusukan buah. Kerusakan fisik maupun kondisi lingkungan dapat menginduksi produksi etilen buah pisang yang kemudian menyebabkan perubahan biokimia dan mempercepat pematangan buah pisang. Saat matang buah pisang sangat rentan terhadap patogen oportunistik yang dapat menyebabkan pembusukan. Pengetahuan mengenai faktor-faktor yang memengaruhi pematangan buah pisang menjadi sangat dibutuhkan sebagai acuan untuk membuat strategi penanganan buah agar pematangan dapat diperlambat dan umur simpan buah menjadi lebih lama (Tabel 1).

Tabel 1. Faktor-faktor yang memengaruhi pematangan buah dan ekspresi gen terkait biosintesis etilen (dari berbagai sumber)

Faktor	Efek terhadap pematangan	Efek terhadap ekspresi gen
Suhu dingin	Memperlambat proses perubahan fisik dan biokimia pada proses pematangan buah.	Menghambat akumulasi ACC dan aktivitas ACC oksidase
Konsentrasi O ₂	Pada konsentrasi rendah memperlambat laju respirasi sel dan sintesis etilen.	Menghambat akumulasi mRNA gen <i>MaACS1</i> dan <i>MaACO1</i> .
Konsentrasi CO ₂	Pada konsentrasi tinggi berpotensi menekan laju respirasi klimakterik yang diikuti dengan penurunan jumlah produk samping respirasi seluler (seperti: piruvat, 2-oxoglutarat dan malat).	Menghambat akumulasi mRNA gen <i>MaACS1</i> dan <i>MaACO1</i> .
Infeksi patogen	Menginduksi pematangan buah dengan mengaktivasi jalur sintesis etilen akibat perlukaan.	Meningkatkan level ekspresi gen <i>MaACS2</i> .

Proses panen dan pasca panen merupakan tahapan yang paling banyak menyebabkan kerusakan pada buah pisang. Sebagai komoditas ekspor, penurunan nilai jual buah pisang seringkali disebabkan oleh manajemen pasca panen yang tidak tepat. Beberapa hal yang perlu diperhatikan selama proses panen dan pasca panen diantaranya:

a. Panen

Umur kematangan buah pisang sangat memengaruhi kualitas buah yang diterima oleh konsumen. Untuk konsumsi lokal buah pisang dapat dipanen saat telah matang penuh (*fully mature*) atau

matang pohon, sementara untuk distribusi buah ke tempat yang cukup jauh maupun keperluan ekspor buah pisang dipanen saat 75 % matang atau sering kali disebut sebagai tahap matang hijau (*green mature*). Pemanenan buah pisang saat umur buah terlalu muda menyebabkan buah tidak dapat matang dengan baik. Pada praktek dilapangan penentuan usia panen buah dapat dilakukan dengan penandaan tanggal keluarnya bunga jantan atau dengan pengukuran panjang jari dan diameter buah pisang, serta memperhatikan sudut yang terbentuk pada tepi buah pisang.

Setelah panen, buah pisang ditangani secara hati-hati untuk menghindari perlukaan fisik yang dapat menginduksi produksi etilen. Penggunaan bahan lunak, seperti busa, untuk melindungi tiap tanda pisang saat ditrasportasikan ke tempat pengumpulan merupakan salah satu cara yang umum dilakukan untuk menghindari kerusakan fisik selama proses panen.

b. Pencucian buah

Buah pisang yang telah dipanen segera dipisahkan per sisir menggunakan pisau yang tajam dan bersih. Kemudian buah pisang akan dicuci dengan tujuan menghilangkan kotoran maupun kontaminasi yang menempel pada buah pisang. Fungisida komersial seperti Thiabendazole (Mertect-340 F) dan Imazalil (Magnet 75 SG) biasanya dipergunakan untuk mengurangi kemungkinan infeksi jamur selama penyimpanan buah.

Suhu buah pisang dapat meningkat mengikuti suhu udara lingkungan selama proses panen. Sebelum buah pisang dicuci, suhu buah biasanya terlebih dahulu diturunkan dengan cara menggantung tandan buah pisang di tempat yang terlindung dari sinar matahari selama semalam. Buah yang telah dicuci bersih kemudian dikeringkan sebelum memasuki tahap sortir.

c. Penyortiran

Pada proses sortir, buah dikelompokkan berdasarkan ukuran, warna, dan tingkat kematangan sebelum dikemas. Pengelompokan dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh pematangan buah yang merata. Pada tahap ini buah-buah pisang yang masih terlalu muda atau terlalu tua dan memiliki kerusakan fisik akibat perlakuan mekanis maupun serangan serangga akan dipisahkan.

d. Pengemasan

Kemasan yang dipergunakan biasanya berbahan kertas karton tebal maupun plastik atau fiber. Buah pisang juga seringkali dibungkus dengan plastik berpori berbahan *polythene* sebelum dimasukkan ke dalam kotak kemasan. Lapisan berbahan lunak selalu disertakan di bagian dasar kemasan dan di antara tumpukan sisir pisang yang satu dengan lainnya. Jumlah buah pisang dalam satu kemasan juga dibatasi untuk memberikan sirkulasi udara yang cukup.

e. Penyimpanan dan transportasi

Suhu penyimpanan buah pisang optimal berkisar 13⁰-14⁰C dengan kelembaban udara 90-95%, kondisi ini juga dipergunakan selama proses distribusi buah pisang. Sementara itu, pematangan



buah yang merata akan dicapai bila suhu lingkungan selama proses pematangan berkisar pada rentang 15⁰-20⁰C.

Tahapan pasca panen diatas merupakan prosedur operasional standar yang telah dilakukan oleh distributor buah-buahan segar dengan target pasar ekspor. Prosedur demikian seringkali dianggap kurang praktis dan dianggap terlalu mahal untuk dipraktekkan pada skala petani kecil maupun industri rumah tangga yang mempergunakan buah pisang sebagai bahan baku pembuatan makanan olahan. Pembuatan ruangan pendingin khusus untuk menjaga suhu dan kelembaban udara agar tetap berada pada rentang optimal memerlukan biaya yang tidak sedikit. Selain itu, peningkatan kesadaran konsumen akan efek residu fungisida pada makanan terhadap kesehatan dan keamanan lingkungan menyebabkan penggunaan fungisida untuk mencuci makanan menjadi perhatian khusus saat ini.

DAFTAR REFERENSI

- Alexander, L. dan Grierson, D. (2002). Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, **53(377)**, 2039–2055.
- Brummell, D. A. (2006). Cell wall disassembly in ripening fruit. *Functional Plant Biology*, **33(2)**, 103–119.
- Cantu, D., Vicente, A. R., Greve, L. C., Dewey, F. M., Bennett, A. B., Labavitch, J. M., dan Powell, A. L. T. (2008). The interesection between cell wall disassembly, ripening, and fruit susceptibility to *Botrytis cinerea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105(3)**, 859–864.
- Chang, C. (2007). Ethylene Biosynthesis, Perception, and Response. *Journal of Plant Growth Regulation*, **26(2)**, 89–91.
- Chaves, A. L. S. dan Mello-Farias, P. C. de. (2006). Ethylene and fruit ripening: from illumination gas to the control of gene expression, more than a century of discoveries. *Genetics and Molecular Biology*, **29(3)**, 508–515
- Demerutis, C., Quirós, L., Martinuz, A., Alvarado, E., Williams, R. N., dan Ellis, M. A. (2008). Evaluation of an organic treatment for post-harvest control of crown rot of banana. *Ecological Engineering*, **34(4)**, 324–327.
- Fischer, R. L. dan Bennett, A. B. (1991). Role of Cell Wall Hydrolases in Fruit Ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **42(1)**, 675–703.
- Garcia, E. dan Barrett, D. M. (2002). Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*. CRC Press, Boca Raton, FL, 267–304.
- Giovannoni, J. J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell Online*, **16(suppl 1)**, S170–S180.
- James, I. F. dan Kuipers, B. (2003). Preservation of fruits and vegetables. *Agrodok (3)*.

- Kader, A. A. (2002). Biology and technology: an overview. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, **33**(1), 39–48.
- Lelievre JM, Tichit L, Larrigaudie´re C, Vendrell M, dan Pech JC. (1995). Cold-induced accumulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase protein in granny smith apples. *Postharvest Biology and Technology*, **5**, 11–7.
- Mohapatra, D., Mishra, S., dan Sutar, N. (2010). Banana Post Harvest Practices: Current Status and Future Prospect - A Review. *Agricultural Reviews*, **31**(1), 56–62.
- Müller, T. dan Kräutler, B. (2011). Chlorophyll Breakdown as Seen in Bananas: Sign of Aging and Ripening – A Mini-Review. *Gerontology*, **57**(6), 521–527.
- Nelson, S. C. (2008). *Postharvest Rots of Banana*. Plant Disease, Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai'i at Mānoa, PD-54
- Toivonen, P. M. A., dan Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, **48**(1), 1–14.
- Senthilkumar, S. dan Vijayakumar, R. M. (2014). Biochemical, Physiological and Horticultural Perspectives of Fruit Colour Pigmentation: A Review. *Journal of Agriculture and Allied Sciences*, **3**(1), 9–16.
- Taiz, L. dan E. Zeiger. (2002), *Plant Physiology*, edisi ke-3, Sunderland: Sinauer associates, Inc.
- Yang, S.F. dan Hoffman, N.E. (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, **35**, 155-189.

BIOGRAFI PENULIS

Dr. Fenny M. Dwivany



Dr. Fenny M. Dwivany menyelesaikan studi tingkat doktoral bidang Biologi di The University of Melbourne pada tahun 2003. Saat ini menjadi aktif staf pengajar dan peneliti di Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati (SITH) Institut Teknologi Bandung (ITB) Selain itu, bersama timnya yang tergabung dalam Banana Group (www.thebananagroup.org) aktif melakukan riset dengan pisang sebagai model. Riset yang dilakukan antara lain studi penyakit dan pematangan buah menggunakan pendekatan multidisiplin ilmu antara lain genetika, fisiologi tanaman, *space biology*, material sains, dan desain produk. Tim risetnya terlibat riset *Space Biology* sejak 2017 bersama LAPAN, Indonesia dan JAXA, Jepang. Pada tahun 2011 tim ini berhasil mengirimkan biji tomat Indonesia ke stasiun luar angkasa (ISS) dan meneliti pertumbuhan tanaman tomat sebagai eksperimen *space biology* pertama di Indonesia. Kecintaannya terhadap penelitian menjadikan Fenny sebagai salah satu pendiri Forum Peneliti Muda Indonesia (ForMIND: www.formind.or.id).



Dina Hermawaty, M.Si.



Dina Hermawaty, M.Si menyelesaikan program Sarjana Biologi (2009) dan Master Bioteknologi (2015) di Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung dengan fokus riset di bidang rekayasa genetika tumbuhan dan pematangan buah pisang. Setelah menyelesaikan program sarjananya, pada tahun 2010, Dina sempat bergabung dengan Lembaga Biologi Molekuler Eijkman yang memberikannya kesempatan untuk mengembangkan kemampuannya di bidang mikroskop elektron dan immunoinformatika. Dina kemudian bergabung kembali dengan Banana Group ITB pada tahun 2012 dan saat ini tengah melanjutkan studi doktoral di Universitas Western Australia.

Review Article

Promotor gen: tombol on/off ekspresi gen yang penting bagi kelangsungan hidup organisme

Karlia Meitha

Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung

karlia_meitha@yahoo.com

Bagaimana sel dapat mengaktifkan gen-gen yang bekerja di sistem pertahanan ketika sedang terjadi cekaman atau serangan pathogen? Bagaimana pula suatu gen dapat mengatur waktu dan tempat ekspresinya di dalam organisme? Apakah gen-gen yang sama terus menerus diekspresikan di semua sel makhluk hidup? Lalu bagaimana bila sel tersebut tidak memerlukan produk gen yang diekspresikan?

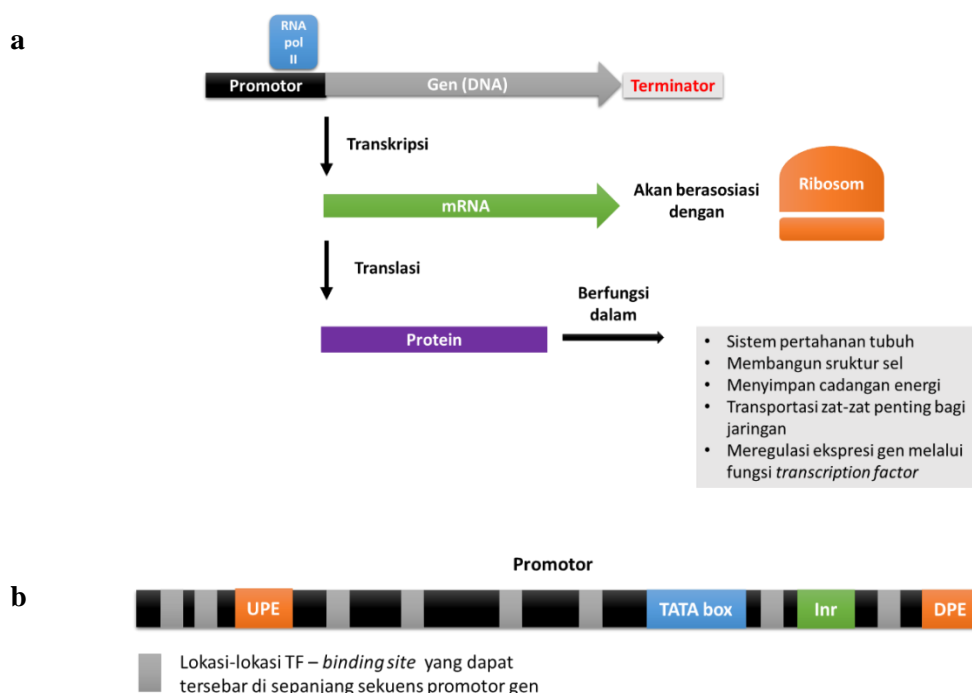
Semua pertanyaan di atas dapat dijawab dengan menjelaskan peran dari promotor gen. Promotor gen merupakan urutan DNA (deoxyribonucleic acid) yang terletak sebelum urutan basa dari suatu gen. Struktur ini bertugas untuk mengatur waktu dan tempat ekspresi suatu gen sehingga menjadi optimal dan sesuai dengan kebutuhan organisme. Fungsi promotor gen di dalam sel makhluk hidup sangat vital, salah satu contoh akibat dari kelainan promotor gen di manusia adalah meningkatnya resiko seseorang untuk mengalami depresi dan anorexia. Hal ini diakibatkan oleh perbedaan sekuens promotor pada salah satu gen di sel otak penderita depresi (Mann *et al.*, 2000), dan di sel darah pada penderita anorexia (Collier *et al.*, 1997).

Pada organisme eukariotik, ekspresi gen diawali oleh proses transkripsi yang melibatkan pelekatan enzim RNA (ribonucleic acid) polymerase II ke promotor gen. Proses ini menghasilkan rantai mRNA (messenger-RNA) dari gen yang berada di depan promotor tersebut dan kemudian akan berasosiasi dengan ribosom pada tahap translasi protein (**Gambar 1A**). Protein yang dihasilkan merupakan unit makro-molekul sel yang berperan dalam proses-proses penting terkait pertahanan dari penyakit dan tahap tumbuh-kembang organisme. Sebagai contoh, banyak species tanaman yang diketahui memproduksi protein-protein *antifungal* dan *pathogen-related* sebagai strategi pertahanan saat terjadi infeksi hama jamur (Ferreira *et al.*, 2007). Contoh lainnya adalah peran protein-protein constitutive *photomorphogenesis/de-etiolated/fusca* (COP/DET/FUS) dalam mengatur proses tumbuh-kembang di tanaman (Schwechheimer and Deng, 2000). Dengan demikian, peran promotor gen sangat penting dalam menginisiasi transkripsi gen sedang dibutuhkan pada waktu dan tempat tertentu.

Secara umum, promotor gen mengandung bagian-bagian penting seperti *transcription factor* (TF) *binding site*, *TATA box*, *initiator* (Inr), *downstream* dan *upstream promoter element* (**Gambar 1B**). *Transcription factor* (TF) *binding site* merupakan daerah unik pada promotor gen yang dapat berikatan dengan TF tertentu yang spesifik dan berfungsi sebagai sensor terhadap kondisi internal dan eksternal

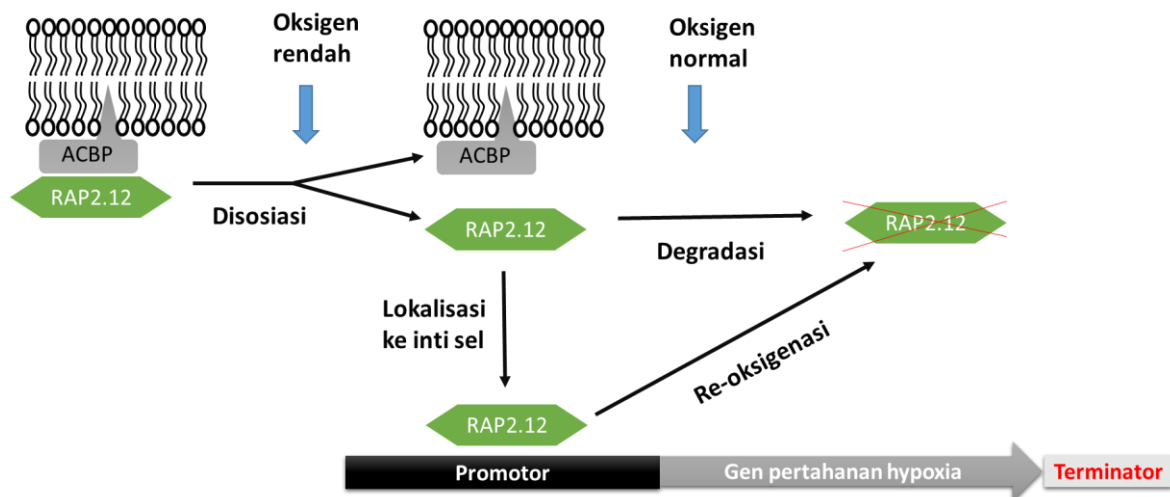


sel, akan dibahas lebih lanjut dibawah ini. TATA box terdiri dari 7 – 8 pasang basa (*base pairs* - bp) konsensus dan biasanya terletak sekitar 23 – 35 bp sebelum *start codon* atau lokasi dimulainya transkripsi pada gen. Pada proses inisiasi transkripsi, TATA box harus terlebih dahulu berikatan dengan kompleks pre-inisiasi yang terdiri dari TFIID/TFIIA, TFIIB, dan RNA polymerase II; atau TFIIF, TFIIIE, TFIIF dan RNA polymerase II (Turner *et al.*, 2000, Smale and Kadonaga, 2003). Seluruh TF yang berinteraksi dengan TATA box dikategorikan sebagai faktor transkripsi umum yang selalu dibutuhkan pada setiap proses transkripsi gen. *Initiator* memiliki fungsi yang mirip dengan TATA box yaitu sebagai tempat melekatnya TFIID dan biasanya tidak hadir bersamaan dengan TATA box (Xi *et al.*, 2007). *Downstream promoter element* (DPE) biasanya ditemukan pada promotor gen yang tidak memiliki TATA box (Kutach and Kadonaga, 2000). DPE dan Inr bekerja bersama sebagai tempat pelekatan berbagai TF umum dan RNA polymerase II. *Upstream promoter element* (UPE) merupakan urutan basa unik yang terletak sebelum TATA box dan dapat meningkatkan tingkat transkripsi suatu gen pada keadaan tertentu. Contohnya adalah gen yang mengkode *heat shock protein 70* (hsp70) pada *Drosophila* yang ekspresinya meningkat pada sel yang mengandung UPE di gen hsp70 setelah diberikan perlakuan panas (Pelham, 1982). Setelah proses transkripsi diinisiasi dan berjalan, selanjutnya akan dihentikan di daerah terminator untuk memastikan bahwa hanya urutan basa DNA yang dibutuhkan saja yang ditranskripsikan (Gambar 1a).



Gambar 1. Skema proses transkripsi - translasi (A) dan diagram bagian-bagian promotor gen (B). Transkripsi gen di dalam sel diinisiasi dari daerah promotor dan diakhiri di terminator. Proses ini akan menghasilkan rantai mRNA yang akan berasosiasi dengan ribosom selama proses translasi untuk menghasilkan protein (A). Selanjutnya, protein-protein yang dihasilkan akan berperan di banyak di berbagai sistem di dalam sel (B). RNA pol II, RNA polymerase II; UPE, upstream promoter element; Inr, initiator; dan DPE, downstream promoter element.

Kespesifikan kerja promotor gen ditentukan oleh keunikan urutan sekuens tempat melekatnya TF (TF - binding site) yang dapat berikatan dengan protein sinyal pada sistem pertahanan atau tumbuh-kembang sel. Di tanaman, family TF *ethylene response factor* (ERF) merupakan kelompok regulator transkripsi terbesar yang memiliki hingga 291 gen anggota dan terlibat di berbagai aktifitas sistem pertahanan saat menghadapi cekaman lingkungan maupun serangan pathogen (Müller and Munné-Bosch, 2015). Meskipun ERF merupakan suatu family gen yang besar, namun hanya protein ERF yang akan berasosiasi dengan gen yang dibutuhkan saja yang responsif terhadap cekaman atau kondisi sel yang sedang terjadi. Salah satu protein ERF di tanaman Arabidopsis, RAP2.12, diketahui berasosiasi dengan membran sel pada kondisi oksigen normal (Gambar 2). Namun pada konsentrasi oksigen rendah, TF ini akan terlokalisasi ke dalam inti sel dan berasosiasi dengan gen-gen yang dibutuhkan di sistem penyelamatan dari ancaman hypoxia (Licausi *et al.*, 2011). Tempat pelekatan RAP2.12 di area promotor gen – gen tersebut memiliki urutan sekuens unik yang dijelaskan lebih lanjut oleh Gasch *et al.* (2016). Seperti halnya pada Arabidopsis, keunikan urutan sekuens promotor gen tempat melekatnya TF di semua organisme sangat berperan dalam mengatur ekspresi gen – gen di dalam sel agar sesuai dengan kebutuhan yang aktual.



Gambar 2. Contoh skematik interaksi antara transkripsi faktor dan promotor gen pada kondisi cekaman rendah oksigen (hypoxia) di tanaman. Salah satu anggota family TF *ethylene response factor*, RAP2.12, terlokalisasi di membrane sel dan berikatan dengan protein integral ACBP pada kondisi oksigen normal. Bila terjadi penurunan konsentrasi oksigen, TF RAP2.12 akan terlepas dari membran dan terlokalisasi ke dalam inti sel untuk selanjutnya berdisosiasi dengan promotor gen pertahanan hypoxia dan menginisiasi tahap transkripsi. Setelah terpisah dari membrane, bila kondisi oksigen kembali normal TF ini akan mengalami proses degradasi sehingga ekspresi gen-gen pertahanan hypoxia tidak lagi terinduksi. Gambar dibuat ulang berdasarkan Figure 4 pada Licausi *et al.*, 2011.



Studi mengenai TF – *binding site* di promotor banyak dilakukan karena dapat membantu untuk mengerti lebih jauh tentang bagaimana gen – gen penting di tanaman, hewan, dan manusia diregulasi yang sangat vital bagi kelangsungan hidup individu pemiliknya. Lebih jauh lagi, pengetahuan ini akan mendukung berbagai riset di bidang pangan dan kesehatan berbasis bioteknologi. Penelitian akan promotor gen umumnya dilakukan dengan dua cara yang saling melengkapi. Pertama adalah melalui pendekatan bioinformatika dengan cara analisa urutan sekuens promotor baru berdasarkan data yang sudah ada. Karena pentingnya bidang penelitian ini, saat ini banyak sekali universitas dan institusi penelitian terkemuka di dunia yang menyediakan *online tools* untuk menganalisa sekuens promotor secara gratis ataupun berbayar. Melalui cara ini, para peneliti dapat memperkirakan TF – *binding site* apa saja yang berada di promotor gen yang diteliti dan berfungsi di sistem yang mana. Selanjutnya, para peneliti akan melakukan tes secara bio-molekuler yaitu dengan mengamati kerja promotor tersebut secara langsung di dalam sel (*in vivo*) atau di dalam sistem yang menyerupai sel hidup (*in vitro*). Beberapa contoh penelitian tentang fungsi promoter gen di dunia medis ditampilkan dalam **Tabel 1**. Hasil penelitian promotor gen di tanaman dapat diaplikasikan berupa penggunaan promotor gen dari suatu spesies tanaman yang resisten terhadap berbagai cekaman untuk menginisiasi ekspresi gen-gen pertahanan di spesies berbeda. Hal ini dapat membantu meningkatkan produksi saat kondisi kultivasi tidak terlalu menguntungkan.

Tabel 1. Penelitian di bidang medis dengan fokus pada analisis promotor gen yang berpengaruh di beberapa penyakit kronis.

Literatur	Hasil penelitian
Nadel <i>et al.</i> , 1996	Kematian dalam kasus penyakit meningitis dapat berhubungan dengan variasi pada promotor gen tumor nekrosis faktor- α
Miyazoe <i>et al.</i> , 2002	Polimorfisme pada promotor gen interleukin-10 memiliki pengaruh terhadap semakin parahnya kondisi penderita kronis hepatitis B
Chen <i>et al.</i> , 2002	Polimorfisme mikrosatelit pada promotor gen heme oxygenase-1 dapat berpengaruh pada kerentanan penderita diabetes terhadap penyakit jantung koroner
Bullido and Valdivieso, 2000	Polimorfisme pada gen alipoprotein E berperan dalam kerentanan seseorang untuk menderita penyakit Alzheimer
Baugh <i>et al.</i> , 2002	Polimorfisme fungsional pada promotor gen <i>macrophage migration inhibitory factor</i> (MIF) dapat mempengaruhi tingkat keparahan penyakit rheumatoid arthritis

Berdasarkan paparan di atas dapat disimpulkan bahwa peran promotor gen sangat vital dalam menentukan waktu dan tempat ekspresi suatu gen. Semua bagian dari suatu promotor memiliki fungsi masing-masing yang saling melengkapi dalam menginisiasi transkripsi gen. Adapun bagian penting dalam promotor yang dapat berfungsi sebagai sensor kebutuhan ekspresi gen di dalam sel yaitu TF – *binding site*. Bagian ini secara spesifik dapat berikatan dengan TF yang dihasilkan sebagai respon akan kondisi yang sedang dialami oleh sel. Dengan demikian, penelitian mengenai berbagai promotor gen di bermacam organisme dapat membantu pengembangan pengetahuan di bidang kesehatan dan pangan.

DAFTAR REFERENSI

- Baugh, J., Chitnis, S., Donnelly, S., Monteiro, J., Lin, X., Plant, B., Wolfe, F., Gregersen, P. & Bucala, R. 2002. A functional promoter polymorphism in the macrophage migration inhibitory factor (MIF) gene associated with disease severity in rheumatoid arthritis. *Genes and immunity*, 3, 170-176.
- Bullido, M. J. & Valdivieso, F. 2000. Apolipoprotein E gene promoter polymorphisms in Alzheimer's disease. *Microscopy research and technique*, 50, 261-267.
- Chen, Y.-H., Lin, S.-J., Lin, M.-W., Tsai, H.-L., Kuo, S.-S., Chen, J.-W., Charng, M.-J., Wu, T.-C., Chen, L.-C. & Ding, P. 2002. Microsatellite polymorphism in promoter of heme oxygenase-1 gene is associated with susceptibility to coronary artery disease in type 2 diabetic patients. *Human genetics*, 111, 1-8.
- Collier, D. A., Arranz, M. J., Li, T., Mupita, D., Brown, N. & Treasure, J. 1997. Association between 5-HT_{2A} gene promoter polymorphism and anorexia nervosa. *The Lancet*, 350, 412.
- Ferreira, R. B., Monteiro, S., Freitas, R., Santos, C. N., Chen, Z., Batista, L. M., Duarte, J., Borges, A. & Teixeira, A. R. 2007. The role of plant defence proteins in fungal pathogenesis. *Mol Plant Pathol*, 8, 677-700.
- Gasch, P., Fundinger, M., Muller, J. T., Lee, T., Bailey-Serres, J. & Mustroph, A. 2016. Redundant ERF-VII Transcription Factors Bind to an Evolutionarily Conserved cis-Motif to Regulate Hypoxia-Responsive Gene Expression in Arabidopsis. *The Plant Cell*, 28, 160-80.
- Kutach, A. K. & Kadonaga, J. T. 2000. The downstream promoter element DPE appears to be as widely used as the TATA box in Drosophila core promoters. *Mol Cell Biol*, 20, 4754-64.
- Licausi, F., Kosmacz, M., Weits, D. A., Giuntoli, B., Giorgi, F. M., Voesenek, L. A. C. J., Perata, P. & Van Dongen, J. T. 2011. Oxygen Sensing in Plants is Mediated by an N-end Rule Pathway for Protein Destabilization. *Nature*, 479, 419-423.
- Mann, J. J., Huang, Y., Underwood, M., Kasir, S. A., Oppenheim, S., Kelly, T., Dwork, A. J. & Arango, V. 2000. A serotonin transporter gene promoter polymorphism (5-HTTLPR) and prefrontal cortical binding in major depression and suicide. *Archives of General Psychiatry*, 57, 729-738.



- Miyazoe, S., Hamasaki, K., Nakata, K., Kajiya, Y., Kitajima, K., Nakao, K., Daikoku, M., Yatsunami, H., Koga, M. & Yano, M. 2002. Influence of interleukin-10 gene promoter polymorphisms on disease progression in patients chronically infected with hepatitis B virus. *The American journal of gastroenterology*, 97, 2086-2092.
- Müller, M. & Munné-Bosch, S. 2015. Ethylene Response Factors: A Key Regulatory Hub in Hormone and Stress Signaling. *Plant Physiology*, 169, 32-41.
- Nadel, S., Newport, M. J., Booy, R. & Levin, M. 1996. Variation in the tumor necrosis factor- α gene promoter region may be associated with death from meningococcal disease. *Journal of Infectious Diseases*, 174, 878-880.
- Pelham, H. R. 1982. A regulatory upstream promoter element in the *Drosophila* hsp 70 heat-shock gene. *Cell*, 30, 517-528.
- Schwechheimer, C. & Deng, X. W. 2000. The COP/DET/FUS proteins-regulators of eukaryotic growth and development. *Semin Cell Dev Biol*, 11, 495-503.
- Smale, S. T. & Kadonaga, J. T. 2003. The RNA polymerase II core promoter. *Annual Review Biochemistry* 72, 449-479.
- Turner, P. C., McLennan, A. G., Bates, A. D. & M.R.H., W. 2000. *Instant Notes, Molecular Biology*, Hong Kong, Springer-Verlag.
- Xi, H., Yu, Y., Fu, Y., Foley, J., Halees, A. & Weng, Z. 2007. Analysis of overrepresented motifs in human core promoters reveals dual regulatory roles of YY1. *Genome research*, 17, 798-806.

BIOGRAFI PENULIS

Karlia Meitha



Karlia Meitha menyelesaikan pendidikan S1 di jurusan Biologi dan S2 Bioteknologi, pada tahun 2006 dan 2010, di Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati – Institut Teknologi Bandung. Kecintaannya terhadap penelitian di bidang molekuler dan fisiologi tanaman telah mengarahkannya untuk menekuni riset S3 di bidang pengembangan tanaman sebagai sumber pangan, di The University of Western Australia, Perth. Secara lebih spesifik, Meitha memiliki keahlian di penelitian yang bertujuan untuk menganalisa fungsi biologis sel tanaman dalam masa perkembangan, pematangan, maupun menghadapi cekaman. Selain aktifitasnya di bidang Sains, Meitha juga aktif terlibat di organisasi mahasiswa Indonesia di Australia (AIPSSA) dan pernah menjabat sebagai bendahara (2014) dan wakil ketua (2015).

Optimalisasi Perkembangan Karir Generasi Muda Indonesia di bidang STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*)

Suatu Alternatif Meningkatkan Daya Saing Bangsa

Dian Ratna Sawitri¹

¹Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang Semarang 50275

email: ¹dian.r.sawitri@mail.com

Abstrak

Merosotnya peringkat daya saing global Indonesia dari 34 pada tahun 2014-2015 menjadi 37 pada tahun 2015-2016 diantara 144 negara menurut laporan World Economic Forum, serta rendahnya kesiapan teknologi dan pilar inovasi, mengindikasikan kondisi yang memprihatinkan. Beberapa indikator daya saing yang melemah diantaranya adalah kurangnya ketersediaan teknologi mutakhir, lemahnya transfer teknologi, rendahnya ketersediaan ilmuwan (scientist) dan insinyur (engineers), serta lemahnya kapasitas untuk melakukan inovasi. Fakta ini mendorong peneliti untuk mengambil perspektif psikologi karir dalam usaha memecahkan masalah bangsa dengan meneliti model perkembangan karir generasi muda Indonesia yang bergerak di bidang STEM (science, technology, engineering, and mathematics). Penelitian diperlukan untuk dilakukan dalam 2 Studi. Pada Studi 1, perlu dilakukan penelitian mengenai model perkembangan karir ilmuwan muda Indonesia (25 – 45 tahun) yang bergerak di bidang STEM. Peneliti lebih lanjut akan menggunakan model perkembangan karir ilmuwan muda yang ditemukan dalam tahap satu sebagai dasar penelitian Studi 2, yaitu pengembangan intervensi yang efektif untuk meningkatkan aspirasi karir mahasiswa yang menekuni bidang STEM. Selanjutnya peneliti akan lanjut pada Studi 3 untuk mendesain intervensi karir dalam rangka menumbuhkan aspirasi siswa SMA untuk menekuni bidang STEM. Dalam Studi 1, survei kuantitatif dilakukan dengan melibatkan variabel-variabel yang terkait dengan diri individu, keluarga, dan lingkungan kerja, dan wawancara kualitatif diperlukan untuk eksplorasi lebih dalam. Hasil survei kuantitatif akan diuji dengan structural equation modeling untuk mendapatkan model teoretis, sementara hasil penelitian kualitatif akan diinterpretasi untuk melengkapi gambaran perkembangan karir ilmuwan muda Indonesia. Hasil yang akan dicapai di Studi 1 adalah model teoretik perkembangan karir. Studi 2 dan 3 perlu mengaplikasikan desain penelitian eksperimen untuk menguji efektivitas intervensi perkembangan karir mahasiswa dan siswa SMA di bidang STEM. Hasil yang akan dicapai di dua dan tiga berupa model intervensi karir masing-masing untuk mahasiswa dan siswa SMA untuk menekuni bidang STEM. Rekomendasi untuk ilmuwan muda, mahasiswa, dan siswa SMA serta para guru, orang tua, dan pengambil kebijakan terkait serta saran untuk peneliti selanjutnya dapat dirumuskan berdasarkan hasil penelitian ini.

Kata kunci: Perkembangan Karir, Generasi Muda, Ilmuwan Muda Indonesia, STEM, mahasiswa, siswa SMA



Abstract

According to the World Economic Forum, Indonesia's global competitiveness index reached 34 in 2014-2015. However, during 2015-2016, it decreases to be 34 out of 144. Simultaneously, low technological readiness and innovation make the condition even worse. Several indicators of competitiveness are also weak such as the availability of latest technology, technology transfer, availability of scientists and engineers, and capacity for innovation. These facts demonstrate the need to take a career psychology perspective in trying to solve the problem of our country by examining the theoretical model of young Indonesian scientists (25-45 years of age) in STEM (science, technology, engineering, and mathematics) areas. Researcher will use the career development model of young scientists examined in study one as a foundation to create effective intervention to enhance career aspirations of undergraduate students in STEM areas in study two. Researcher will also continue to the third study to design career intervention to cultivate career interests of high school students in STEM areas. In study one, researcher will use quantitative method which involve several personal related variables, family-related variables, and work environment-related variables. Findings from quantitative study will be analyzed using structural equation modeling to test the theoretical model. Researchers will also conduct qualitative interview to deeply explore the results from the quantitative analysis. Findings from qualitative study will be interpreted carefully to complete the dynamics of career development of Indonesian young scientists in STEM areas. Study one will yield a theoretical career development model. Study two and three will use experimental design to investigate the effectiveness of career development intervention program to enhance career aspirations of undergraduate students in STEM areas and to encourage high school students to be interested in developing career aspirations in STEM areas. Recommendations for young Indonesian scientists, undergraduate students, high school students, teachers, parents, and policy makers, and suggestions for future researchers will be discussed based on the findings of these three-study project.

Keywords: *Career Development, Young Generation, Young Indonesian Scientists, STEM, Undergraduate Students, High School Students*

1. PENDAHULUAN

Laporan dari World Economic Forum menunjukkan bahwa pada tahun 2015-2016 peringkat daya saing global Indonesia merosot dari 34 ke 37 dari 144 negara. Dari laporan tertangkap pula rendahnya kesiapan teknologi dan pilar inovasi, yang mengindikasikan kondisi bangsa yang memprihatinkan. Indikator-indikator daya saing yang melemah juga meliputi kurangnya ketersediaan teknologi mutakhir, lemahnya transfer teknologi, rendahnya ketersediaan ilmuwan (scientist) dan insinyur (engineers), serta lemahnya kapasitas anak bangsa untuk melakukan inovasi. Fakta ini mendorong peneliti untuk mengambil perspektif psikologi karir untuk berkontribusi dalam memecahkan masalah bangsa, dengan meneliti model perkembangan karir generasi muda Indonesia dan merancang intervensi karir yang

efektif untuk meningkatkan aspirasi karir di bidang STEM. Pada Studi 1, penelitian dilakukan pada ilmuwan muda Indonesia (25 – 45 tahun) yang bergerak di bidang STEM. Peneliti lebih lanjut akan menggunakan model perkembangan karir ilmuwan muda Indonesia yang ditemukan dalam studi 1 tersebut sebagai dasar penelitian tahap dua, yaitu pengembangan intervensi yang efektif untuk meningkatkan aspirasi karir mahasiswa yang menekuni bidang STEM pada studi 2. Selanjutnya, peneliti akan lanjut pada studi 3 untuk mendesain intervensi karir dalam rangka menumbuhkan aspirasi siswa SMA untuk menekuni bidang STEM.

Penelitian yang terdiri dari 3 studi ini secara spesifik bertujuan untuk: (a) menguji model teoretik perkembangan karir ilmuwan muda di bidang STEM; (b) merancang *research-based career intervention* untuk meningkatkan aspirasi karir mahasiswa dalam bidang STEM; dan (c) mendesain *research-based career intervention* berikutnya untuk menumbuhkan minat siswa SMA untuk menekuni bidang STEM. Manfaat penelitian ini adalah agar model teoretik dapat dijadikan kerangka acuan dalam melakukan intervensi karir; (b) intervensi karir yang didesain berdasarkan penelitian ini dapat digunakan oleh berbagai pihak terkait untuk meningkatkan aspirasi karir mahasiswa dalam bidang STEM dan untuk memupuk minat siswa SMA pada untuk menekuni bidang STEM; dan (c) hasil penelitian diharapkan dapat berkontribusi dalam mempersiapkan generasi muda Indonesia untuk inovatif dalam berkarya dan lebih banyak yang terjun dalam bidang STEM agar daya saing Indonesia di kancah dunia meningkat.

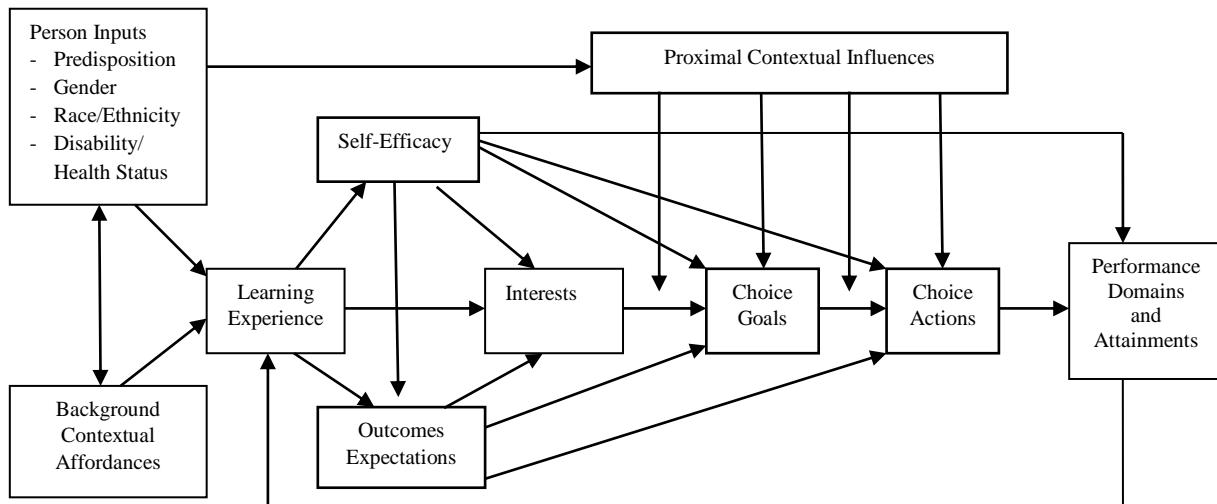
2. PERKEMBANGAN KARIR DARI PERSPEKTIF *SOCIAL COGNITIVE CAREER THEORY*

Penelitian-penelitian di negara-negara Barat seperti di Amerika Serikat dan Australia mengenai model perkembangan karir baik siswa SMA maupun mahasiswa dan profesional di bidang STEM telah banyak menggunakan *Social Cognitive Career Theory* (Lent et al., 1994, 2000), sebagai kerangka teoretiknya. Gambar 1 menunjukkan pembentukan minat, cita-cita, dan perilaku karir berdasarkan *Social Cognitive Career Theory*.

Social Cognitive Career Theory dikembangkan oleh Lent et al. (1994) dengan memodifikasi dan mengembangkan *Social Cognitive Theory* dari Bandura (1986) untuk dipakai dalam menjelaskan dinamika perilaku di bidang karir (Lent, Brown, & Hackett, 2002). *Social Cognitive Theory* menjelaskan perilaku manusia dari sudut pandang *Triadic Reciprocity* (Bandura, 1986). Dalam model. Dalam *Triadic Reciprocal Causation Model* (Bandura, 1986), ada tiga faktor yang saling mempengaruhi satu sama lain, yaitu faktor kognitif dan faktor personal lainnya seperti kondisi emosi dan fisik, pengaruh lingkungan, dan perilaku yang muncul pada diri individu. Hubungan saling mempengaruhi ini tidak terjadi secara simultan, karena hubungan saling mempengaruhi ini membutuhkan waktu. Ide mengenai *personal agency* sebagai determinan merupakan hal penting dari *Social Cognitive Theory*. *Personal agency* merupakan kapasitas individu untuk secara sengaja memilih, melakukan, dan mengatur perilakunya untuk mengaktualisasikan apa yang diinginkannya (Bandura, 1997). Perspektif ini menunjukkan bahwa individu tidak hanya bereaksi



terhadap pengaruh eksternal, namun juga proaktif dan mampu meregulasi dirinya sendiri (Bandura, 1999). Dengan kata lain, individu menjadi “produk” sekaligus “produsen” bagi lingkungannya (Bandura, 2000; Wood & Bandura, 1989), dan *self-efficacy* memegang peranan penting. Menurut Bandura (1982), tujuan yang akan dicapai, tindakan yang dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut, persistensi dalam mencapainya, serta pikiran dan perasaan ketika melakukannya dipengaruhi oleh *self-efficacy*. Pengaruh eksternal mempengaruhi individu secara tidak langsung melalui *self-efficacy* (Bandura, 1999).



Gambar 1. Faktor-faktor personal, kontekstual, and pengalaman yang mempengaruhi perkembangan perilaku pemilihan karir. Disadur dari Lent et al (1994).

Social Cognitive Career Theory (Lent et al., 1994) memberikan gambaran bahwa faktor-faktor personal, seperti jenis kelamin, kapasitas inteligensi, etnis, kondisi kesehatan, disabilitas, bersama dengan faktor background contextual yaitu kondisi lingkungan yang sudah ada sebelum masa aktif pengambilan keputusan karir, misalnya status sosial ekonomi, bersama-sama membentuk pengalaman belajar, yang pada akhirnya mempengaruhi terbentuknya *self-efficacy* yaitu keyakinan diri individu dalam mengambil keputusan-keputusan dalam domain tertentu, yang dalam hal ini adalah dalam mengambil keputusan-keputusan yang terkait dengan karir. *Self-efficacy* terbentuk melalui empat sumber utama, yaitu *performance accomplishment* atau prestasi individu, *vicarious learning* atau belajar secara tidak langsung dari mengamati orang lain atau role model yang relevan, persuasi sosial atau dukungan sosial dari lingkungan terdekat, dan kondisi psikologis yang bebas dari rasa cemas.

Misalnya, individu memiliki kapasitas inteligensi di atas rata-rata dan kondisi kesehatan yang baik, ia pun memiliki latar belakang ekonomi yang memungkinkannya menempuh pendidikan di bidang science. Hal ini akan memberikannya pengalaman belajar yang kemudian mendorong terbentuknya keyakinan pada diri individu bahwa ia mampu mengambil keputusan-keputusan yang terkait dengan hal-hal akademik dan karir, seperti memilih untuk mengambil jurusan Biologi ketika kuliah.

Keyakinan dalam mengambil keputusan karir yang terpupuk ini kemudian memberikan *positive outcome expectations* atau harapan karir yang positif pada diri individu mengenai apa yang akan diraihinya dengan menekuni jurusan Biologi. Misalnya, dengan menjadi ilmuwan di bidang Biologi, ia bisa mendapatkan pekerjaan yang layak, memperoleh beragam *research grant*, mendapatkan status sosial yang tinggi, dan benefit lainnya. Secara mandiri atau bersama-sama dengan keyakinan pengambilan keputusan karir, *outcome expectations* ini mengarahkan pada pembentukan minat yang kuat untuk menjadi ilmuwan Biologi, dan mengarah pada meningkatnya cita-cita atau aspirasi yang kuat untuk menjadi ilmuwan di bidang Biologi.

Selanjutnya, ketika didukung dengan *proximal contextual influences*, yaitu dukungan lingkungan yang bisa diakses pada masa aktif pengambilan keputusan karir, misalnya orang tua memfasilitasi minatnya dengan membelikan buku-buku pendukung dan memberikan persetujuan akan bidang yang ditekuninya, perjalanan dari minat ke aspirasi ini semakin mulus, dan peralihan dari aspirasi ke terbentuknya *choice action*, atau perilaku yang terkait langsung dengan pemilihan karir seperti keterlibatan dalam eksplorasi dan perencanaan karir juga semakin lancar. Misalnya individu semakin getol untuk mengikuti seminar terkait dengan bidang yang ditekuni, mencari informasi untuk mendapatkan beragam beasiswa untuk studi lanjut di bidangnya, dan perilaku lain yang relevan. *Career choice action* inilah yang pada akhirnya mengarahkan individu untuk menunjukkan *performance accomplishment* yang tinggi, misalnya individu tergolong berprestasi dalam bidangnya.

Pada akhirnya, kesuksesan atau kegagalan pada suatu bidang akan mengarahkan individu untuk merevisi *self-efficacy* dan *outcome expectations*, yang pada akhirnya akan mengarah pada perubahan minat dan cita-cita yang ingin dicapainya. Dengan kata lain, pengalaman, aktivitas yang dilakukan, paparan langsung maupun tidak langsung terhadap beragam kemungkinan karir, akan mengarahkan pada keyakinan individu akan kemampuan yang dimilikinya, yang mengakibatkan minat dan tujuan yang ingin dicapainya mengalami kristalisasi dari waktu ke waktu.

Social Cognitive Career Theory paling tepat digunakan untuk menjelaskan perkembangan minat, cita-cita, dan perilaku yang terkait dengan pencapaian karir karena: (a) Model ini memisahkan konsep *goals* (tujuan) dan *actions* (perilaku untuk mencapai tujuan). Partisi ini bermanfaat untuk menjelaskan fungsi *personal agency* dalam pengambilan keputusan karir, menggarisbawahi pentingnya *goals*, dan memperjelas tahapan pengambilan keputusan karir agar intervensi yang diperlukan tepat sasaran (Lent et al., 1994); (b) Model ini dapat menjelaskan pengaruh *proximal contextual influences* pada *goals* dan *actions* (Lent et al., 2000); (c) Model ini dapat digunakan sebagai kerangka acuan untuk hubungan timbal balik antar variabel. Misalnya setelah memilih jurusan Biologi, mahasiswa berpeluang merasa kesulitan dalam mengikuti beberapa mata kuliah. Seberapa baik ia mampu mengikuti perkuliahan atau hasil eksplorasinya pada area karir yang terkait akan mengarahkan pada perubahan tingkat *self-efficacy* dan *outcome expectations* yang mengakibatkan berubahnya *goals*, tujuan cita-citanya. Hal ini dapat mengakibatkan mahasiswa tersebut berganti jurusan (Lent & Hackett, 1994).



3. CONTOH APLIKASI *SOCIAL COGNITIVE CAREER THEORY* DALAM PENELITIAN MENGENAI PERKEMBANGAN KARIR INDIVIDU DALAM BIDANG *STEM*

Lent, Sheu, Goster, dan Wilkins (2010) meneliti kaitan antara *proximal contextual influences* yang terdiri dari dukungan dan hambatan yang dirasakan dari orang tua, teman, dan orang penting lainnya dalam kehidupan individu dalam sebuah model longitudinal. Para peneliti melibatkan 116 mahasiswa di awal kuliah di jurusan engineering dua kali dengan pengambilan data pertama dan kedua berjarak lima bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data mendukung terujinya model bi-directional, yang menunjukkan bahwa *self-efficacy* berfungsi sebagai pemicu terbentuknya *outcome expectations*, minat, persistensi cita-cita, and dukungan-dukungan yang dirasakan individu pada jangka panjang. Minat dan *self-efficacy* ditemukan berkorelasi secara resiprokal, *self-efficacy* pada pengambilan data pertama mempengaruhi terbentuknya minat dan *outcome expectations* pada pengambilan data kedua, dan *outcome expectations* and minat pada pengambilan data pertama mempengaruhi terbentuknya *self-efficacy* pada pengambilan data kedua. Demikian halnya dengan dukungannya yang menjadi prediktor jangka panjang yang menentukan persistensi cita-cita untuk menekuni bidang engineering. Meskipun demikian dukungan dan hambatan tidak memprediksi *self-efficacy* pada jangka panjang.

Selanjutnya Byars-Winston, Estrada, Howard, Davis, and Zalapa (2010) meneliti minat akademik dan cita-cita pada 223 mahasiswa di Amerika Serikat dari beragam latar belakang budaya, dari jurusan *biological science* dan *engineering*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa persepsi positif terhadap iklim kampus secara tidak langsung berhubungan dengan cita-cita mahasiswa melalui *self-efficacy*. Byars-Winston et al. juga menemukan bahwa *outcome expectations* secara signifikan mengarah pada terbentuknya minat karor dan cita-cita untuk menekuni karir di bidang *biological science* dan *engineering*. Pada tahun berikutnya, Lent, Lopez, Sheu, and Lopez (2011) melakukan penelitian pada 1404 mahasiswa dari beragam jurusan yang terkait dengan ilmu dan aplikasi computer dari beragam universitas di Amerika Serikat untuk membuktikan aplikasi *Social Cognitive Career Theory* pada sampel besar dengan sampel dari beragam ras dan wilayah di Amerika Serikat. Hasilnya menunjukkan bahwa dukungan sosial dan hambatan yang dirasakan individu mengarah pada terbentuknya *self-efficacy* yang kemudian mempengaruhi intensinya untuk tetap menekuni jurusan komputer. Kemudian penelitian terkini mereview penelitian-penelitian yang menggunakan *social cognitive career theory* as a sebagai kerangka acuan untuk menjelaskan faktor-faktor yang mendukung dan menghambat pilihan karir di bidang *STEM* pada wanita dan individu yang berasal dari kelompok etnis minoritas. Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada pengambilan keputusan karir awal yaitu pada masa SMA atau sebelumnya dan pilihan karir yang di tetapkan pada masa sesudahnya yaitu pada masa kuliah dan awal karir (Fouad & Santana, 2016).

Sementara penelitian pada professional dilakukan oleh Singh et al (2016) pada 2042 insinyur wanita di Amerika Serikat. Hasilnya menunjukkan bahwa kesempatan untuk berkembang di tempat kerja merupakan sumber utama *self-efficacy* dan *outcome expectations*, yang pada akhirnya megarahkan pada terbentuknya sikap kerja yang positif. Kondisi ini membuka peluang pada individu untuk

merasakan kepuasan kerja yang lebih tinggi dan melemahnya niat untuk berhenti dari pekerjaannya.

4. PENELITIAN MENGENAI PERKEMBANGAN KARIR SISWA SMA DAN MAHASISWA INDONESIA BERBASIS *SOCIAL COGNITIVE CAREER THEORY*

Penelitian mengenai perkembangan aspirasi karir dan perilaku karir siswa SMA dan mahasiswa Indonesia dapat berkembang lebih terfokus pada perkembangan karir secara umum, dan belum menyentuh secara khusus dinamika dalam bidang STEM (Sawitri, 2010; Sawitri, Creed, & Zimmer-Gembeck, 2014; Sawitri, Creed, & Zimmer-Gembeck, 2015; Sawitri & Creed, 2015; Sawitri & Creed, 2016). Misalnya, penelitian Sawitri (2010) menunjukkan bahwa semakin berhasil siswa SMA melakukan eksplorasi identitas atau mencapai identity achievement, maka semakin besar *self-efficacy* atau keyakinannya untuk mengambil keputusan-keputusan yang terkait dengan hal akademik dan karir. Selanjutnya, keyakinan diri yang tinggi tersebut dapat mengurangi kebimbangan dalam menentukan langkah untuk masa depan.

Selanjutnya pada tahun 2013, Sawitri, Creed, dan Zimmer-Gembeck mendesain suatu alat ukur bernama *Adolescent-Parent Career Congruence Scale* yang dirancang untuk mengukur konstruk psikologis baru mengenai seberapa jauh remaja merasakan adanya kongruensi dalam hal karir antara dirinya dengan orang tuanya. Konsep ini meliputi dua aspek, yaitu *complementary congruence*, yaitu seberapa jauh remaja merasa bahwa pilihan karirnya didukung oleh orang tuanya, dan seberapa jauh remaja merasa bahwa ia mampu memenuhi harapan orang tuanya. Aspek yang kedua adalah *supplementary congruence*, yaitu seberapa jauh remaja memiliki kesamaan atau kemiripan dalam hal aspirasi, minat, dan preferensi karir dengan orang tuanya. Selanjutnya, kongruensi karir antara remaja dan orang tua telah diuji dalam beberapa model perkembangan karir secara umum pada siswa SMA maupun mahasiswa di Indonesia. Dalam penelitian cross-sectional pada siswa SMA kelas 10, Sawitri, Creed, dan Zimmer-Gembeck (2014) membuktikan bahwa dibandingkan dengan ekspektasi orang tua, kongruensi karir antara remaja dan orang tua memiliki kontribusi lebih besar pada perkembangan keyakinan diri siswa dalam mengambil keputusan-keputusan yang terkait dengan karir. Pada akhirnya keyakinan diri yang tinggi menjadikan para siswa memiliki aspirasi karir yang lebih tinggi. Sementara, siswa akan lebih terlibat dalam kegiatan perencanaan dan eksplorasi karir ketika ia merasakan kongruensi karir yang tinggi, memiliki kepercayaan diri yang kuat, merasakan adanya harapan yang tinggi dari orang tuanya, dan memiliki aspirasi yang tinggi pula. Penelitian Sawitri dkk (2014) tersebut menggunakan metode survei kuantitatif dan hipotesis penelitian dikembangkan berdasarkan *Social Cognitive Career Theory* (Lent et al., 1994, 2000), yang telah digunakan secara luas di area perkembangan karir. Meskipun menunjukkan pentingnya kongruensi karir orang tua dan anak remajanya, dan memberikan gambaran mengenai dinamika perkembangan karir siswa SMA, penelitian tersebut belum secara spesifik menguji apakah hubungan antar variabel dalam model teoretik tersebut juga berlaku dalam menjelaskan perkembangan aspirasi karir siswa di bidang STEM.

Peran kongruensi karir antara remaja dan orang tua dalam perkembangan aspirasi serta dalam



mendukung keterlibatan remaja untuk melakukan perencanaan dan eksplorasi karir juga terbukti dalam penelitian longitudinal yang dilakukan Sawitri, Creed, dan Zimmer-Gembeck (2015) dengan metode survei kuantitatif pada 1062 siswa SMA kelas 10 yang diikuti perkembangannya selama 6 bulan, sampai dengan mereka duduk di kelas 11. Hasilnya menunjukkan bahwa siswa yang memiliki orang tua berpengharapan tinggi cenderung memiliki aspirasi karir yang juga tinggi dan perencanaan karir yang lebih matang di kemudian hari. Hal ini menunjukkan pentingnya peran harapan dari orang tua dalam perkembangan karir siswa dalam jangka pendek, misalnya 6 bulan. Aspirasi karir yang dimiliki siswa pun mendorongnya untuk lebih lanjut terlibat dalam eksplorasi karir pada masa selanjutnya. Sementara, siswa yang merasakan kongruensi yang tinggi antara dirinya dan orang tuanya cenderung lebih terlibat dalam eksplorasi karir di pada masa selanjutnya untuk mencari informasi mengenai dunia kerja maupun kelebihan dan kelemahan dirinya. Perencanaan karir yang matang dan eksplorasi karir yang optimal kedepannya akan menjadi bekal bagi siswa untuk memiliki kepercayaan diri yang tinggi dalam mengambil keputusan-keputusan karir.

Sementara itu penelitian Sawitri dan Creed (2015) menunjukkan bahwa siswa yang memiliki *mastery goal orientation* yang tinggi, yaitu yang mempelajari sesuatu atau mengikuti pelajaran di sekolah karena ingin betul-betul memahami, cenderung memiliki aspirasi karir yang tinggi jika mereka merasakan kongruensi karir yang tinggi dengan orang tuanya. Jika kongruensi karirnya rendah aspirasi karir tidak dapat berkembang optimal meskipun mereka memiliki *mastery goal orientation* tinggi. Sementara siswa dengan tingkat *performance prove goal orientation* yang tinggi cenderung mengikuti pelajaran di sekolah hanya untuk membuktikan kepada orang lain bahwa ia mampu. Akibatnya, aspirasi karirnya tidak dapat berkembang setinggi siswa dengan *mastery goal orientation* yang tinggi. Siswa dengan kecenderungan *performance prove goal orientation* yang berorientasi untuk dapat berprestasi melebihi orang lain akan lebih keras berusaha untuk mendapatkan persetujuan dari orang tuanya, namun ketika telah mencapai congruence, mereka merasa tidak perlu lagi memiliki aspirasi karir yang tinggi. Penelitian terkini dari Sawitri dan Creed (2016) menunjukkan bahwa tipe orientasi budaya kolektivistik siswa SMA menentukan tingkat kongruensi karirnya dengan orang tua, dan hal ini mempengaruhi tinggi rendahnya keyakinan individu dalam mengambil keputusan-keputusan karir, yang pada akhirnya akan menentukan seberapa tinggi ia memiliki aspirasi karir. Orientasi budaya horizontal kolektivistik berkontribusi lebih besar daripada orientasi budaya vertikal kolektivistik dalam membentuk kongruensi karir antara individu dengan orang tuanya, yang pada akhirnya mengarahkan individu untuk memiliki aspirasi karir yang lebih tinggi. Individu yang memiliki orientasi budaya horizontal kolektivistik cenderung menganggap orang tua merupakan sosok penting dalam perkembangan karirnya dan cenderung dianggap memiliki kedudukan setara. Hal ini memudahkan mereka untuk menjalin komunikasi mengenai preferensi karir dan kebutuhan untuk didukung, sehingga lebih memudahkan mereka untuk mencapai kongruensi dengan orang tuanya.

Sementara itu, penelitian Sawitri dan Dewi (2015) pada mahasiswa menunjukkan bahwa kesesuaian individu dengan kegiatan akademik di kampus memudahkannya dalam mencapai kongruensi karir

dengan orang tuanya, dan kedua hal ini mengarahkan pada terbentuknya aspirasi akir yang tinggi. Fakta ini menggarisbawahi pentingnya kesesuaian antara minat individu dengan kegiatan akademik yang diikuti di kampus dalam menyesuaikan diri dengan harapan orang tua dan dimilikinya cita-cita karir yang tinggi. Kemudian penelitian terkini dari Sawitri dan Fouad (2016) menunjukkan dinamika yang berbeda dari kongruensi karir individu dan orang tuanya menuju pada terbentuknya self-efficacy, eksplorasi karir dan kepuasan hidup pada mahasiswa Indonesia dan Amerika Serikat. Meskipun demikian, dari beragam penelitian yang telah ada, belum ada yang secara khusus perkembangan karir di bidang STEM, khususnya menyoroti perkembangan karir ilmuwan muda Indonesia dalam bidang STEM untuk kemudian menjadi masukan dalam mengembangkan intervensi karir bagi mahasiswa, dan siswa SMA.

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI UNTUK PENELITIAN MENDATANG

Aplikasi *Social Cognitive Career Theory* dalam beragam penelitian mengenai perkembangan karir telah digunakan di Indonesia untuk menjelaskan perilaku karir mahasiswa dan siswa SMA secara umum. Meskipun demikian, aplikasi khusus dalam bidang STEM sebagaimana penelitian-penelitian yang telah dilakukan di negara-negara lain belum pernah dilakukan. Bersamaan dengan keprihatinan pada rendahnya daya saing bangsa Indonesia diantara negara-negara lain di dunia, fakta ini mengarahkan pada suatu urgensi mengenai pentingnya penelitian mengenai perkembangan karir ilmuwan muda Indonesia dalam bidang STEM untuk mengetahui model teoritik perkembangan karir ilmuwan muda, yang pada akhirnya dapat menjadi dasar dirancangnya intervensi karir yang relevan dalam penumbuhan minat karir di bidang STEM untuk siswa SMA dan peningkatan aspirasi karir mahasiswa untuk menekuni karir di bidang STEM.

DAFTAR REFERENSI

- Bandura, A. (1982). The self and mechanisms of agency. In J. Suls (Ed.), *Psychological perspectives on the self* (Vol 1., pp. 3-39). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Bandura, A. (1999). Social cognitive theory of personality. In L. A. Pervin & O. P. John (Eds.), *Handbook of personality* (2nd ed., pp. 154-196). New York, NY: Guilford Press.
- Bandura, A. (2000). Exercise of human agency through collective efficacy. *Current Directions in Psychological Science*, 9, 75-78. doi:10.1111/1467-8721.00064
- Byars-Winston, A., Estrada, Y., Howard, C., Davis, D., & Zalapa, J. (2010). Influence of social cognitive and ethnic variables on academic goals of underrepresented students in science and engineering: A multiple-groups analysis. *Journal of Counseling Psychology*, 57, 205-218. doi:10.1037/a0018608
- Fouad, N. A., & Santana, M. C. (2016). SCCT and underrepresented populations in STEM fields:



- Moving the needle. *Journal of Career Assessment*, Advanced online publication. doi:10.1177/1069072716658324
- Lent, R. W., Brown, S. D., & Hackett, G. (1994). Toward a unifying social cognitive theory of career and academic interest, choice, and performance. *Journal of Vocational Behavior*, 45, 79-122. doi:10.1006/jvbe.1994.1027
- Lent, R. W., Brown, S. D., & Hackett, G. (2000). Contextual supports and barriers to career choice: A social cognitive analysis. *Journal of Counseling Psychology*, 47, 36-49. doi:10.1037//0022-0167.47.1.36
- Lent, R. W., & Hackett, G. (1994). Sociocognitive mechanisms of personal agency in career development: Pantheoretical prospects. In M. L. Savickas & R. W. Lent (Eds.), *Convergence in career development theories: Implications for science and practice* (pp. 77-101). Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press, Inc.
- Lent, R. W., Lopez, F. G., Sheu, H., & Lopez, A. M. (2011). Social cognitive predictors of the interests and choices of computing majors: Applicability to underrepresented students. *Journal of Vocational Behavior*, 78, 184-192. doi: 10.1016/j.jvb.2010.10.006
- Lent, R. W., Sheu, H., Gloster, C. S., & Wilkins, G. (2010). Longitudinal test of the social cognitive model of choice in engineering students at historically Black universities. *Journal of Vocational Behavior*, 76, 387-394. doi:10.1016/j.jvb.2009.09.002.
- Sawitri, D. R., & Creed, P. A. (2015). Perceived career congruence between adolescents and their parents as a moderator between goal orientation and career aspirations. *Personality and Individual Differences*, 81, 29-34. doi:10.1016/j.paid.2014.12.061
- Sawitri, D. R., & Dewi, K. S. (2015). Academic fit, adolescent-parent career congruence, and career exploration in university students. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 105-109. doi:10/1016/j.proenv.2015.01/016
- Sawitri, D. R., & Fouad, N. A. (2016). Career-related predictors of life satisfaction in Indonesian and U.S. undergraduate students: A cross-cultural study. *Journal of Vocational Behavior*. Under review.
- Sawitri, D. R., Creed, P. A., & Zimmer-Gembeck, M. J. (2013). The Adolescent-Parent Career Congruence Scale: Development and initial validation. *Journal of Career Assessment*, 21, 210-226. doi:10.1177/1069072712466723
- Sawitri, D. R., Creed, P. A., & Zimmer-Gembeck, M. J. (2014). Parental influences and adolescent career behaviours in a collectivist cultural setting. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 14, 161-180. doi:10.007/s10775-013-9247-x
- Sawitri, D. R., Creed, P. A., & Zimmer-Gembeck, M. J. (2015). Longitudinal relations of parental influences and adolescent career aspirations and actions in a collectivist society. *Journal of Research on Adolescence*, 25, 551-563. doi:10.1111/jora.12145
- Sawitri, D.R., & Creed, P. A. (2016). Collectivism and perceived congruence with parents as antecedents to career aspirations: A social cognitive perspective. *Journal of Career*

Development. Accepted 17 August 2016.

Singh, R., Fouad, N. A., Fitzpatrick, M. E., Liu, J. P., Cappaer, K. J., & Figueredo, C. (2013). Stemming the tide: Predicting women engineers' intention to leave. *Journal of Vocational Behavior*, 83, 281-294. doi:10.1016/j.jvb.2013.05.007

BIOGRAFI PENULIS

Dian Ratna Sawitri, S.Psi., M.Si., Ph.D



Dian Ratna Sawitri, S.Psi., M.Si., Ph.D saat ini adalah asisten profesor di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro. Ia memperoleh gelar sarjana psikologi dari Universitas Diponegoro pada tahun 2000, menyelesaikan pendidikan profesi psikolog pada 2002. Ia meraih magister sains dari Fakultas Psikologi Universitas Indonesia pada tahun 2008, dan Ph.D dari School of Applied Psychology, Griffith University, Australia pada tahun 2013. Area riset yang ditekuni adalah psikologi karir sepanjang rentang kehidupan, psikologi pendidikan, dan psikologi lintas budaya. Di waktu luang, ia suka menyanyi serta bermain dan mendengarkan musik.

Cetak Jari DNA pada Domba Garut

Aplikasi DNA mikrosatelit dalam Program Kampung Pemuliaan Domba Garut Program *Corporate Social Responsibility* (CSR) PT BIO FARMA (Persero)

Topik Hidayat¹, Fitri Rohmasari²

^{1,2}Departemen Pendidikan Biologi, FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi 229

Bandung

email : ¹topikhidayat@upi.edu

Abstrak

Ternak domba adalah ternak ruminansia kecil yang paling diminati oleh kelompok peternakan rakyat di Indonesia, dan salah satu yang terkenal adalah domba Garut. Domba Garut memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai sumber daging dan memiliki keunggulan unik yang dapat dijadikan daya tarik pariwisata daerah. Selama ini seleksi domba pejantan dilihat dari berbagai sifat kualitatif (bobot badan dan kualitas karkas) pada ternak masih dilakukan secara konvensional, yaitu melalui program seleksi sifat-sifat fenotipik yang pada umumnya kurang efektif karena memerlukan jumlah ternak yang banyak dan memerlukan waktu yang lama untuk menghasilkan pejantan unggul. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang pesat di bidang genetika molekuler dengan dilengkapinya genom domba dari waktu ke waktu diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan pada kemajuan dan perkembangan dunia peternakan khususnya pada program pemuliaan domba Garut. Studi literatur tentang pemanfaatan penanda DNA mikrosatelit menunjukkan bahwa sifat pertumbuhan pada domba Garut terletak pada kromosom 18, terutama terletak antara penanda DNA CSSMO18 (116-134 pasang basa) dan TMR1 (124-138 pasang basa). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi hewan ternak domba Garut Program *Corporate Social Responsibility* (CSR) PT BIO FARMA (Persero) menggunakan dua penanda mikrosatelit seperti disebutkan di atas, yaitu CSSMO18 dan TMR1. Karakterisasi DNA dilakukan terhadap 36 ekor domba Garut ditambah dengan 1 domba sayur dan 1 sapi sebagai kontrol. Ekstraksi DNA dilakukan dengan menggunakan sumber DNA yang berasal dari darah. Amplifikasi dilakukan menggunakan lokus penanda mikrosatelit CSSMO18 dan TMR1, dan kemudian dielektroforesis di atas gel agarose. Analisis hasil dilakukan berdasarkan kemunculan pita DNA hasil amplifikasi di atas gel agarose. Kemunculan pita DNA menunjukkan adanya penanda CSSMO18 (116-134 pasang basa) dan TMR1 (124-138 pasang basa) yang digunakan, yang artinya pada domba tersebut diperkirakan terkandung sifat-sifat unggul yang diharapkan. Hasil menunjukkan bahwa semua domba uji memiliki potensi sebagai domba unggul untuk produksi yang ditunjukkan oleh munculnya pita target untuk kedua penanda mikrosatelit yang digunakan, yaitu CSSMO18 dan TMR1. Berdasarkan penelitian ini disarankan bahwa kedua penanda mikrosatelit cocok digunakan oleh PT Bio Farma (Persero) untuk menyeleksi mana domba Garut yang unggul dan mana yang tidak.



Kata kunci: Cetak Jari DNA, Domba Garut, Mikrosatelit, Pemuliaan

Abstract

Sheep is small ruminants that is most in demand by farmers in Indonesia, and one of the famous is Garut sheep. Garut sheep has a good potential to be developed as a source of meat and has unique advantages that can be used as the attractiveness of local tourism. So far, the selection of the male is based upon various qualitative traits (body weight and carcass quality) which is generally less effective because it requires the number of animals and takes a long time to produce superior one. Rapid advances in science and technology in the field of molecular genetics is expected to contribute significantly to the progress and development of the world of farming, especially in Garut sheep breeding program. The literature studies on the use of microsatellite DNA markers indicates that the nature of growth in Garut sheep located on chromosome 18, mainly located between DNA markers CSSMO18 (116-134 base pairs) and TMR1 (124-138 base pairs). The purpose of this study was to characterize livestock Garut sheep Program Corporate Social Responsibility (CSR) PT BIO FARMA (Persero) using two microsatellite markers as mentioned above, namely CSSMO18 and TMR1. DNA characterization performed on 36 sheep Garut sheep plus two controls. DNA extraction was done by using a source of the DNA taken from blood. Amplification was performed using microsatellite marker loci CSSMO18 and TMR1, and then was electrophoresed on agarose gel. Analysis of the results conducted by the emergence of DNA amplification product on agarose gel. The emergence of DNA bands show their CSSMO18 markers (116-134 base pairs) and TMR1 (124-138 base pairs) are used, which means that the sheep is expected to be contained the expected traits. The results showed that all the sheep test has potential as a superior sheep for production indicated by the appearance of the target band for both microsatellite markers used. This study recommended PT Bio Farma (Persero) to use those two microsatellite markers for selecting which Garut sheep is superior and which one is not.

Keywords: *Breeding, DNA Fingerprinting, Garut Sheep, Microsatellite*

1. PENDAHULUAN

Ternak domba adalah ternak ruminansia kecil yang paling diminati oleh kelompok peternakan rakyat di Indonesia. Hal ini dikarenakan ternak ini sangat mudah pemeliharaannya. Ternak domba umumnya dipelihara untuk tujuan produksi daging dan sebagian kecil sebagai tabungan atau untuk hobi seperti fighting art pada domba Garut. Populasi ternak domba terus meningkat dari tahun 2003 (7.810.702) sampai 2007 (9.859.667), sementara produksi daging 2007 dari sapi potong dan kerbau 646,2 ribu ton; kambing dan domba 148,2 ribu ton (Margawati, 2005).

Salah satu jenis domba yang sering dijadikan hewan ternak adalah domba Garut. Domba Garut sudah turun temurun dipelihara di Indonesia, diduga merupakan persilangan dari domba merino, domba ekor gemuk (gibas) dan domba lokal parahyangan. Domba garut, baik jantan maupun betina merupakan

domba tipe penghasil daging. Domba Garut atau Priangan merupakan aset plasma nutfah Jawa Barat. Domba Garut memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai sumber daging dibandingkan domba lokal atau bangsa domba lain yang ada di Indonesia dan memiliki keunggulan unik yang dapat dijadikan daya tarik pariwisata daerah (Heriyadi *et al.*, 2002).

Selama ini seleksi domba pejantan dilihat dari berbagai sifat kuantitatif (bobot badan dan kualitas karkas) pada ternak masih dilakukan secara konvensional, yaitu melalui program seleksi sifat-sifat fenotipik yang pada umumnya kurang efektif karena memerlukan jumlah ternak yang banyak dan memerlukan waktu yang lama untuk menghasilkan pejantan unggul. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang cepat di bidang genetika molekuler dengan dilengkapinya genom domba dari waktu ke waktu (Crawford *et al.*, 1995; Maddox *et al.*, 2001, 2002) diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan pada kemajuan dan perkembangan dunia peternakan khususnya pada program pemuliaan domba lokal seperti Domba Garut.

Penanda DNA mikrosatelit merupakan penanda yang diperoleh dari urutan DNA pendek, berisi pengulangan 1-6 nukleotida serta jumlah ulangnya tidak lebih dari 100. Dibandingkan dengan penanda genetik lain seperti RAPD dan RFLP, penanda mikrosatelit memiliki kelebihan, di antaranya, yaitu sangat polimorfik, memiliki daya pembeda yang sangat tinggi, tersebar di seluruh genom eukariot, dan lokusnya yang pendek berkisar antara 20-300 pasang basa. Studi literatur tentang pemanfaatan penanda DNA mikrosatelit menunjukkan bahwa sifat pertumbuhan pada domba Garut terletak pada kromosom 18, terutama terletak antara penanda DNA CSSMOI8 dan TMR1 (Margawati, 2005).

Dengan adanya penelitian karakterisasi genetik pada populasi domba Garut PT BIO FARMA (Persero) diharapkan merupakan cara yang baik untuk mendapatkan bibit unggul dan meningkatkan kualitas. Dalam hal ini ternak dengan masa pertumbuhan yang cepat dan memiliki massa otot yang lebih besar sehingga dapat meningkatkan penghasilan ekonomi dan taraf kehidupan para peternak yang berada di kampung binaan PT BIO FARMA (Persero).

2. PENANDA MOLEKULER MIKROSATELIT

Analisis untuk membedakan genetik antar organisme atau spesies dilakukan dengan menggunakan penanda genetik. Penanda genetik adalah karakter-karakter yang dapat menandakan perbedaan genetik antar organisme atau spesies. Terdapat tiga jenis penanda genetik, yaitu penanda morfologi, penanda biokimia, dan penanda DNA atau disebut juga penanda molekuler yang dapat menunjukkan variasi DNA (Yuwono, 2005).

Sebelum berkembang teknik-teknik dalam bidang biologi molekuler, analisis terhadap variasi genetik tumbuhan dilakukan dengan cara mengobservasi karakter fenotip yang dapat terlihat secara kasat mata seperti morfologi atau anatomi yang merupakan hasil ekspresi genetik. Penanda biokimia atau disebut juga isozim adalah variasi enzim yang dideteksi melalui elektroforesis dan pewarnaan spesifik. Baik penanda morfologi maupun biokimia, keduanya dapat menunjukkan keanekaragaman pada tingkat gen



fungsional. Kekurangan dari kedua penanda tersebut adalah keterbatasan jumlah karakter dan karakter tersebut dapat dipengaruhi lingkungan atau tahapan perkembangan dari tumbuhan (Yuwono, 2005).

Seiring perkembangan biologi molekuler, variasi genetik dapat dianalisis langsung pada tingkat molekuler. Pada umumnya, penanda genetik bukan merupakan gen tertentu melainkan sekuen pada daerah non koding di dekat gen yang berfungsi sebagai regulator. Tidak seperti penanda morfologi dan biokimia, penanda molekuler tidak dibatasi oleh jumlah karakter, faktor lingkungan, atau tahapan perkembangan tumbuhan. Beberapa penanda molekuler yang umum digunakan untuk menganalisis variasi atau keanekaragaman genetik adalah AFLP, RAPD, dan Mikrosatelit (Reece, 2004).

Mikrosatelit atau *simple sequence repeats* (SSRs) merupakan lokus-lokus polimorfik pada DNA yang memiliki sekuen dengan urutan basa yang berulang. Penanda mikrosatelit mendeteksi sekuen tandem repeat yaitu sekuen yang memiliki dua nukleotida (dinukleotida) hingga empat nukleotida (tetranukleotida) yang berulang dengan urutan yang sama. Banyaknya pengulangan pola nukleotida tersebut bervariasi antar alel yang berbeda (Reece, 2004).

Mikrosatelit dapat diidentifikasi dengan cara mengamplifikasi menggunakan PCR. Amplifikasi dilakukan menggunakan satu primer yang didesain sesuai dengan sekuen unik pada kedua sisi yang mengapit tandem repeat suatu lokus. Dengan demikian, dengan menggunakan primer tunggal, amplifikasi terhadap lokus tersebut dapat berlangsung pada setiap individu spesies dan menghasilkan amplicon dengan ukuran berbeda karena terdapat variasi panjang mikrosatelit.

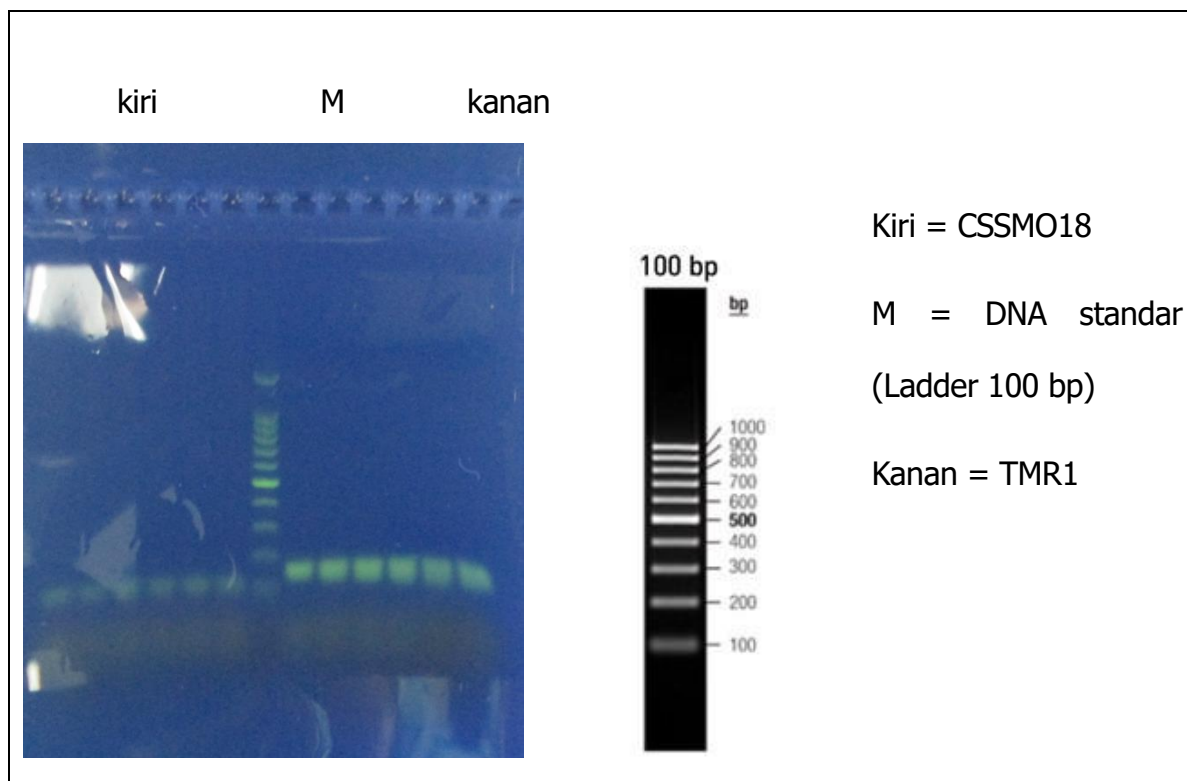
SSRs sangat berguna sebagai penanda untuk analisis populasi. Namun kekurangan dari penanda ini adalah desain primer yang memerlukan banyak waktu dan biaya untuk mendapatkan primer yang fungsional dan tepat mengapit mikrosatelit di kedua sisi. Primer penanda mikrosatelit dapat digunakan untuk spesies-spesies yang berkerabat dekat, namun jumlah lokus yang diamplifikasi semakin berkurang apabila kekerabatan species lebih jauh.

3. KARAKTERISASI DAN SEKRENING PENANDA CSSMOIS DAN TMRI PADA DOMBA GARUT

Domba Garut sudah turun temurun dipelihara di Indonesia, diduga merupakan persilangan dari domba merino, domba ekor gemuk (gibas) dan domba lokal parahyangan. Domba garut, baik jantan maupun betina merupakan domba tipe penghasil daging. Domba Garut jantan sering digunakan sebagai domba aduan (fighting art), karena mempunyai leher yang kuat dan kokoh, juga tampilan tanduknya yang besar dan melingkar seperti pada domba Merino jantan. Bobot badan domba Garut jantan dapat mencapai lebih dari 60kg, sedangkan domba betina tanpa tanduk, dengan bobot badan dapat mencapai 30kg. Warna bulu putih, coklat hitam, atau campuran diataranya. Domba Garut mempunyai telinga sangat kecil atau diistilahkan “rumpung”, baik pada jantan maupun betina. Daerah sebaran domba Garut kebanyakan di Jawa Barat. Domba Garut ada yang menyebut sebagai domba Priyangan. Domba Garut atau Priangan merupakan aset plasma nutfah Jawa Barat. Domba Garut memiliki potensi yang

baik untuk dikembangkan sebagai sumber daging dibandingkan domba lokal atau bangsa domba lain yang ada di Indonesia dan memiliki keunggulan unik yang dapat dijadikan daya tarik pariwisata daerah (Heriyadi *et al.* 2002).

PT BIO FARMA (Persero) salah satu perusahaan yang membina para peternak domba Garut melalui *Corporate Social Responsibility* (CSR) nya. Salah satu programnya adalah pemuliaan domba Garut unggul melalui karakterisasi hewan ternak domba menggunakan dua penanda mikrosatelit yaitu CSSMOI8 dan TMR1. Karakterisasi DNA dilakukan terhadap 36 ekor domba Garut ditambah dengan 1 domba sayur dan 1 sapi sebagai kontrol. Ekstraksi DNA dilakukan dengan menggunakan sumber DNA yang berasal dari darah. Amplifikasi dilakukan menggunakan lokus penanda mikrosatelit CSSMOI8 dan TMR1, dan kemudian dielektroforesis di atas gel agarose. Analisis hasil dilakukan berdasarkan kemunculan pita DNA hasil amplifikasi di atas gel agarose. Kemunculan pita DNA menunjukkan adanya penanda CSSMOI8 (116-134 pasang basa) dan TMR1 (124-138 pasang basa) yang digunakan (Gambar 1), yang artinya pada domba tersebut diperkirakan terkandung sifat-sifat unggul yang diharapkan. Hasil menunjukkan bahwa semua domba uji memiliki potensi sebagai domba unggul untuk produksi yang ditunjukkan oleh munculnya pita target untuk kedua penanda mikrosatelit yang digunakan, yaitu CSSMOI8 dan TMR1 (Tabel 1). Berdasarkan penelitian ini disarankan bahwa kedua penanda mikrosatelit cocok digunakan oleh PT Bio Farma (Persero) untuk menyeleksi mana domba Garut yang unggul dan mana yang tidak.



Gambar 1. Hasil amplifikasi penanda CSSMOI8 dan TMR1



Tabel 1. Hasil rekapitulasi analisis cetak jari domba Garut

Sampel	Penanda mikrosatelit		Sampel	Penanda mikrosatelit	
	CSSMO18	TMR1		CSSMO18	TMR1
A15001	+	+	B15020	+	+
A15002	+	+	A15021	+	+
A15003	+	+	B15022	+	+
A15004	+	+	A15023	+	+
A15005	+	+	B15024	+	+
B15006	+	+	B15025	+	+
B15007	+	+	A15026	+	+
B15008	+	+	A15027	+	+
B15009	+	+	A15028	+	+
B15010	+	+	A15029	+	+
B15011	+	+	B15030	+	+
B15012	+	+	A15032	+	+
B15013	+	+	A15033	+	+
B15014	+	+	B15034	+	+
B15015	+	+	B15035	+	+
B15016	+	+	A15036	+	+
B15017	+	+	B15037	+	+
B15018	+	+	C15038	+	+
B15019	+	+	C15039	+	+

Hasil konfirmasi keberadaan mikrosatelit CSSMO 18 dan TMR1 menunjukkan hasil yang sesuai dengan ukuran berat molekul yaitu antara 124-138pb (Margawati, 2005). Pada penelitian telah teridentifikasi kedua mikrosatelit CSSM018 dan TMR1 pada domba lokal Garut. Perolehan ini menunjukkan bahwa domba Garut mempunyai potensi dalam produksi daging seperti diketahui bahwa gen berasosiasi dengan sifat pertumbuhan berlokasi pada lokus-locus diantara ke dua mikrosatelit pada kromosom 18 (Margawati, 2005).

Selain sampel yang diujikan dari hasil penelitian sampel kontrol domba dan sapi yang diambil secara acak diluar kampung pemuliaan biofarma menunjukkan hasil yang positif untuk kedua penanda molekular tersebut. Hal ini bisa saja terjadi karena kita tidak mengetahui silsilah persilangan sebelumnya bisa jadi domba kontrol yang diambil secara acak ini merupakan hasil persilangan dari domba garut dan domba sayur. Pada sampel kontrol sapi hasil yang ditunjukkan positif pada kedua penanda mikro satelit namun hanya saja ukuran yang dihasilkan lebih tinggi dari sampel domba lainnya ukuran yang dihasilkan pada sampel sapi berada di atas 124 bp. Hasil yang berbeda ini juga

berkaitan dengan faktor lingkungan dan reproduksi. Reproduksi pada domba dipengaruhi oleh adanya faktor eksternal dan faktor internal. Faktor eksternal yang dapat mempengaruhi seperti kondisi iklim, pemberian pakan, sistem pemeliharaan, status kesehatan domba dan hewan tenak. Sedangkan faktor internal adalah genetik. Faktor genetik ternak menentukan kemampuan yang dimiliki oleh seekor domba. Faktor lingkungan memberi kesempatan kepada domba untuk menampilkan kemampuannya. Diantara beberapa karakter reproduksi yang ada pada domba yang dapat mempengaruhi yaitu nutrisi, genetik/breed, paritas, kesehatan reproduksi, dan umur induk.

Berkembangnya teknologi molekuler telah memberikan harapan untuk melakukan seleksi pada tingkat genom (genomic selection). Secara genetik, variasi sifat antar ternak merupakan pencerminan keragaman pada DNA. Teknologi biologi molekuler yang semakin maju, menjadikan peluang memetakan gen atau lokus yang mengekspresi karakter kuantitatif tertentu semakin tinggi. Berbagai penelitian yang mengkaji marka molekuler dikaitkan dengan sifat atau karakter yang bernilai ekonomi pada ternak telah dilakukan. Seluruh spesies hewan yang didomestikasikan menjadi ternak menunjukkan adanya variasi sifat-sifat produktivitas yang berhubungan dengan morfologi maupun fisiologi. Variasi tersebut disebabkan oleh faktor lingkungan dan genetik. Variasi pada genom dapat mempengaruhi fungsi gen dan merubah produk gen sehingga menimbulkan variasi fenotip.

4. KESIMPULAN

Kemajuan di bidang biologi molekuler memberikan kesempatan baru dalam usaha mendeteksi terjadinya variasi genetik (polimorfisme) sebagai dasar peningkatan mutu genetik dalam peternakan. Dengan adanya teknologi yang efektif dan akurat melalui pemanfaatan diagnosa berdasarkan deoxyribo nucleic acid (DNA), akan sangat membantu program persilangan ternak. Data molekuler dari hasil karakteristik mikrosatelit yang diperoleh dapat dijadikan referensi untuk penelitian kedepannya untuk meningkatkan produksi domba garut. Berdasarkan program penelitian yang dilakukan di PT BIOFARMA, maka penanda CSSMO18 dan TMR1 dapat digunakan untuk sekrening genetik rutin domba Garut yang unggul dan mana yang tidak di masa yang akan datang.

DAFTAR REFERENSI

- Crawford A.M., et al. 1995. Anautosomal genetic linkage map of the sheep genome. *Genetics*. Vol. 140: 703-724.
- FAO/WHO. 2002. *Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. Report of Joint FAO/WHO Working Group On Drafting Guidelines For The Evaluation Of Probiotics In Food*. Canada: London Ontario
- Heriyadi D, Anang A., Budinuryanto DC. dan Hadiana H. 2002. *Standarisasi mutu bibit domba Garut*. Bandung: [laporan penelitian]. Kerjasama Penelitian Antara Dinas Peternakan Propinsi Jawa Barat dengan Universitas Padjadjaran.



- Li W, Graur D. 1991. *Fundamental of Molecular Evaluation*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Lumaret, R., H. Michaud, J.P. Ripoll, and L. Toumi. 1998. Chloroplast DNA Extraction Procedure for Species High in Phenolics and Polysaccharides. *Journal of molecular*, 15-17.
- Maddox JF., et al. 2001. An Enhanced Linkage Map of the Sheep Genome Comprising More Than 1000 Loci. *Genome Res.* 11 (7): 1275-1289
- Madigan M T, Martinko J M, Parker J. 1997. *Brock, the Biology of Microorganisms*. Upper saddle River. New jersey : Prentice Hall.
- Margawati ET. 2005. *Pemetaan Quantitative Trait Loci (QTL) sifat pertumbuhan pada populasi domba silang balik Ekor Tipis dan Merino*. [Disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Maulana, T. 2007. *Inventarisasi Gen Myostatin Dalam Rangka Peningkatan Kualitas Domba Dan Kambing Di Indonesia*. Bogor: FMIPA IPB.
- Nicho, A.L. 2000. *Dasar-Dasar DNA Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Petrosino, J.F, Highlander S, Luna R.A, Gibbs RA, Versalovic J. 2009. Metagenomic Pyrosequencing and Microbial Identification. *Clinical Chemistry* 55: 856-866.
- Reece, R.J. 2004. *Analysis of Genes and Genomes*. Manchester: Manchester University Press.
- Stackebrandt, E. 2002. Report of the ad hoc committee for the re-evaluation of the species definition in bacteriology. *International Jurnal of Systematic and Evolution Microbiology* 52, 1043-1047.
- Tannock GW. 1999. Identification of Lactobacilli and Bifidobacteria. *Current Issues Molec Biol* 1. 53-64.
- Yuwono, T. 2005. *Biologi Molekuler*. Jakarta: Erlangga
- Zaid A, Hughes HG, Porceddu E, and Nicholas FW. 1999. *Glossary of Biotechnology and genetic engineering*. FAO Research and Technology Paper No 7.
- Zubaidah. 2004. *"Isolasi DNA" Biologi molekuler*. Jakarta: Erlangga.

BIOGRAFI PENULIS

Topik Hidayat Ph.D.



Topik Hidayat Ph.D. merupakan staf dosen di Departemen Pendidikan Biologi Universitas Pendidikan Indonesia (UPI) Bandung. Gelar Sarjana diraih tahun 1995 di bidang Pendidikan Biologi, IKIP Bandung. Gelar Magister penulis diperoleh dari ITB Bandung di bidang Biologi (2001). Gelar Ph.D. diraih penulis pada tahun 2005 dari The University of Tokyo, Japan di bidang Botani. Minat riset meliputi biosistematik molekuler, biologi evolusi, biomarker, dan bioteknologi.

Fitri Rohmasari, S.Si



Fitri Rohmasari lulus dari Program Studi Biologi, Departemen Pendidikan Biologi UPI Bandung tahun 2010 dengan yudisium Cumlaude. Minat risetnya adalah mikrobiologi, genetika molekuler dan bioinformatika. Pengalaman bekerja antara lain sebagai asisten praktikum untuk beberapa mata kuliah (2012-2014 dan asisten peneliti di Laboratorium Mikrobiologi dan Genetika Molekuler, UPI Bandung (2015). Di sela-sela kesibukannya pernah menjadi instruktur di Bimbingan Belajar Lembaga Privat Ir. Arianto pada mata pelajaran Matematika dan IPA. Saat ini bekerja di PT Biozantix sebagai peneliti.

Implementasi Pengiriman Pesan dan Serangan pada Kriptografi Kurva Eliptik

Intan Muchtadi-Alamsyah¹, Dimitrij Ray Susantio², Taufiq Akbari Utomo³

^{1,2,3}Kelompok Keahlian Aljabar, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132

email : ¹ntan@math.itb.ac.id, ²dimitrijray@gmail.com, ³taufiqakbariutomo@yahoo.com

Abstrak

Dalam tulisan ini dibahas mengenai implementasi kriptografi kurva eliptik atas lapangan biner. Untuk proses pengiriman pesan, digunakan skema ECIES sederhana (*Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme*). Proses enkripsi dilakukan dengan memisahkan *plaintext* menjadi blok-blok. Setiap blok kemudian secara terpisah dienkripsi menggunakan skema enkripsi. Selain itu, dibahas mengenai modifikasi serangan Pollard Rho dengan menggunakan Algoritma Deteksi Siklus Brent, dan perbandingan kinerja pada waktu dan jumlah iterasi antara Pollard Rho dengan dan tanpa Algoritma Deteksi Siklus Brent.

Kata kunci: Kriptografi Kurva Eliptik, Skema ECIES, Algoritma Pollard Rho

Abstract

In this paper we discuss about the implementation of elliptic curve cryptography over binary fields. For the encryption-decryption process, we use the simplified ECIES (Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme). The encryption process is done by dividing the plaintext into blocks. Each block is then individually encrypted using the encryption scheme. For the security issue, we use a modification of Pollard Rho attack by using Brent Cycle Detection Algorithm. We give a comparison of the performance for the time and the number of iterations, between Pollard Rho with and without Brent Cycle Detection Algorithm.

Keywords: *Elliptic Curve Cryptography, ECIES Scheme, Pollard Rho Algorithm*

1. PENDAHULUAN

Keamanan informasi telah menjadi masalah penting sejak awal abad ke-21. Kebanyakan saluran informasi yang digunakan tidak aman dan rentan terhadap kebocoran. Diperlukan suatu cara untuk mengamankan saluran informasi, dan salah satu caranya adalah dengan menggunakan kriptografi.

Kriptografi Kurva Eliptik atau *Elliptic Curve Cryptography* (ECC) pertama kali diperkenalkan oleh



Neal Koblitz dan Victor Miller ([Koblitz, 1987](#)), ([Miller, 1986](#)). Mereka secara terpisah memperkenalkan kurva eliptik untuk kriptografi kunci publik. Dibandingkan dengan metode kriptografi lainnya, ECC memiliki beberapa keunggulan (Li, dkk. 2001), (Paryasto, dkk. 2009): operasi aritmatika yang bersifat spesifik dan tidak dapat diprediksi dan panjang kunci yang lebih kecil untuk tingkat keamanan yang sama dibandingkan dengan metode lain. ECC bergantung pada tingkat keamanan dari masalah logaritma diskrit disebut Masalah Logaritma Diskrit Kurva Eliptik (ECDLP) (Hankerson, dkk. 2004).

Pada tahun 1978, John M. Pollard mengusulkan algoritma untuk masalah logaritma diskrit berdasarkan metode Monte Carlo dan dikenal sebagai algoritma Pollard Rho (Pollard, 1978). Algoritma Pollard Rho bekerja dengan terlebih dahulu mendefinisikan barisan elemen-elemen yang berulang secara periodik, dan kemudian mencari kesamaan. Kesamaan akan mengarah pada solusi dari masalah logaritma diskrit dengan probabilitas tinggi. Algoritma Rho Pollard diklaim algoritma tercepat untuk memecahkan masalah logaritma diskrit pada kurva eliptik (Bai dan Brent, 2008).

Dalam tulisan ini akan dijelaskan mengenai skema ECIES sederhana (*Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme*) untuk proses enkripsi-dekripsi Kriptografi Kurva Eliptik (telah dipublikasikan dalam (Susantio dan Muchtadi, 2016)). ECIES mengenkripsi *plaintext* dengan menyamakan pesan menggunakan titik tertentu pada kurva. Proses enkripsi dilakukan dengan memisahkan *plaintext* menjadi blok-blok. Setiap blok kemudian secara terpisah dienkripsi menggunakan skema enkripsi. Selain itu akan dibahas penggunaan Algoritma Deteksi Siklus Brent untuk mempercepat serangan Pollard Rho (Muchtadi dan Utomo, 2016, telah disubmit) dan diberikan perbandingan kinerja pada waktu dan jumlah iterasi antara Pollard Rho dengan Brent Siklus Deteksi dan Pollard Rho dengan pemetaan Negasi. Khususnya, untuk kurva Koblitz, diberikan perbandingan antara Pollard Rho dengan Deteksi Siklus Brent dan Pollard Rho dengan pemetaan Negasi dan Frobenius.

2. KRIPTOGRAFI KURVA ELIPTIK

Kurva eliptik yang digunakan adalah kurva $E(GF(2^n))$ dengan persamaan $y^2 + xy = x^3 + ax^2 + b$, dengan a dan b elemen-elemen di lapangan biner. ECC memiliki dua operasi aritmetika kurva yaitu operasi penjumlahan titik dan operasi penggandaan titik (*doubling*).

Jika $P = (x_1, y_1) \in E(GF(2^n))$ and $Q = (x_2, y_2) \in E(GF(2^n))$, dengan $P \neq \pm Q$ maka $P + Q = (x_3, y_3)$, dengan $x_3 = \lambda^2 + \lambda + x_1 + x_2 + a, y_3 = \lambda(x_1 + x_3) + x_3 + y_1$, dan $\lambda = (y_1 + y_2)/(x_1 + x_2)$.

Jika $P = (x_1, y_1) \in E(GF(2^n))$, dengan $P \neq -P$ maka $2P = (x_3, y_3)$, dengan $x_3 = \lambda^2 + \lambda + a = x_1^2 +$

$$\frac{b}{x_1^2}, y_3 = x_1^2 + \lambda x_3 + x_3 \text{ dan } \lambda = x_1 + \frac{y_1}{x_1}.$$

Adapun skema enkripsi-dekripsi untuk ECC (Skema El Gamal) adalah sebagai berikut :

Enkripsi:

INPUT: kurva eliptik E , titik P dengan orde m , kunci privat $k \in [1, m-1]$, *plaintext* μ

OUTPUT: *Ciphertext* (C_1, C_2)

1. Hitung $Q = kP$
2. Representasikan pesan μ sebagai titik M
3. Pilih $d \in [1, m-1]$
4. Hitung $C_1 = dP$
5. Hitung $C_2 = M + dQ$

Dekripsi:

INPUT : kurva eliptik E , titik P dengan orde n , kunci privat $k \in [1, m-1]$, ciphertext (C_1, C_2)

OUTPUT: Plaintext μ

Hitung $M = C_2 - kC_1$ dan kembalikan M menjadi pesan asal μ .

Masalah logaritma diskrit ECDLP adalah masalah menentukan k yang memenuhi $Q = kP$, dengan Q adalah kunci publik, P adalah *Base Point* dan k adalah kunci privat. Kunci privat k merupakan logaritma diskrit dari Q dengan basis P , menentukan k adalah menghitung multipel dari P sampai Q diperoleh.

3. SKEMA ECIES SEDERHANA

ECIES (*Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme*) mengenkripsi *plaintext* dengan menyamakan pesan menggunakan titik tertentu pada kurva. Proses enkripsi dilakukan dengan memisahkan *plaintext* menjadi blok-blok. Setiap blok kemudian secara terpisah dienkripsi menggunakan skema enkripsi.

Pada skema ECIES sederhana, proses enkripsi dan dekripsinya adalah sebagai berikut:

Enkripsi:

INPUT: kurva eliptik E , titik P dengan orde m , kunci privat $k \in [1, m-1]$, *plaintext* μ

OUTPUT: Ciphertext (C, z) dengan C suatu titik di kurva dan $z \in GF(2^n)$

1. Hitung $Q = kP$
2. Representasikan pesan μ menjadi titik $x \in GF(2^n)$
3. Pilih $d \in [1, m-1]$
4. Hitung $C = dP$
5. Hitung $(x_0, y_0) = dQ$
6. Hitung $z = xx_0$



Dekripsi:

INPUT: kurva eliptik E , titik P dengan orde m , kunci privat $k \in [1, m-1]$, *ciphertext* (C, z)

OUTPUT: *Plaintext* μ

Hitung $(x_0, y_0) = kC$, $x = zx_0^{-1}$ dan kembalikan x menjadi pesan asal μ .

Enkripsi dilakukan dengan pertama mengubah *plaintext* menjadi elemen, atau unsur-unsur, dari $GF(2^n)$. Di sini diambil representasi biner dari kode ASCII dari masing-masing karakter di *plaintext*. Dalam tulisan ini, diasumsikan bahwa setiap karakter memiliki nilai ASCII 0-127. Langkah selanjutnya adalah mengelompokkan karakter, yang sudah dalam representasi biner, menjadi blok-blok. Untuk melakukan ini, pertama perhatikan bahwa karena asumsi nilai ASCII, ukuran representasi biner paling besar adalah 7 bit. Kemudian dilakukan proses *padding* sehingga setiap karakter memiliki 7-bit representasi biner. Setelah proses *padding*, representasi biner disambungkan, kemudian dibagi menjadi blok dengan setiap blok memiliki maksimal sebanyak floor dari $n/7$ karakter dari *plaintext*. Langkah terakhir mengenkripsi setiap blok *plaintext* menggunakan enkripsi fungsi dijelaskan sebelumnya. Pada skema ini terdapat keuntungan dimana pesan dienkripsi menjadi elemen di lapangan biner, sehingga mempermudah penghitungan.

Algoritma 1 Enkripsi pada ECIES sederhana

INPUT: plaintext x .	8: $k \leftarrow \text{RANDOM}([1, n-1])$
OUTPUT: ciphertext $(U(x_1, y_1), y)$.	9: $U(x_1, y_1) \leftarrow kP$
1: for $char \in x$ do	10: $V(x_2, y_2) \leftarrow kQ$
2: $char \leftarrow \text{BINARYASCII}(char)$	11: for $char \in x'$ do
3: $char \leftarrow \text{PADDING}(char)$	12: $cipher \leftarrow char \cdot x_2$
4: APPEND($x', char$)	13: APPEND($y, cipher$)
5: end for	14: end for
6: $blocklength \leftarrow \lfloor N/7 \rfloor$	15: return (U, y)
7: $x' \leftarrow \text{BLOCK}(x', blocklength)$	

Proses dekripsi pada dasarnya adalah kebalikan dari proses enkripsi. Pertama setiap blok *ciphertext* didekripsi menggunakan fungsi dekripsi. Kemudian, dipastikan bahwa panjang dari setiap blok *ciphertext* didekripsi habis dibagi 7, *padding* jika perlu. Setiap blok kemudian dibagi menjadi sub-blok dengan panjang 7. Kemudian konversi masing-masing sub-blok ke karakter asli dari *plaintext*.

Algoritma 2 Dekripsi pada ECIES sederhana

INPUT: ciphertext $(U(x_1, y_1), y)$.	6: end for
OUTPUT: plaintext x .	7: $x \leftarrow \text{SPLIT}(x)$
1: $V(x_2, y_2) \leftarrow mU$	8: for $char \in x$ do
2: for $cipher \in y$ do	9: $char \leftarrow \text{DEASCII}(char)$
3: $char \leftarrow cipher/x_2$	10: APPEND($x', char$)
4: $char \leftarrow \text{PADDING}(char)$	11: end for
5: APPEND($x, char$)	12: return x'

Teorema 1 (Susantio dan Muchtadi, 2016) *Algoritma enkripsi dan dekripsi di atas benar.*

Algoritma 1 dan 2 diimplementasikan dalam program simulasi enkripsi-dekripsi yang ditulis dengan Python. Sebuah contoh *output* dari program ini diberikan pada Gambar 1. Pada dasarnya, program ini pertama memilih parameter kurva secara random, kemudian mengambil titik dan menghitung orde. Setelah itu, pengguna diminta untuk memberikan *plaintext*. Setelah *plaintext* ditentukan, program mengenkripsi *plaintext*, kemudian menampilkan *ciphertext* yang dihasilkan. Selanjutnya, program ini meminta pengguna untuk memasukkan *ciphertext*. Setelah *ciphertext* ditentukan, program mendekripsi *ciphertext*, kemudian menampilkan kembali *plaintext*.

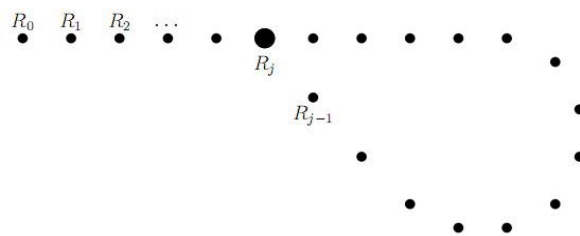
```
>>>
=== RESTART: C:\Users\dimitrijay\Documents\FMIFA\TA-Drafte\curve-new-2.py ===
-----
a : 10101101000110111
b : 1001011001111100101
-----
Generating points...
Point verified.
Calculating order of ['1100100011000011110', '11000100011010001111'] ...
And the point is: ['1100100011000011110', '11000100011010001111']
Its order is : 1049754
Input plaintext : Quis custodiet ipsos custodes?
Ciphertext : ['100011000100101001', '1010111111110010101', '11011110001101110011', '1001101100010111', '10010001001111010', '11010001011110001110', '10001110000110
011011', '10010100000001001', '10100100110001111', '1110001001100011011', '10111011010110100', '1010100111100', '10010001001111010', '1101000101110001110', '10
0011000010011001', '111010010001010111', '100100111011001000']
-----
Input ciphertext : ['100011000100101001', '1010111111110010101', '11011110001101110011', '1001101100010111', '10010001001111010', '11010001011110001110', '100011100
00110011001', '10010100000001001', '10100100110000111', '1110001001100011011', '10111011010110100', '11010100111100', '10010001001111010', '1101000101110001110', '10
0011000010011001', '111010010001010111', '101000111011001000']
Decrypted plaintext : Quis custodiet ipsos custodes?
>>> |
```

Gambar 1. Contoh Program Enkripsi dan Dekripsi

4. SERANGAN POLLARD RHO DENGAN DETEKSI SIKLUS BRENT

Cara terbaik untuk menguji keamanan sistem kriptografi adalah untuk memposisikan diri sebagai penyerang. Keamanan ECC bergantung pada solusi dari masalah logaritma diskrit. Salah satu algoritma yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut adalah Algoritma Pollard Rho.

Ide algoritma ini adalah membangun barisan random (R_i, s_i, t_i) , dengan R_i adalah titik pada kurva E dan s_i, t_i in $GF(2^n)$. Karena $E(GF(2^n))$ merupakan grup hingga, maka barisan tersebut akan kembali ke suku-suku awal. Algoritma ini menggunakan sifat periodik tersebut untuk memecahkan ECDLP. Karena barisan tersebut tidak selalu kembali pada suku pertama, maka barisan ini berbentuk seperti huruf Yunani Rho ρ . Oleh karena itu, metode ini dinamakan metode Pollard Rho.



Gambar 2. Bentuk Pollard Rho

Algoritmanya adalah sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan fungsi Hash, kita bagi $G = E(GF(2^n))$ menjadi 3 himpunan, S_1, S_2, S_3 dengan banyak elemen hampir sama, namun $O \notin S_2$.



$$R_{i+1} = g(R_i) = \begin{cases} P + R_i & R_i \in S_1 \\ 2R_i & R_i \in S_2 \\ Q + R_i & R_i \in S_3 \end{cases}$$

2. Definisikan fungsi iterasi g : . Karena $R_{i+l} = 2R_i$ jika $R_i \in S_2$, maka jika O di S_2 , setelah beberapa waktu $R_i = O$, dan nilai semua fungsi iterasi adalah O . Karena itu diasumsikan $O \notin S_2$.

$$s_{i+1} = \begin{cases} s_i + 1 & R_i \in S_1 \\ 2s_i \bmod m & R_i \in S_2 \\ s_i & R_i \in S_3 \end{cases} \quad \text{dan} \quad t_{i+1} = \begin{cases} t_i & R_i \in S_1 \\ 2t_i \bmod m & R_i \in S_2 \\ t_i + 1 & R_i \in S_3 \end{cases}$$

3. Misalkan $R_i = s_i P + t_i Q$, maka
4. Mulai dengan $R_0 = P$, $s_0 = 1$, $t_0 = 0$ kita bangkitkan R_i sampai diperoleh $R_j = R_l$ dengan $j \neq l$. Saat diperoleh kesamaan tersebut, diperoleh $R_j = s_j P + t_j Q$, $R_l = s_l P + t_l Q$ sehingga
- $$k = \frac{s_l - s_j}{t_j - t_l} \bmod m.$$

Dalam Algoritma Pollard Rho, deteksi siklus dilakukan dengan cara mengecek apakah titik yang dibangkitkan pada iterasi terbaru sama dengan salah satu dari titik-titik yang dibangkitkan pada iterasi sebelumnya. Namun, jika hal ini dilakukan, maka kita perlu menyimpan setiap titik yang dibangkitkan melalui iterasi. Dengan demikian, walaupun Algoritma Pollard Rho dapat menyelesaikan ECDLP dalam waktu $O(\sqrt{m})$, kita perlu menyimpan $O(\sqrt{m})$ titik.

Untuk menghemat penggunaan memori komputer, deteksi siklus dilakukan dengan menggunakan Algoritma Deteksi Siklus Brent (*Brent's Cycle Detection Algorithm*). Dalam mendeteksi siklus pada iterasi yang dilakukan dalam Algoritma Pollard Rho, Algoritma Deteksi Siklus Brent berjalan sebagai berikut:

- Misal barisan yang dibangkitkan adalah $\{R_i\}$ dengan nilai awal R_0 dan fungsi iterasi g sehingga $R_{i+1} = g(R_i)$. Tetapkan $j = 0$, $k = 0$, dan $l = 1$.
- Ganti k dengan $k+1$, lalu cek apakah $R_j = R_k$. Jika ya, maka telah terjadi kolisi.
- Jika belum terjadi kolisi, ulangi langkah b) sampai terjadi kolisi atau $k = 2l-1$
- Jika $k = 2l-1$, ganti j dengan k dan ganti l dengan $2l$
- Ulangi langkah 2-4 sampai terjadi kolisi.

Ekspektasi banyaknya iterasi yang dilakukan adalah $1,9828\sqrt{m}$, dengan m adalah orde titik P (Cohen dan Grey, 2006). Ini lebih banyak dibanding ekspektasi banyaknya iterasi pada Algoritma Pollard Rho yang tidak dimodifikasi. Akan tetapi, kita hanya perlu menyimpan dua titik, alih-alih $O(\sqrt{m})$ titik. Dengan demikian, memori yang digunakan lebih terbatas.

Dalam penelitian sebelumnya telah diberikan perbandingan antara Pollard Rho standar dan Algoritma Rho Pollard dengan pemetaan Negasi dan pemetaan Frobenius untuk kurva Koblitz (Muchtadi, dkk.

2013), (Muchtadi, dkk. 2014). Pada bagian ini kami akan memberikan perbandingan antara tiga varian Algoritma Pollard Rho: Pollard Rho standar, Pollard Rho dengan pemetaan Negasi, dan Pollard Rho menggunakan Algoritma Deteksi Siklus Brent. Selain itu, kemungkinan menggunakan pemetaan Frobenius pada kurva Koblitz memberikan perbandingan lebih banyak antara berbagai varian Pollard Rho. Berikut adalah daftar kurva digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Kurva eliptik yang digunakan

n	a	b	P_x	P_y	m	k
7	1	1	125	17	71	10
11	1	1	337	1892	991	62
13	0	1	3164	3281	2003	612
17	1	1	18909	112804	65587	13690
17	90907	8300	130691	68402	65449	43818
19	1	1	82773	3149	262543	228885
19	34563	310103	233684	277725	261631	74551
23	1	1	715839	1674296	4196903	852098
23	3437961	8316424	1609557	8085378	4196333	448137
29	516948584	317015777	253272920	62475630	268419847	81495421
31	945199535	1617508530	1680131681	910251609	1073784797	952674630
37	94314897882	71408299382	123023382464	21593014607	68719385843	207711372
41	0	1	1535619221598	212045604889	549756390943	457396657162
41	212802682593	828991065662	1595161278299	85985792012	1099510488257	875102879016

Pada Tabel 2 diberikan perbandingan antara Pollard Rho standar dan Pollard Rho dengan Algoritma Deteksi Siklus Brent. Pada Tabel 3 diberikan perbandingan yang sama untuk kurva Koblitz tanpa pemetaan Frobenius, sementara perbandingan yang sama untuk kurva Koblitz dengan pemetaan Frobenius diberikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Perbandingan Pollard Rho standar dengan Pollard Rho dengan Algoritma Deteksi Siklus Brent

Bit	Varian standar		Brent	
	Iterasi	Waktu (detik)	Iterasi	Waktu (detik)
17	352	0.156248	473	0.203124
19	895	0.453124	1571	0.765614
23	6098	3.765658	12555	7.656267
29	15689	12.687533	30471	23.515687
31	58678	51.593854	99505	83.578315
37	251950	290.188130	351431	364.672700
41	2310322	4993.765471	3869603	4943.581061

Tabel 3. Perbandingan Pollard Rho standar dengan Pollard Rho dengan Algoritma Deteksi Siklus Brent untuk Kurva Koblitz



Bit	Varian standar		Brent	
	Iterasi	Waktu (detik)	Iterasi	Waktu (detik)
7	16	0.015624	30	0.015626
11	43	0.015637	51	0.015624
13	130	0.062496	168	0.062498
17	89	0.046876	97	0.046874
19	1819	0.906245	3479	1.703126
23	398	0.249999	636	0.390642
41	1125258	2098.714221	3165644	4122.895303

Tabel 4. Perbandingan Pollard Rho standar dengan Pollard Rho dengan Algoritma Deteksi Siklus Brent untuk Kurva Koblitz, keduanya dengan pemetaan Frobenius

Bit	Varian standar		Brent	
	Iterasi	Waktu (detik)	Iterasi	Waktu (detik)
7	3	0.015641	6	0.015625
11	21	0.046877	25	0.031263
13	12	0.031254	24	0.031230
17	131	0.218761	162	0.234359
19	123	0.265640	207	0.375001
23	861	2.125028	1065	2.359400
41	87869	648.544495	90326	558.360148

Berdasarkan eksperimen, penggunaan pemetaan Frobenius pada umumnya mengurangi jumlah iterasi yang diperlukan. Namun, waktu yang diperlukan tidak selalu lebih singkat karena adanya tambahan waktu yang diperlukan untuk membangkitkan kelas ekivalen dari setiap titik hasil iterasi.

Pada Tabel 5 diberikan perbandingan antara Pollard Rho dengan pemetaan Frobenius dan tanpa Frobenius untuk kurva Koblitz, keduanya dengan Algoritma Deteksi Siklus Brent. Pada Tabel 6 diberikan perbandingan yang sama namun tanpa Algoritma Deteksi Siklus Brent. Dan pada Tabel 7 diberikan perbandingan tanpa Algoritma Deteksi Siklus Brent namun dengan pemetaan Negasi.

Tabel 5. Perbandingan antara Pollard Rho dengan pemetaan Frobenius dan tanpa Frobenius untuk Kurva Koblitz, keduanya dengan Algoritma Deteksi Siklus Brent.

Bit	Tanpa Frobenius		Dengan Frobenius	
	Iterasi	Waktu (detik)	Iterasi	Waktu (detik)
7	30	0.015626	6	0.015625
11	51	0.015624	25	0.031263
13	168	0.062498	24	0.031230
17	97	0.046874	162	0.234359
19	3479	1.703126	207	0.375001
23	636	0.390642	1065	2.359400
41	3165644	4122.895303	90326	558.360148

Tabel 6. Perbandingan antara Pollard Rho dengan pemetaan Frobenius dan tanpa Frobenius untuk Kurva Koblitz, keduanya tanpa Algoritma Deteksi Siklus Brent

Bit	Tanpa Frobenius		Dengan Frobenius	
	Iterasi	Waktu (detik)	Iterasi	Waktu (detik)
7	16	0.015624	3	0.015641
11	43	0.015637	21	0.046877
13	130	0.062496	12	0.031254
17	89	0.046876	131	0.218761
19	1819	0.906245	123	0.265640
23	398	0.249999	861	2.125028
41	1125258	2098.714221	87869	648.544495

Tabel 7. Perbandingan antara Pollard Rho dengan pemetaan Frobenius dan tanpa Frobenius untuk Kurva Koblitz, tanpa Algoritma Deteksi Siklus Brent dan dengan pemetaan Negasi

Bit	Tanpa Frobenius		Dengan Frobenius	
	Iterasi	Waktu (detik)	Iterasi	Waktu (detik)
7	11	0.015616	2	0.031252
11	25	0.015626	13	0.046874
13	113	0.062489	17	0.046894
17	411	0.218751	63	0.171890
19	495	0.296888	102	0.328139
23	3959	2.906526	696	2.609399
41	1142980	2449.223652	66879	666.827368

Berdasarkan eksperimen, penggunaan pemetaan negasi pada umumnya mengurangi jumlah iterasi yang diperlukan. Akan tetapi, jika pemetaan negasi digunakan sementara pemetaan Frobenius tidak digunakan, hampir 10% (276344 dari 2773726) iterasi harus diulang karena menemui siklus percuma. Akibatnya, faktor percepatan sebesar $\sqrt{2}$ yang semula diprediksikan menjadi tidak tercapai.

5. KESIMPULAN DAN PENELITIAN LANJUTAN

Beberapa algoritma untuk ECIES sederhana telah diimplementasikan. Beberapa kasus harus ditangani saat menjumlahkan, yaitu kasus saat salah satu titik (atau keduanya) merupakan titik di ketakhinggaan, dan kasus saat kedua titik merupakan titik yang sama.

Penggunaan Algoritma Deteksi Siklus Brent untuk mendeteksi kolisi pada Algoritma Pollard Rho membutuhkan lebih banyak iterasi dan umumnya membutuhkan waktu lebih lama daripada menyimpan setiap titik. Namun demikian, tidak dapat dilakukan penyimpanan semua titik untuk Pollard Rho dengan lapangan biner yang besar, misalnya $GF(2^n)$ dengan $n > 60$.

Sebagai penelitian lanjutan, akan dikembangkan suatu algoritma yang efisien untuk kriptografi kurva eliptik menggunakan Kurva 25519 yang diimplementasikan dalam keamanan pengiriman pesan instan.

Kurva 25519 adalah kurva eliptik yang menawarkan 128 bit keamanan dan dirancang untuk digunakan dalam skema *key agreement*. Kurva ini adalah salah satu kurva ECC tercepat dan lebih tahan terhadap *weak number random generator*. Kurva ini telah diimplementasikan pada perangkat lunak domain publik (Bernstein,2006). Akan dipelajari mekanisme kerja aplikasi pesan instan, dan simulasi serangan



unknown-keyshare. Dari algoritma yang dikembangkan, aplikasi pengiriman pesan akan dikonstruksi ulang dan akan dilakukan juga pengujian dan implementasi yang mempertimbangkan keamanan.

DAFTAR REFERENSI

- Bai, S. dan Brent, R.P. 2008. On the Efficiency of Pollard's Rho Method for Discrete Logarithms. In Proc. Fourteenth Computing: The Australasian Theory Symposium (CATS 2008), Wollongong, NSW, Australia. CRPIT, 77. Harland, J. dan Manyem, P., Eds. ACS. Hal. 125-131.
- Bernstein, D. J. 2006. Curve25519: New Diffie-Hellman Speed Records. *Public Key Cryptography-PKC 2006, Volume 3958 of the series Lecture Notes in Computer Science*. Hal: 207-228.
- Cohen, H. dan Frey, G. 2006. Handbook of Elliptic and Hyperelliptic Curves. Chapman and Hall/CRC.
- Hankerson, D., Menezes, A.J., dan Vanstone, S. 2004. Guide to Elliptic Curve Cryptography. Springer.
- Koblitz, N. 1987. Elliptic Curve Cryptosystems. *Mathematics of Computation*. Vol.48: hal. 203-209.
- Li, Z. Higgins, J., dan Clement, M. 2001. Performance of Finite Field Arithmetic in an Elliptic Curve Cryptosystem. *Proc. 9th Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems 2001*. Hal. 249-256.
- Miller, V. 1986. Elliptic Curves and Cryptography. *Advances in Cryptology- CRYPTO'86(LNCS 218)*. Hal. 417-426.
- Muchtadi-Alamsyah, I., Ardiansyah, T., dan Carita, S.S. 2013. Pollard Rho Algorithm for Elliptic Curves over $GF(2^n)$ with Negation Map, Frobenius Map and Normal Basis. *Far East Journal of Mathematical Sciences*. Special Volume, No 4: hal. 385-402.
- Muchtadi-Alamsyah, I., Ardiansyah, T., dan Carita, S.S. 2014. Pollard Rho Algorithm for Elliptic Curves over $GF(2^n)$ with Negation and Frobenius Map. *Advanced Science Letters*. Vol 20, No. 1: hal. 340-343.
- Muchtadi-Alamsyah, I. dan Utomo, T.A. 2016. Implementation of Pollard Rho over Binary Fields using Brent Cycle Detection Algorithm. *Submitted to Proceeding Asian Mathematical Conference*, July 2016.
- Paryasto, M.W., Kuspriyanto, Sutikno, S., dan Sasongko, A. 2009. Issues in elliptic curve cryptography implementation, *Internetworking Indonesia Journal*. Vol.1, No.1: hal. 29-33.
- Pollard, J. 1978. Monte Carlo Methods for Index Computation (mod p). *Mathematics of Computation*. Vol.32, No. 143: hal. 918-924.
- Susantio, D.R. dan Muchtadi-Alamsyah, I. 2016. Implementation of Elliptic Curve Cryptography in Binary Field. *Journal of Physics Conference Series*. Vol. 710: hal. 012022.

BIOGRAFI PENULIS

Dr. Intan Muchtadi-Alamsyah



Dr. Intan Muchtadi-Alamsyah adalah pengajar dan peneliti dalam Kelompok Keahlian Aljabar FMIPA ITB, mendapatkan gelar doktor pada tahun 2004 dari Universite de Picardie, Prancis. Topik penelitian ybs adalah Teori Representasi, Teori Gelanggang dan Aplikasi Aljabar dalam Teori Koding dan Kriptografi.

Dimitrij Ray Susantio, S.Si



Dimitrij Ray Susantio adalah lulusan Program Studi Sarjana Matematika dengan topik Tugas Akhir Kriptografi Kurva Eliptik dan saat ini adalah mahasiswa S2 di TU Eindhoven, Belanda.

Taufiq Akbari Utomo, S.Si



Taufiq Akbari Utomo adalah lulusan Program Studi Sarjana Matematika dengan topik Tugas Akhir Kriptografi Kurva Eliptik.

Teknik *Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar* (PolInSAR) untuk Pemetaan Cadangan Karbon Menggunakan Citra ALOS PALSAR *Full-Polarimetric* (Wilayah Studi: Sulawesi Tenggara)

La Ode Muh. Golok Jaya^{1,2,3}, Ketut Wikantika^{2,3}, Katmoko Ari Sambodo⁴, Armi Susandi⁵

¹Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo Jl. HEA. Mokodompit No. 8, Kendari Sulawesi Tenggara

²Pusat Penginderaan Jauh, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Jawa Barat

³Kelompok Keahlian Penginderaan Jauh dan Sains Informasi Geografis (KK-INSIG) ITB Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Jawa Barat

⁴Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) Jl. Lapan, Pekayon, Pasar Rebo Jakarta

⁵Program Studi Meteorologi ITB Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Jawa Barat

email: ¹laodemgj@gmail.com; ²wikantika.ketut@mail.com; ³katmoko_ari@lapan.go.id;

⁴armisusandi@yahoo.com

Abstrak

Makalah ini bertujuan untuk menganalisis penerapan teknik *Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar* (Polinsar) untuk estimasi cadangan karbon pada hutan tropis di wilayah Indonesia. Wilayah studi penelitian ini adalah Sulawesi Tenggara. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit ALOS PALSAR *Full-Polarimetric*. Penerapan teknik Polinsar ini merupakan upaya untuk memperoleh informasi geospasial cadangan karbon yang memiliki ketidakpastian yang paling minimum sesuai yang dikehendaki dalam MRV (*Monitoring, Reporting and Verification*) cadangan karbon. Indonesia sebagai pemilik hutan tropis kedua terbesar di dunia sangat berkepentingan terhadap informasi cadangan karbon tersebut dalam rangka mitigasi perubahan iklim. Metode penelitian yang dilakukan adalah menganalisis koherensi *interferometric phase* dari dua buah citra ALOS PALSAR *Full-Polarimetric single-baseline* dengan empat polarisasi (HH, HV, VH dan VV) dan dengan *temporal baseline* 46 hari. Koherensi *interferometric phase* sangat berkaitan dengan model *Random Volume Over Ground* (RVOG) yang terbentuk untuk menghasilkan estimasi tinggi vegetasi dan nilai cadangan karbon yang memiliki tingkat keandalan yang baik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai koherensi *interferometric phase* adalah maksimum 0,8 yang disebabkan adanya dekorelasi temporal dari kedua citra koheren yang digunakan. Dekorelasi temporal sendiri disebabkan oleh *temporal baseline* kedua buah citra Alos Palsar yang digunakan. Hasil estimasi RVOG menunjukkan bahwa tinggi vegetasi di daerah penelitian adalah dapat mencapai 30 meter ($R^2=0,61$).

Kata kunci: PolInSAR, ALOS PALSAR, *Full-Polarimetric*, Cadangan Karbon, Koherensi, Dekorelasi Temporal, RVOG



Abstract

This paper aims to analyze the application of Polarimetric Synthetic Aperture Radar Interferometry (Polinsar) techniques to estimate carbon stocks in Indonesia tropical forests. The study site is in Southeast Sulawesi. ALOS PALSAR Full-Polarimetric data was used in this research. Application of Polinsar technique is an attempt to acquire geospatial information of carbon stocks that have the most minimum uncertainty as desired in carbon stocks MRV (Monitoring, Reporting and Verification). Indonesia which has the second largest tropical forest in the world is very concerned about carbon stocks information due to climate change mitigation efforts. The research method is analyzing the interferometric phase coherence of two Full-Polarimetric ALOS PALSAR imageries with 46 days temporal baseline and four single-polarization (HH, HV, VH and VV respectively). Coherence interferometric phase is associated with the model Random Volume over Ground (RVOG) formed to estimate vegetation heights and carbon stock volume that has a good reliability. The results of this study indicate that coherence interferometric phase is a maximum of 0.8 which possible caused by temporal decorrelation. Temporal decorrelation itself caused by temporal baseline of Alos PALSAR image pair. RVOG estimation results indicate that the height of the vegetation in the study area can reach 30 meters ($R^2=0.61$).

Keywords: *Polinsar, ALOS PALSAR, Full-Polarimetric, Carbon Stocks, Coherence, Temporal Decorrelation, RVOG*

1. PENDAHULUAN

Sejalan dengan upaya mitigasi perubahan iklim, upaya estimasi cadangan karbon sangat penting untuk lebih memahami perilaku siklus karbon di atmosfer. Indonesia perlu mengembangkan mekanisme estimasi cadangan karbon pada kawasan hutan di Indonesia untuk memperoleh kepastian mengenai besarnya jumlah cadangan karbon, kondisi, sebaran dan nilai emisi yang dapat diserap atau dilepaskan ke atmosfer oleh hutan tersebut. Mekanisme tersebut dikenal dengan istilah MRV (*Measurement, Reporting and Verification*) atau Pengukuran, Pelaporan dan Penilaian.

Kegiatan MRV meliputi pengukuran dan pelaporan efektivitas pengurangan atau penyerapan Gas-gas Rumah Kaca (GRK) secara kuantitatif menggunakan metode dan prosedur yang andal, transparan dan akuntabel. MRV merupakan bagian dari sistem pemantauan karbon global dimana metode pengukuran dan hasil yang disampaikan harus menggunakan kaidah-kaidah ilmiah yang baku dan konsisten. Hasil dari MRV akan dijadikan sebagai dasar pembayaran atas kinerja penurunan emisi. Setiap kegiatan MRV harus sejalan dengan prinsip-prinsip pelaporan IPCC (*Inter-Governmental Panel on Climate Change/Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim*), yaitu harus transparan, akurat, konsisten, lengkap dan dapat dibandingkan dan memiliki ketidakpastian yang minimum (Bernard dan Minang, 2011; Jaya dan Saleh, 2012; FAO, 2013).

Terkait mitigasi perubahan iklim, mengingat beragamnya kondisi lingkungan hutan di Indonesia (ditinjau dari spesies, kondisi topografis dan letak geografis), penentuan tingkat emisi acuan (*reference emission level*) yang sesuai dengan kondisi lokal yang spesifik di Indonesia sangat diperlukan (Krisnawati dkk, 2014). Untuk dapat menentukan tingkat emisi acuan tersebut, estimasi stok karbon secara berkala perlu dilakukan dengan meminimalisasi ketidakpastian pada system perhitungan karbon.

Monitoring stok karbon di Indonesia khususnya di Pulau Sumatera, Kalimantan dan Papua telah diupayakan dalam beberapa tahun terakhir menggunakan teknologi penginderaan jauh (Kustiyo dkk, 2015). Penggunaan citra optis seperti Landsat dan SPOT relatif banyak memberikan manfaat dalam kegiatan tersebut. Namun demikian, kendala akibat tutupan awan menyebabkan kegiatan monitoring dan pemetaan stok karbon tidak dapat dilakukan secara berkala.

Mengatasi kendala tutupan awan, penerapan teknik penginderaan jauh radar merupakan solusi. Dengan memanfaatkan citra radar dari teknik *Synthetic Aperture Radar* (SAR), kendala tutupan awan tidak menjadi masalah lagi. Gelombang radar, dengan panjang gelombang 1 cm hingga 100 cm memungkinkan menembus tutupan awan, kabut dan asap dan dapat beroperasi baik siang maupun malam yang mana tidak memungkinkan dilakukan oleh sistem citra optis. Beberapa wahana satelit dengan sensor radar yang berkembang saat ini adalah Radarsat-2, ALOS PALSAR, Terra SAR-X, Sentinel-1 dan sebagainya. Namun demikian, Oleh karena ketersediaan dan kontinuitas data SAR serta teknik pengolahan data citra SAR yang relatif cukup rumit bila dibandingkan pengolahan citra optis, menyebabkan penerapan teknik inderaja radar di Indonesia belum maksimal dikembangkan.

Meskipun demikian, terdapat sejumlah penelitian yang telah dilakukan dengan memanfaatkan kelebihan citra SAR untuk pemodelan stok karbon (biomassa), baik di daerah sub tropis dengan vegetasi yang homogen, misalnya (Husin dkk, 1991; Sun dkk, 2002; Rowland dkk, 2002; Fang dkk, 2006; Soja dkk, 2010; Ahmed dkk, 2010 dan Baredo dkk, 2012) maupun di daerah tropis dengan vegetasi yang heterogen, misalnya (Saatchi, 2010; Englhart dkk, 2012 dan Lavalley dkk, 2012).

Penggunaan citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR) misalnya citra ALOS PALSAR L-Band, dengan panjang gelombang 23 cm dan frekuensi 1,3 GHz memiliki kelebihan dibandingkan penggunaan citra optis. Terdapat korelasi yang kuat antara hamburan balik (*backscatter*) gelombang radar pada citra SAR L-Band tersebut dengan biofisik vegetasi pada suatu tutupan hutan (Boerner, 2007; Richards, 2009; Lee dan Pottier, 2009). Dengan kata lain kita dapat menentukan parameter vegetasi melalui analisis *backscatter* tersebut. Dengan mengkorelasikan nilai *backscatter* dengan stok karbon hasil survey lapangan (Polarimetrik SAR) dapat diperoleh volume stok karbon. Penggunaan polarisasi HV (Horisontal-Vertikal) akan meningkatkan akurasi korelasi *backscatter* dengan stok karbon.

Akan tetapi, terdapat kelemahan dari penerapan metode Polarimetrik SAR (Polsar) tersebut, yakni terjadinya saturasi pada tingkat jumlah stok karbon tertentu. Saturasi adalah suatu kondisi dimana sinyal pantulan balik (*backscatter*) citra SAR menjadi tidak sensitif dan tidak konsisten disebabkan oleh orientasi obyek, ukuran obyek, konstanta dielektrik dan distribusi/kerapatan obyek (Chen dkk, 2009).



Demikian pula kelemahan ditemui juga pada metode interferometrik. Kelemahan utamanya adalah rentan terhadap dekorelasi temporal yang mempengaruhi kualitas interferogram yang terbentuk. Padahal interferogram tersebut berguna dalam pembentukan model vegetasi untuk pemetaan cadangan karbon. Dalam kondisi dekorelasi temporal yang minimum, pemodelan vegetasi dari teknik polarimetrik dan interferometrik menggunakan citra SAR (PolInSAR) akan sangat membantu dalam analisis model vegetasi.

Di Indonesia sendiri, penerapan dan pengembangan metode PolInSAR untuk monitoring dan estimasi cadangan karbon masih sangat jarang dilakukan. Estimasi cadangan karbon dengan teknik Polinsar terakhir dilakukan di Indonesia pada kegiatan proyek INDREX-II (*Indonesian Airborne Radar Experiment*) pada tahun 2004 (Hajsek dkk, 2005; Hajsek dan Hoekman, 2006; Zhang dkk, 2008). INDREX-II memanfaatkan band L dan P pada wahana pesawat terbang (*airborne SAR*). Beberapa penelitian, misalnya yang dilakukan oleh Kugler dkk (2006), Lumsdon dkk (2008) dan Le Toan (2011) telah memanfaatkan data INDREX-II tersebut untuk meneliti hubungan polarimetri dan interferometri citra airborne radar dengan cadangan karbon serta tingkat keandalannya.

Teknik *Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar* (PolInSAR) merupakan gabungan dari dua buah teknik analisis citra radar yakni Teknik Polarimetric SAR (PolSAR) dan Interferometry SAR (InSAR) sebagaimana telah disinggung di atas. Teknik PolInSAR dikembangkan untuk memadukan keunggulan kedua buah teknik tersebut. Salah satu keunggulan teknik PolInSAR adalah diketahuinya secara jelas posisi pusat phase interferometrik dan topografi permukaan (*ground topography*) yang menghasilkan tinggi obyek (Cloude dan Papathannasiou, 1998). Salah satu penerapan penting dari keunggulan tersebut adalah dalam menentukan tinggi vegetasi dan menghitung volume biomassa atau cadangan karbon pada kawasan hutan. Keunggulan lainnya adalah teknik PolInSAR dapat membedakan struktur hamburan balik (*scattering*) gelombang radar dari suatu obyek apakah merupakan *surface scattering*, *surface-volume scattering* atau *volume-only scattering*. Dengan mengkombinasikan hasil *volume-only scattering* dengan kejelasan posisi pusat fase interferometrik-*ground topography*, dapat mengatasi terjadinya saturasi pada pengukuran volume seperti pada vegetasi hutan.

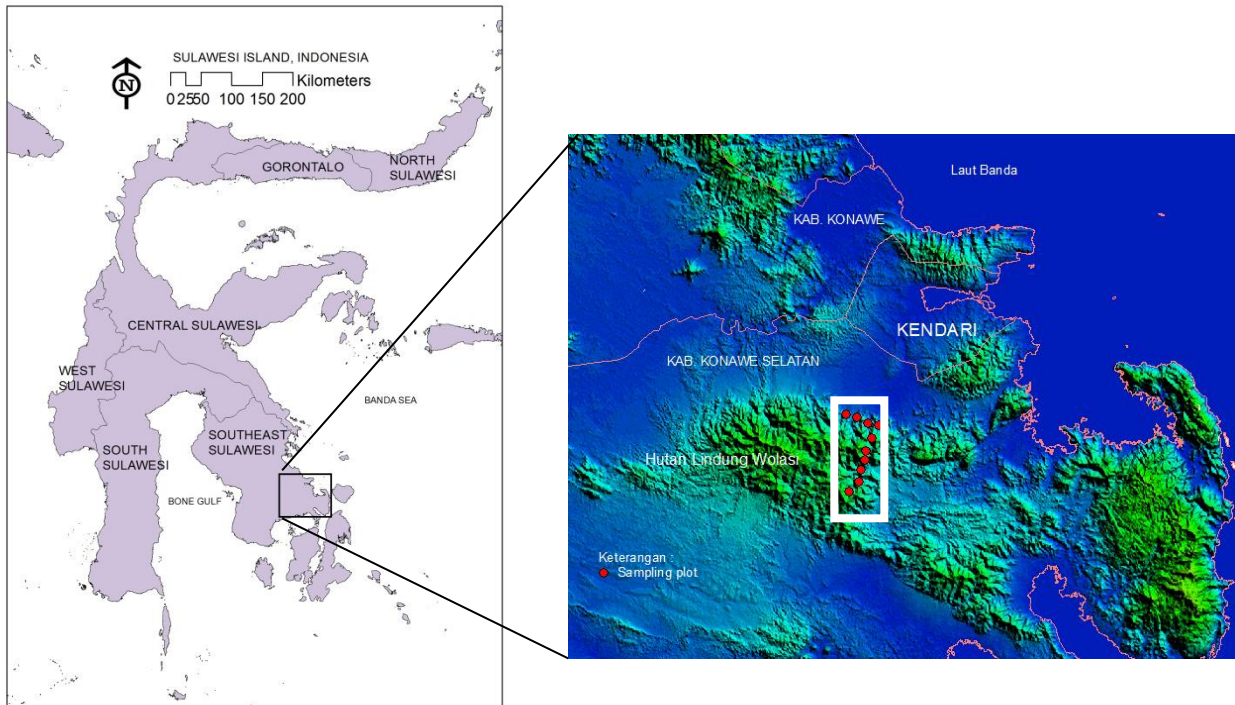
Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan teknik PolInSAR untuk estimasi cadangan karbon pada kawasan hutan tropis Indonesia. Sesuai dengan persyaratan MRV cadangan karbon sebagaimana disebutkan di atas, maka penerapan teknik PolInSAR memberikan harapan untuk memperoleh estimasi karbon dengan ketidakpastian yang paling minimum.

2. METODE

2.1 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara spesifik, lokasi penelitian adalah hutan tropis Wolasi yang sebagian besar berada dalam kawasan hutan lindung

Wolasi, berjarak kurang lebih 30 kilometer di sebelah selatan Kota Kendari, ibukota Provinsi Sulawesi Tenggara. Peta lokasi penelitian digambar dalam gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi studi

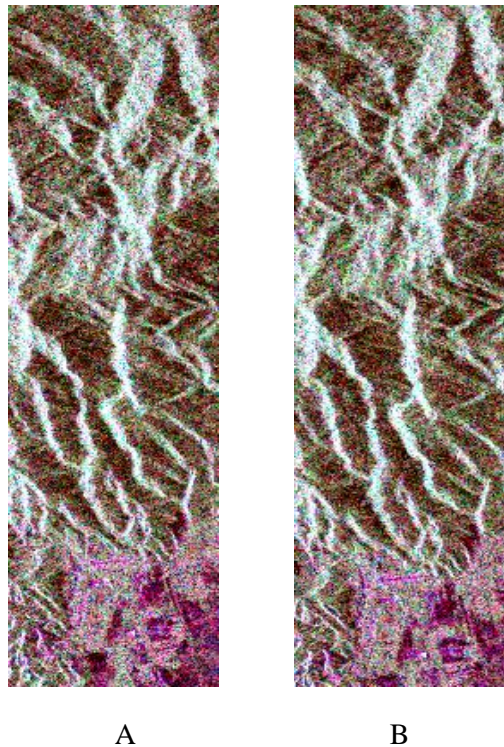
2.2 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra ALOS PALSAR *Full Polarimetric* dengan deskripsi sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Deskripsi Data ALOS PALSAR

Parameter	Value/Description
<i>Center Frequency</i>	1,25 GHz
<i>Wavelength</i>	23 cm
<i>Polarization</i>	HH, HV, VH, VV
<i>Date of acquisition</i>	2 May 2010 (master) 17 March 2010 (slave)
<i>Look angle</i>	21.5°
<i>Mode</i>	Single Look Complex

Kedua pasangan citra ALOS PALSAR Full-Polarimetric yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 2.

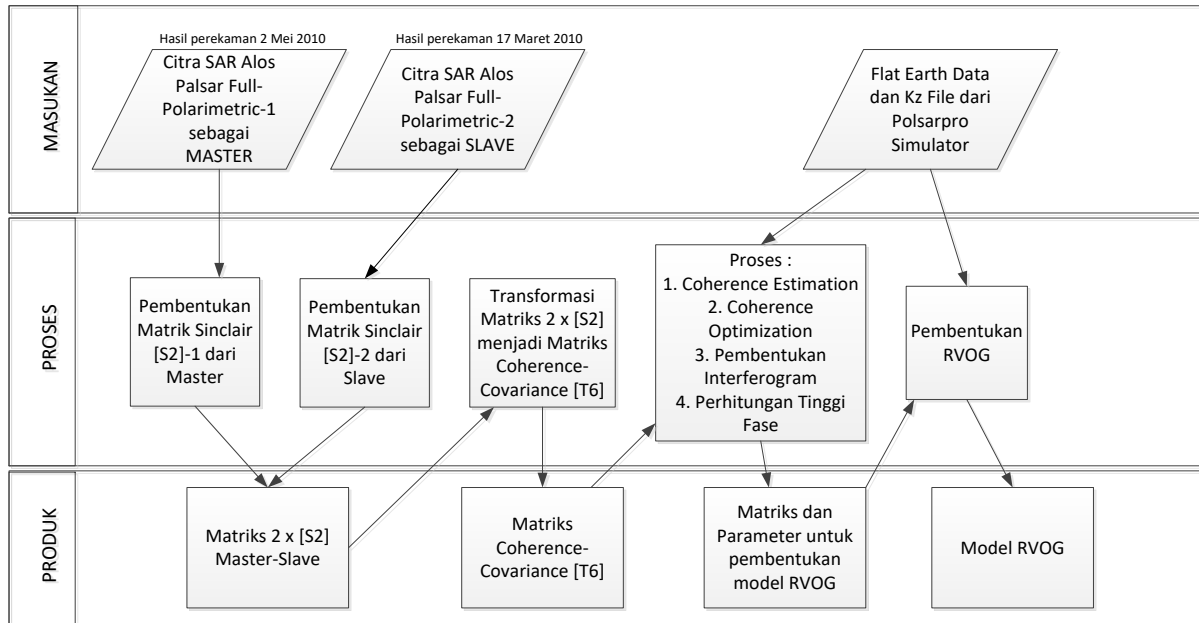


Gambar 2. Pasangan Citra ALOS PALSAR Full-Polarimetric yang digunakan dalam penelitian ini (A citra master tanggal perekaman 2 Mei 2010 dan B citra slave tanggal perekaman 17 Maret 2010)

2.3 Diagram Alir Penelitian

Dua buah citra Alos Palsar Full Polarimetric digunakan dalam penelitian ini adalah hasil akuisisi tanggal 2 Mei 2010 (sebagai *master*) dan 17 Maret 2010 (sebagai *slave*). Kedua buah citra tersebut diproses menggunakan perangkat lunak Sentinel-1 Toolbox untuk melihat koefisien backscatter keduanya. Sedangkan untuk pembentukan matriks Sinclair (S_2) digunakan perangkat lunak PolSARPRO. Oleh karena terdapat dua buah citra SAR, maka yang terbentuk adalah matriks Sinclair $2 \times (S_2)$ Master-Slave. Kemudian dilakukan transformasi menjadi matriks koherensi kovariansi (T_6). Dengan matriks (T_6) tersebut, selanjutnya dapat dianalisis koherensi kedua citra, optimisasi koherensi, pembentukan interferogram dan perhitungan tinggi fase interferometrik.

Diagram alir penelitian yang dilakukan dapat dilihat dalam Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Karbon dengan PolInSAR

Teknik Polarimetric Synthetic Aperture Radar (SAR) Interferometry (PolInSAR) diusulkan pertama kali oleh Cloude dan Papathanassiou (1998). PolInSAR adalah teknik penginderaan jauh radar berdasarkan pada kombinasi koherensi (*coherence combination*) radar polarimetrik (Pol-SAR) dan SAR Interferometry (InSAR) dimana secara substansi lebih sensitif terhadap parameter struktur dari hamburan volume (misalnya hutan) dibandingkan menggunakan Pol-SAR atau In-SAR (Lee dkk, 2010).

Pengembangan teknik estimasi cadangan karbon menggunakan teknologi radar terus dilakukan dalam beberapa dekade terakhir, baik metode (Cloude dan Papathanassiou, 1998; Cloude dan Papathanassiou, 2003; Mette dkk, 2003; Mitchel dkk, 2012; Richards, 2009; Wenxue dkk, 2015), maupun pengembangan teknologi akuisi (Lee dkk, 2010; Moreira dkk, 2013). Terkait dengan metode estimasi cadangan karbon, hingga kini sesungguhnya belum ada model baku estimasi yang dapat digunakan untuk semua kondisi hutan dan tutupan lahan serta lokasi geografis. Suatu model estimasi karbon yang dikembangkan di suatu wilayah, belum tentu tepat untuk digunakan di daerah lain. Model estimasi karbon merupakan fungsi dari beberapa parameter yakni jenis sensor yang digunakan, jenis vegetasi, jenis ekosistem/lingkungan dimana vegetasi tumbuh, kondisi topografi dan kondisi meteorologis (Lumsdon dkk, 2008; Lopez-Martinez dkk, 2012). Kondisi parameter-parameter tersebut akan sangat berpengaruh terhadap pendekatan yang digunakan.



Di sisi lain, jenis sensor berpengaruh pada sudut pancar gelombang radar (*incidence angle*), resolusi piksel pada arah jangkauan (*range resolution*) dan arah terbang (*azimuth resolution*). Parameter jenis sensor tersebut sangat berpengaruh pada pembentukan interferogram dari beda fase (*phase difference*). Ketidakteraturan resolusi piksel akan menyebabkan kesulitan pada proses koregistrasi. Sedangkan perbedaan *revisit period* akan menyebabkan terjadinya *temporal decorrelation* (Lavalle dkk, 2009). Kedua faktor tersebut baik akan mempengaruhi proses pembentukan interferogram. Model interferogram akan berpengaruh pada pembentukan model permukaan digital (*digital surface model*) yang merupakan representasi dari struktur biofisik vegetasi. Oleh karena terbentuk *volume scattering* (hamburan volume) yang acak dari hamburan balik radar pada volume vegetasi maka model tersebut dinamakan *Random Volume over Ground* (RVoG) (Mette, 2006; Lavalle, 2009; Lopez-Martinez dkk, 2010).

Faktor berikutnya adalah jenis vegetasi. Jenis vegetasi menentukan frekuensi (panjang gelombang) radar yang digunakan. Sebagai contoh, untuk estimasi karbon pada padang rumput, frekuensi pada X band lebih cocok digunakan ketimbang L band atau C band. Hal ini disebabkan hamburan balik radar pada frekuensi X band tersebut lebih optimum berinteraksi dengan tutupan vegetasi rumput sehingga dapat mengkarakterisasi properti vegetasi rumput tersebut. Untuk tumbuhan semak belukar atau tumbuhan perdu, frekuensi X band tersebut tidak cocok lagi digunakan karena struktur vegetasi menjadi lebih kompleks. Untuk dapat memahami karakteristik vegetasi, maka dipilih frekuensi yang dapat menembus vegetasi dan menghasilkan hamburan balik yang optimum. Frekuensi yang digunakan adalah C-band. Sedangkan untuk vegetasi tingkat tinggi, digunakan frekuensi L-band dan bahkan P-band (Kurvonen dkk, 1999; Richards, 2009; Lee dkk, 2010).

Faktor lainnya yang tak kalah pentingnya adalah lingkungan fisik dimana vegetasi tumbuh. Lingkungan fisik vegetasi berpengaruh terhadap polarisasi radar yang digunakan. Lingkungan fisik vegetasi dapat dicirikan dengan densitas (kerapatan) massa tumbuhan yang ada. Semakin rapat massa tumbuhan, maka polarisasi yang digunakan pun perlu dipertimbangkan sebaik-baiknya. Beberapa pustaka menyatakan bahwa penggunaan panjang gelombang L (Kurvonen dkk, 1999) dan P (Richards, 2009; Lee dkk, 2010), serta polarisasi HV dapat memberikan informasi yang lebih baik dibanding bila menggunakan polarisasi HH (contoh pada citra Alos Palsar) (Luckman dkk, 1997; Le Toan dkk, 2011).

Polarisasi yang berbeda terhadap sebuah obyek akan menyebabkan karakteristik hamburan balik yang berbeda pula yang pada gilirannya akan berpengaruh pada interpretasi obyek tersebut (Richards, 2009). Perkembangan teknologi penginderaan jauh radar telah menyebabkan perkembangan pada jenis polarisasi yang ada mulai dari polarisasi tunggal, dwi-polarisasi dan bahkan quad-polarisasi. Oleh karena itu, secara prinsip, terdapat empat jenis koefisien hamburan (*scattering coefficients*), yang disebut *sigma nought* (σ°) yang dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut (Richards, 2009; Zyl dan Kim, 2011):

$$\begin{bmatrix} \sigma_{HH}^o & \sigma_{HV}^o \\ \sigma_{VH}^o & \sigma_{VV}^o \end{bmatrix} \quad (1)$$

Hubungan antara gelombang yang ditransmisikan dan hamburan balik yang diterima dapat dituliskan dalam bentuk persamaan matriks sebagai berikut (Richards, 2009):

$$\begin{bmatrix} E_H^b \\ E_V^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_H^i \\ E_V^i \end{bmatrix} \quad (2)$$

Atau dapat dituliskan :

$$E^b = SE^i \quad (3)$$

Sejak diusulkan oleh Cloude dan Papathanassiou (1998), teknik Polinsar telah mengalami banyak perbaikan dan penyempurnaan melalui penyempurnaan analisis *temporal decorrelation*, *coherence optimisation*, penyempurnaan model *Random Volume over Ground*, inversi tinggi vegetasi, hingga penyempurnaan pada estimasi *ground topography* dan penerapan Polinsar pada dual polarisasi (Papathanassiou dan Cloude, 2001, Mette dkk, 2003; Florian dkk, 2006a; Florian dkk, 2006b; Lumsdon dkk, 2007; Zhang dkk, 2008; Lavallo dkk, 2009; Lopez-Martinez dkk, 2010; Lopez-Martinez dkk, 2012; Minh dan Zou, 2013; Fu dkk, 2014; Wenxue dkk, 2015).

Integrasi teknik polarimetrik dan interferometrik ke dalam Polinsar ini dilakukan untuk menerapkan kelebihan-kelebihan dari kedua teknik tersebut. Namun demikian, tidak berarti teknik Polinsar tidak memiliki kelemahan. Kelemahan utama dari teknik Polinsar adalah rentan terhadap *temporal decorrelation* (Mette, 2006; Richards, 2009; Lee dan Pottier; 2009).

Dalam perspektif pengukuran cadangan karbon, teknik Interferometry SAR (Insar) dapat mengukur atau menentukan pusat fase keseluruhan dari sebuah signal pada sebuah piksel yang ditinjau akan tetapi tidak dapat membedakan letak titik hamburan (*scattering point*) apakah berada pada kanopi vegetasi atau berada pada permukaan tanah. Masalah ini dapat diselesaikan melalui penerapan polarisasi pada lingkup interferometry (Polinsar) (Cloude dan Papathanassiou, 1998).

Polarimetri peka terhadap bentuk dan orientasi obyek, sementara interferometri peka terhadap distribusi spasial dan tinggi obyek. Dengan demikian Polinsar memiliki kemampuan mengidentifikasi mekanisme hamburan pada suatu medium dengan menerapkan perbedaan fase pada polarisasi yang berbeda. Oleh karena itu Polinsar tidak hanya menggunakan beda fase, tetapi juga amplitude dari koherensi kompleks interferometri untuk menentukan struktur vertikal dari volume vegetasi dengan memisahkan lokasi antara pusat fase pada berbagai polarisasi yang berbeda (Richards, 2009; Lee dan Pottier, 2009; Wenxue dkk, 2015).

3.2 Sistem PolInSAR

Sebuah sistem PolInSAR bekerja berdasarkan dua buah data citra polarimetrik yang berasal dari dua buah posisi pengamatan yang berbeda yang menghasilkan *complex polarimetric interferometric coherency*, yakni (Richard, 2009) :



$$\gamma = |\gamma|e^{j\Delta\phi} = \frac{\langle k_1 k_2^* \rangle}{\sqrt{\langle k_1 k_1^* \rangle \langle k_2 k_2^* \rangle}} \quad (4)$$

k_1 dan k_2 adalah vektor target pada citra yang akan di-interferensi-kan, karena kedua vektor tersebut mengandung informasi yang dibutuhkan dalam membentuk citra interferometrik dari semua kombinasi polarisasi.

Untuk dua buah citra SAR yang koheren, perbedaan fase interferometrik diformulasikan sebagai berikut (Richards, 2009):

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{baseline} + \Delta\phi_{polarization} + \Delta\phi_{pixel} + \Delta\phi_{others} \quad (5)$$

Dari bentuk persamaan (III.4) kita dapat menuliskan bahwa $\langle k_1 k_2^* \rangle = \langle w_1^{*T} k_1 (w_2^{*T} k_2)^{*T} \rangle = w_1^{*T} \langle k_1 k_2^* \rangle w_2$ dan sebaliknya untuk denominator-nya. w merupakan vector filter *Unitarian* (Cloude dan Papathanassiou, 1998). Selanjutnya, oleh karena vector bobot konstan maka dapat dikeluarkan dari operator ekspektasi $\langle \rangle$. Sehingga *complex coherence* dapat dituliskan sebagai :

$$\gamma = \frac{w_1^{*T} \langle k_1 k_2^* \rangle w_2}{\sqrt{w_1^{*T} \langle k_1 k_1^* \rangle w_1} \sqrt{w_2^{*T} \langle k_2 k_2^* \rangle w_2}} \text{ atau } \gamma = \frac{w_1^{*T} \Omega_{12} w_2}{\sqrt{w_1^{*T} T_{11} w_1} \sqrt{w_2^{*T} T_{22} w_2}} \quad (6)$$

Dimana T_{11} dan T_{22} adalah matriks koherensi masing-masing citra SAR serta :

$$\Omega_{12} = E(k_1 k_2^{*T}) \equiv \langle k_1 k_2^{*T} \rangle \quad (7)$$

Merupakan matriks gabungan dari complex coherence atau *joint image complex coherency matrix* yang berisi informasi baik polarimetrik maupun interferometrik.

Citra SAR Full-Polarimetrik secara umum dapat direpresentasikan ke dalam basis Pauli, dengan mengasumsikan adanya asas resiprokal, untuk satu lintasan, menggunakan vector hamburan (*scattering vector*) :

$$k_p = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{HH} + S_{VV} \quad S_{HH} - S_{VV} \quad 2S_{HV}]^T \quad (8)$$

3.3 Matriks T6

Dari persamaan III.8 di atas, untuk koregistrasi dua buah citra SAR full-polarimetrik yang koheren, dapat dibentuk matriks Hermitian 6x6 (T6 matrix) sebagai berikut :

$$[T_6] = \left\langle \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1^* & k_2^* \end{bmatrix} \right\rangle = \begin{bmatrix} [T_{11}] & [\Omega_{12}] \\ [\Omega_{12}]^* & [T_{22}] \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dimana $\langle \rangle$ merepresentasikan operator *multi-looking* dan $*$ merupakan transformasi Hermitian. $[T_{11}]$ dan $[T_{22}]$ merepresentasikan matriks koherensi Hermitian baku (*standard Hermitian coherency matrix*) yang berisikan informasi full-polarisasi masing-masing citra SAR full-polarimetrik. Adapun $[\Omega_{12}]$ merupakan matriks kompleks baru dengan dimensi 3x3 yang mengandung informasi tidak saja

terkait informasi polarimetrik, tetapi juga hubungan fase interferometrik (*interferometric phase*) antar kanal polarimetrik dalam kedua citra yang koheren tersebut.

Untuk kondisi single-baseline, sebagaimana citra SAR yang digunakan dalam penelitian ini, rentang waktu dua akuisisi akan menyebabkan *temporal decorrelation* yang besar, yang berarti nilai koherensi akan menjadi kecil. Untuk meningkatkan kembali nilai koherensi tersebut, dapat dilakukan *coherence optimization*. Salah satu algoritma *coherence optimization* adalah *Equal Scattering Mechanism* (ESM) (Colin dkk, 2006).

3.4 Coherence Optimization

Masalah utama dalam penerapan PolInSAR adalah adanya dekorelasi temporal (Mette, 2006; Richards, 2009; Lee dan Pottier, 2009). Dekorelasi temporal akan menyebabkan ketidakpastian dalam pembentukan interferogram. Hal tersebut sulit untuk dihindari karena dekorelasi temporal dipengaruhi oleh kondisi fisik vegetasi (seperti pertumbuhan vegetasi maupun perubahan orientasi vegetasi akibat angin), kondisi hidrometeorologi (hujan, perubahan temperature) dan sebagainya. Namun demikian, dekorelasi temporal tersebut dapat diminimalisasi melalui optimisasi koherensi.

Dalam persamaan (III.9) di atas, matriks-matriks $[T_{11}]$, $[T_{22}]$ dan $[\Omega_{12}]$ ditetapkan berdasarkan properti atau karakteristik daerah atau obyek yang direkam. Namun demikian, untuk memperoleh hasil yang diinginkan, vector filter w_1 dan w_2 dapat dipilih sesuai keperluan. Secara khusus kita dapat memaksimalkan atau meng-optimisasi koherensi pada persamaan (III.9) melalui pemilihan yang hati-hati pada kedua vector filter tersebut (Richards, 2009). Nilai optimum dari w_1 dan w_2 dapat diperoleh dari solusi *eigenvalues problems* (Cloude dan Papathanassiou, 1998).

Gambar 4 memperlihatkan hasil optimisasi koherensi untuk pasangan citra ALOS PALSAR Full-Polarimetric dimana Gambar 4.A merupakan hasil optimisasi-1 dengan nilai koherensi >0.8 , Gambar 4.B adalah hasil optimisasi-3 dengan koherensi antara 0.4-0.8 dan Gambar 4.C adalah hasil optimisasi-3 dengan nilai koherensi <0.4 . Idealnya secara teoritik, untuk pembentukan model vegetasi, interferogram yang dibutuhkan adalah yang memiliki koherensi tinggi. Semakin besar nilai koherensi maka semakin baik model vegetasi yang terbentuk. Namun demikian, dalam kenyataannya interferogram dengan nilai koherensi 0.4-0.8 juga dapat membentuk model vegetasi, namun memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah.

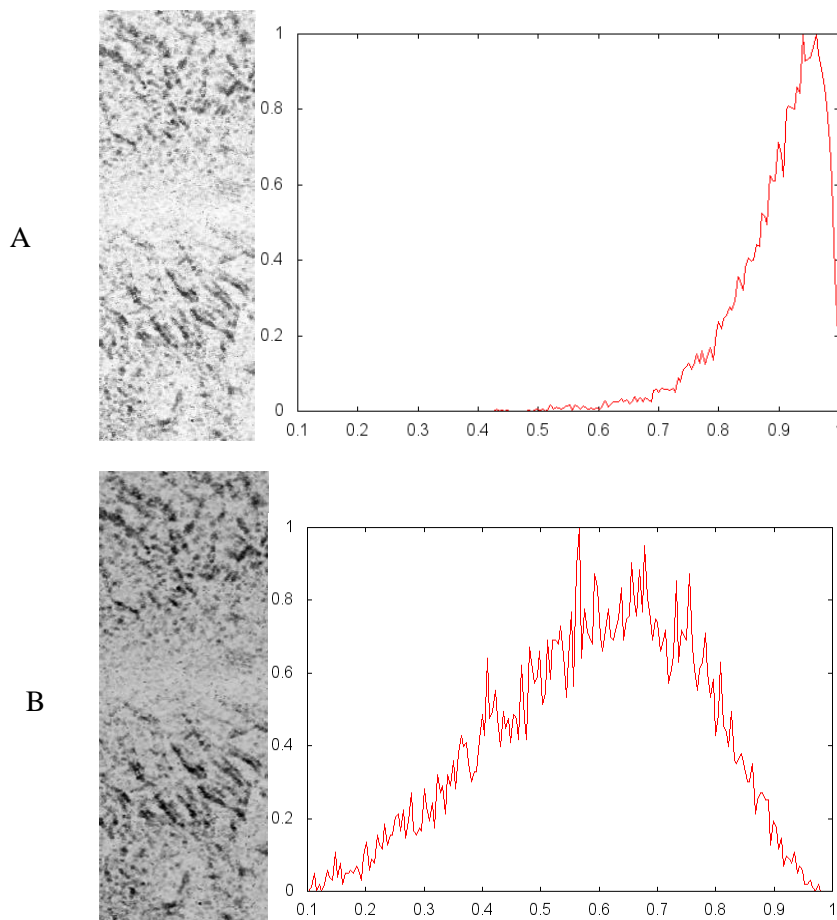
3.5 Tinggi Vegetasi dari Model *Random Volume over Ground* (RVoG)

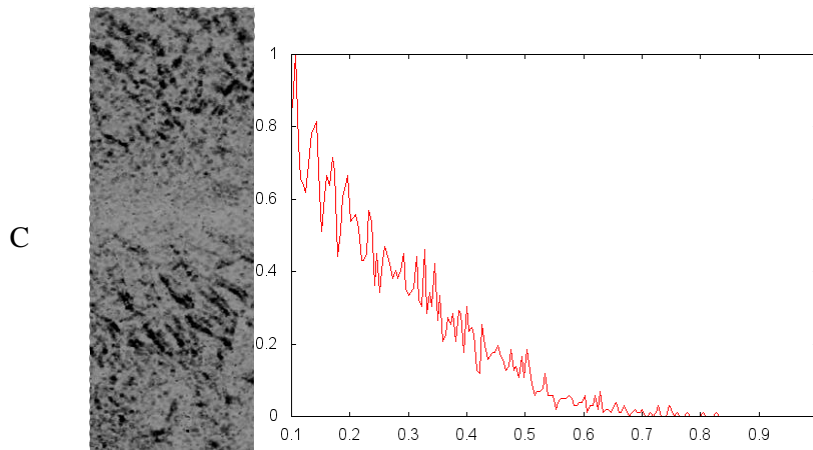
Tinggi kanopi vegetasi pada suatu kawasan hutan merupakan parameter penting dalam estimasi cadangan karbon (Mette dkk, 2004). Dalam penelitian-penelitian terdahulu menggunakan model alometrik, parameter *Diameter at Breast Height* (DBH) menjadi salah satu masukan penting pada persamaan alometrik untuk menghasilkan volume cadangan karbon (Chave dkk, 2005; Saatchi dkk, 2011). Kelemahan utama model alometrik dengan DBH adalah bahwa parameter DBH tersebut harus



diukur langsung di lapangan (*semi empirical method*) dan hasilnya digunakan dalam estimasi cadangan karbon. Hal ini menjadi tidak begitu efisien.

Dengan kemajuan teknologi dalam bidang radar remote sensing, khususnya dalam memahami karakteristik polarimetrik dan interferometric (Polinsar) (Cloude dan Papathanassiou, 1998; Papathanassiou dan Cloude, 2001; Cloude dan Papathanassiou, 2003; Cloude, 2006) maka pengukuran DBH menjadi tidak perlu dilakukan. Dalam model alometrik yang menyatakan hubungan antara tinggi pohon dengan cadangan karbonnya maka tinggi vegetasi dapat diperoleh melalui teknik Polinsar tersebut. Untuk memperoleh cadangan karbon dari nilai ketinggian, dilakukan inversi ketinggian hutan atau *forest height inversion*.





Gambar 4. Hasil optimisasi koherensi, A. Hasil Optimisasi-1 (koherensi >0.8) . B. Hasil Optimisasi-2 (koherensi antara 0.4-0.8), C. Hasil optimisasi-3 (koherensi <0.4)

Inversi Ketinggian Hutan (*forest height inversion*) untuk menentukan cadangan karbon, didasarkan pada model *Random Volume over Ground* (Papathanassiou, 1998; Papathanassiou dan Cloude, 2001; Papathanassiou, 2003), yaitu:

$$\tilde{\gamma}_v = \exp(ik_z z_0) \frac{\tilde{\gamma}_{v0} + m}{1+m} \quad (10)$$

$k_z z_0 = \varphi_0$ adalah Phase yang berhubungan dengan topografi z_0 , dimana k_z adalah *vertical wavenumber* dan m adalah rasio amplitude efektif *ground-to-volume* yang dihitung untuk atenuasi yang melalui volume. $\tilde{\gamma}_{v0}$ adalah dekorelasi volume yang disebabkan oleh tidak adanya *ground layer* dan bila diuraikan menjadi :

$$\tilde{\gamma}_v = \exp(ik_z z_0) \frac{\int_0^{h_v} \exp(ik_z z') \exp\left(\frac{2\sigma z'}{\cos\theta_0}\right) dz'}{\int_0^{h_v} \exp\left(\frac{2\sigma z'}{\cos\theta_0}\right) dz'} \quad (11)$$

Dimana σ merupakan rata-rata koefisien pembeda dan θ adalah sudut datang gelombang (*incidence angle*).

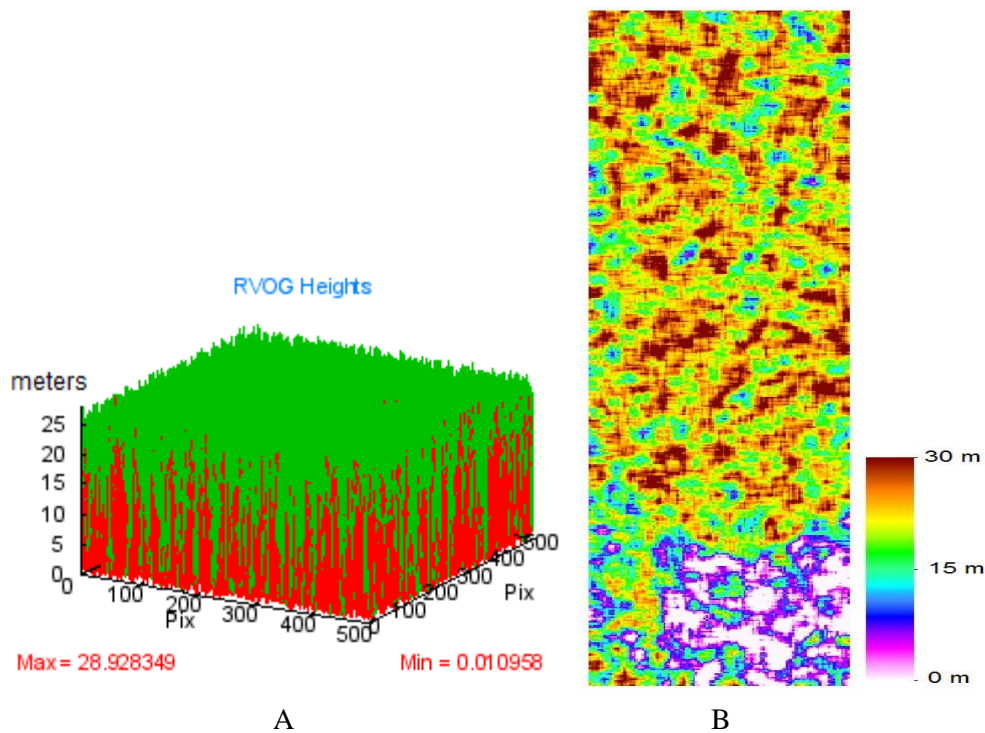
k_z sendiri dihitung berdasarkan θ (sudut datang), selisih dua sudut datang ($\Delta\theta$) dan panjang gelombang λ , sebagaimana dilihat dalam persamaan berikut.

$$k_z = \frac{4\pi\Delta\theta}{\lambda \sin\theta} \text{ radians/meter} \quad (12)$$

Kunci utama dari aplikasi PolInSAR ini adalah adanya asumsi bahwa m tergantung pada polarisasi sedangkan $\tilde{\gamma}_v$ tidak. Melalui manipulasi persamaan (III.10), dapat dilihat bahwa nilai *complex coherence* akan langsung menjadi fungsi dari m di dalam lingkaran diagram complex coherence (Cloude dan Papathanassiou, 2003). Secara khusus, untuk nilai m yang besar, garis akan memotong

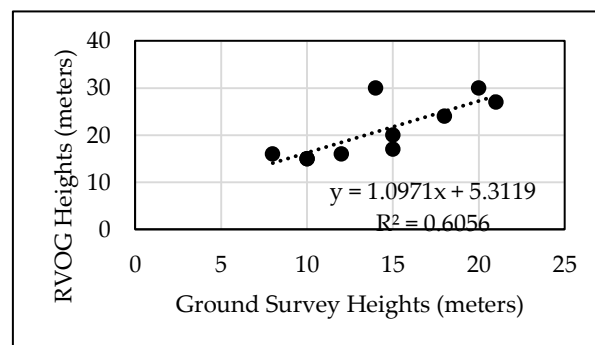
lingkaran dan fase yang disesuaikan pada titik tersebut akan langsung berhubungan dengan ketinggian permukaan tanah (*ground elevation*).

Pada batas tidak adanya komponen permukaan tanah (*ground component*) ($m=0$), maka koherensi yang diamati merupakan hasil dari koherensi volume (*volume coherence*) $\tilde{\gamma}_v$ yang dirotasikan melalui ϕ_0 . Tujuan utama dari kebanyakan PolInSAR adalah untuk membangun model yang baik untuk mengestimasi tinggi volume kanopi h_v melalui proses inversi (*inversion process*). Hasil model RVOG dan tinggi vegetasi diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. (A) Model Random Volume over Ground, (B) Tinggi vegetasi dari RVOG

Untuk menilai tingkat ketelitian hasil estimasi tinggi RVOG maka perlu divalidasi dengan tinggi aktual di lapangan. Hasil validasi tinggi RVOG dibandingkan dengan tinggi vegetasi hasil survai lapangan pada sampling plot disajikan dalam gambar 6.



Gambar 6. Hasil validasi tinggi RVOG terhadap tinggi hasil survai lapangan

Hasil validasi memperlihatkan bahwa nilai korelasi antara model tinggi hasil estimasi terhadap ukuran tinggi aktual relatif baik dimana nilai R^2 mencapai 0,6056. Kemungkinan hal tersebut disebabkan disamping adanya temporal dekorelasi yang besar juga kondisi topografi yang curam dan bergelombang yang menyebabkan terjadinya distorsi citra ALOS PALSAR serta kemungkinan pengukuran aktual di lapangan yang kurang teliti.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Keunggulan teknik PolINSAR dibandingkan beberapa teknik lainnya dalam estimasi cadangan karbon adalah kemampuannya dalam memodelkan struktur fisik vegetasi khususnya tinggi vegetasi.
- b. Sumber utama ketidakpastian estimasi tinggi vegetasi menggunakan teknik PolInSAR adalah dekorelasi temporal akibat adanya temporal baseline dua buah citra SAR yang digunakan. Semakin panjang temporal baseline (dalam penelitian ini 46 hari untuk ALOS PALSAR) maka dekorelasi temporal juga semakin besar. Semakin besar dekorelasi temporal maka nilai koherensi interferometrik menjadi lebih kecil, artinya makin tidak koheren dan ketelitian hasil estimasi tinggi vegetasi juga berkurang.
- c. Penerapan teknik PolInSAR menggunakan citra ALOS PALSAR full-polarimetrik dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam pemetaan cadangan karbon pada hutan tropis Indonesia karena kemampuan sinyal *backscatter* (hamburan balik) yang berkorelasi dengan volume vegetasi dan kemampuannya dalam memodelkan struktur vertikal vegetasi berdasarkan fase, amplitudo koheren interferometri dan pemisahan pusat fase pada polarisasi yang berbeda menghasilkan estimasi tinggi yang cukup *reliabel* karena akurasi hasil estimasi tinggi vegetasi dimana $R^2=0,61$. Hal ini kemungkinan besar disebabkan utamanya oleh temporal dekorelasi yang besar. Disamping itu, kondisi daerah studi yang bergelombang yang menyebabkan distorsi citra SAR kemungkinan ikut mempengaruhi estimasi posisi pusat fase interfeormetrik.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Profesor Masanobu Shimada dan rekan dari *Japan Aerospace and Exploration Agency* (JAXA) atas kesediannya menyediakan citra satelit ALOS PALSAR *Full-Polarimetric* yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Ahmed, R., Siqueira, P., Bergen, K., Chapman, B., Hensley, S., 2010. "A Biomass Estimate Over the Harvard Forest Using Field Measurements with Radar and Lidar Data", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing



- Barredo, José I., Jesús San Miguel, Giovanni Caudullo, Lorenzo Busetto, 2012. "A European map of living forest biomass and carbon stock", Executive report, European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability
- Bernard, Florence and Minang, Peter A, 2011. "Strengthening Measurement, Reporting and Verification (MRV) for REDD+", International Institute for Sustainable Development
- Boerner, Wolfgang-Martin, 2007. "Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR) Polarimetry", Wexford College Press, ISBN-13: 978-1934939062, ISBN-10: 1934939064
- Cloude, S.R and Papathanassiou, K., 1998. "Polarimetric SAR Interferometry", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36 No. 5, pp. 1551-1565, September 1998
- Cloude, S.R and Papathanassiou, K., 2003. "Three-stage inversion process for Polarimetric SAR Interferometry", IEE Proceedings-Radar Sonar and Navigation, Vol. 150, No. 3, pp. 125-134
- Englhart, S., Keuck, V., Siegert, F., 2012. "Modeling Aboveground Biomass in Tropical Forest using Multi-Frequency SAR Data-A Comparison Methods", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 5 No.1
- Fang, J.; Brown, S.; Tang, Y.; Nabuurs, G. J.; Wang, X.; Shen, H., 2006. "Overestimated biomass carbon pools of the northern mid-and high latitude forests", *Climatic Change*, 74(1-3), 355-368.
- FAO, 2013, "National Forest Monitoring Systems: Monitoring and Measurement, Reporting and Verification (M & MRV) in the context of REDD+ Activities".
- Florian, K., Papathanassiou K., Hajnsek, I. and Coscia, A., 2006a. "Potential of forest height estimation using X band by means of two different inversion scenarios", ESA 3-11536/06/I-EC
- Florian, K., Papathanassiou K., Hajnsek, I. and Dirk, H., 2006b. "Forest height estimation in tropical rain forest using Pol-Insar techniques", German Aerospace Center (DLR), IEEE 0-7803-9510-7/06
- Fu, W.X., Guo, H.D., Xie, C., Lu, Y.C., and Li, X.W., 2014. "Forest height inversion using dual-pol polarimetric SAR interferometry", 35th International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE35), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 17 (2014) 012072, IOP Publishing, DOI: 10.1088/1755-1315/17/1/012072
- Hajnsek, I., Kugler, F., Papathanassiou, K., Horn, R., Schieber, R., Moreira, A., Hoekman, D., Davidson, M. 2005. "INDREX II – Indonesian airborne radar experiment campaign over tropical forest in L- and P- band: first results", Proceedings of Geoscience and Remote Sensing Symposium 2005 (IGRASS 2005) Page(s): 4335-4338, July 25-29, 2005, Seoul, South Korea.
- Hajnsek, I., Hoekman, D. 2006. "INDREX-II Indonesian Radar Experiment Campaign over Tropical Forest in L- and P-band", Final Report, European Space Agency

- Hussin Y.A., Reich R. M., Hoffer R. M., 1991. "Estimating Slash Pine Biomass Using Radar Backscatter", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions* 29.3 (1991): 427-431
- Jaya, I Nengah Surati dan Saleh, M. Buce, 2012. "Peta Jalan (Road Map) MRV Kehutanan", Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan, Kementerian Kehutanan RI dan UN-REDD Programme Indonesia.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W.C., Imanuddin, R. dan Hutabarat, S. 2014. "Pendugaan Biomassa Hutan untuk Perhitungan Emisi CO₂ di Kalimantan Tengah: Pendekatan komprehensif dalam penentuan faktor emisi karbon hutan". Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor, Indonesia.
- Kugler, F., Papathanassiou, K., Hajnsek, I., Hoekman, D., 2006. "Forest Height Estimation in Tropical Rain Forest using Pol-InSAR Techniques", *IEEE*, 0-7803-9510-7/06
- Kurvonen, L., Pulliainen, J., and Hallikainen, M., 1999. "Retrieval of biomass in boreal forest from multitemporal ERS-1 and JERS-1 SAR images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, pp. 198-205
- Kustiyo, Roswintiarti, O., Tjahjaningsih, A., Dewanti, R., Furby, S., Wallace, J., 2015, Annual Forest Monitoring as Part of the Indonesia's National Carbon Accounting System, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-7/W3, 2015, 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11–15 May 2015, Berlin, Germany
- Lavalle, M., Hensley, S., Williams, M.L., 2012. "Use of Airborne Instruments for Tropical Forest Monitoring Applications", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*
- Le Toan, T., Quegan, S., Davidson, M.W.J., Baltzer, H., Paillou, P., Papathanassiou, K., Plummer, S., Rocca, F., Saatchi, S., Shugart, H., Ulander, L. 2011, "the BIOMASS Mission: Mapping global forest biomass to better understand the terrestrial carbon cycle", *Remote Sensing of Environment* 115 (2011) 2850-2860
- Lee, S., Kugler, F., Papathanassiou, K., Hajnsek, I., 2010. "Polarimetric SAR Interferometry for Forest Application at P-Band: Potentials and Challenges", German Aerospace Center (DLR), Institute of Radio Frequency Technology and Radar System (DLR-HR)
- Lee, Jong-Sen and Pottier, Eric, 2009. "Polarimetric Radar Imaging from Basics to Applications", CRC Press, ISBN 978-1-4200-5497-2
- Lopez-Martinez, C., Alonso, A., Fabregas, X., and Papathanassiou, K. P., 2010. "Ground Topography Estimation over Forest Considering Polarimetric SAR Interferometry", *IEEE, IGARS 2010*, 978-1-4244-9564-1/10



- Lopez-Martinez, C., Alonso, A., Fabregas, X., and Papathanassiou, K. P., 2012. "Underlying Topography Estimation and Separation of Scattering Contributions over Forest Based on Polinsar Data", Proceedings Fringe 2011 Workshop, Frascati, Italy
- Luckman, A.J., 1997. "Texture in airborne SAR imagery of tropical forest and its relationship to forest regeneration stage", International Journal of Remote Sensing, 18, pp. 1333-1349
- Lumsdon, P., Mercer, B., Zhang, Q., 2008. "Estimation and Monitoring of Tropical Forest Biomass using Polarimetric Interferometric SAR Data", Intermap Technologies Corp.
- Mette, T., Papathanassiou, K.P., Hajnsek, I., Zimmermann, R. 2003. "Forest Biomass Estimation using Polarimetric SAR Interferometry".
- Mette, Tobias, 2006. "Forest Biomass Estimation from Polarimetric SAR Interferometry", Dissertation, Technischen Universität München
- Minh, N.P., and Zou, B, 2013. "A novel algorithm for forest height estimation from Polinsar image", International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, Vol. 6, No. 2, April 2013
- Mitchell, A.L., Williams, M., Tapley, I., Milne, A.K., 2012. "Interoperability of Multi-Frequency SAR Data for Forest Information Extraction in Support of National MRV System", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing
- Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I., and Papathanassiou, K.P., 2013. "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar", IEEE Geoscience and remote sensing magazine, Microwaves and Radar Institute of the German Aerospace Center (DLR), Germany, Digital Object Identifier 10.1109/MGRS.2013.2248301
- Papathanassiou, K. and Cloude, S.R., 2001. "Single base-line Polarimetric SAR Interferometry", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39 No. 11, pp. 2352-2363
- Richards, J. A., 2009. "Remote Sensing with Imaging Radar, Signals and Communication Technology", ISBN: 978-3-642-02019-3, Springer
- Rowland, C.; Balzter, H.; Dawson, T.; Luckman, A.; Skinner, L.; Patenaude, G., 2002. "Biomass estimation of Thetford forest from SAR data: potential and limitations", ForestSAT, Edinburgh, 5-9 August 2002, Forest Research, Forestry Commission.
- Saatchi, Sassan S. 2010. "Synergism of optical and radar data for forest structure and biomass", *Ambiência Guarapuava (PR)* v.6 Ed. Especial 2010 p.151-166 ISSN 1808-0251
- Soja M. J., Sandberg G., Ulander L. M. H., 2010. Topographic Correction for Biomass Retrieval from P-band SAR Data in Boreal Forests, 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium : 4776–79.

- Sun G., Ranson K. J., Kharuk V. I., 2002. “Radiometric Slope Correction for Forest Biomass Estimation from SAR Data in the Western Sayani Mountains, Siberia”, *Remote Sensing of Environment* **79** (2-3): 279–87.
- Wenxue, F., Huadong, G., Xinwu, L., Bangsen, T. and Zhongchang, S, 2015. “Extended Three-Stage Polarimetric SAR Interferometry Algorithm by Dual-Polarization Data”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, DOI: 10.1109/TGRS.2015.2505707
- Zhang, Q., Mercer, J.B., Cloude, S.R., 2008. “Forest Height Estimation from INDREX-II L-Band Polarimetric INSAR Data”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial information Science*, Vol. XXXVII, Part B1. Beijing.

BIOGRAFI PENULIS

Laode M. Golok Jaya, M.T.



Laode M. Golok Jaya. Lahir di Raha, Kabupaten Muna (Sulawesi Tenggara) Tanggal 20 Oktober 1976. Pendidikan dasar hingga menengah diselesaikan di Kota Raha. Kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Bandung dimana ia menamatkan pendidikan S1 (Sarjana Teknik) dan S2 (Magister Teknik) pada Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung (ITB) masing-masing tahun 2003 dan 2009. Saat ini sedang menempuh pendidikan Doktor pada program studi yang sama di ITB dalam bidang penginderaan jauh. Pekerjaan yang diemban sehari-hari adalah dosen pada Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo (UHO) Kendari-Sulawesi Tenggara. Bidang riset yang ditekuni adalah Radar Remote Sensing dan Geospatial Technology.

Prof. Ketut Wikantika



Ketut Wikantika, lahir di Singaraja, Bali, 17 Desember 1966. Menyelesaikan program S-1 Teknik Geodesi ITB tahun 1991, kemudian menyelesaikan program Magister dan Doktor bidang *Image Informatics* dan Penginderaan Jauh (remote sensing) di Chiba University, Jepang pada tahun 1998 dan 2001. Pada tahun 2001-2002 mengikuti program Post Doctoral di *Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS)* dengan tema riset *Identification of Agricultural Land Covers in Mountainous Area Using Very High Resolution Satellite Data*. Sejak 2005, Ketut Wikantika menjabat sebagai Kepala Pusat Penginderaan Jauh ITB, juga sebagai Ketua *Continuing Education Program (CEP)*, ITB. Menjadi anggota Komisi Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, LPPM-ITB sejak 2007. Kecintaannya terhadap bidang penelitian membuatnya menjadi pendiri Forum Peneliti Indonesia Muda (ForMIND).



Dr. Katmoko Ari Sambodo



Katmoko Ari Sambodo, menerima *Bachelor Degree in Electrical and Electronic Engineering* dari Ehime University-Japan (1996), Master dalam bidang *Electronic Engineering* dari University of Electro-Communication, Tokyo-Japan (2002), dan gelar Doktor diperoleh dari Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia, Depok (2009). Sejak 1996 Dr. Ari Katmoko bekerja di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dan saat ini bekerja sebagai peneliti senior dalam bidang *Teknologi Penginderaan Jauh*. Bidang yang ditekuni saat ini adalah *SAR (Polarimetry and Interferometry)*, *Pattern Recognition* dan *Machine Learning*, serta *software development* untuk remote sensing data processing.

Dr. rer. nat. Ari Susandi



Memperoleh gelar Sarjana dari Program Studi Meteorologi dan Geofisika ITB pada tahun 1991. Selanjutnya gelar Magister Teknik diperolehnya dari Program Magister Studi Pembangunan ITB. Kemudian gelar Dr. rer.nat diperoleh dari Hamburg University Germany pada bidang *Der Fachbereich Geowissenschaften*. Dr. Armi Susandi saat ini bekerja sebagai Ketua Program Studi Meteorologi ITB. Minat penelitian beliau adalah *meteorological system and climate change*.

Estimasi Penetrasi Backscattering Data Polarimetric SAR (PolSAR) Berdasarkan Model TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*)

Dyah Ayu Ritma Ratri¹, Asep Saepuloh², Ketut Wikantika³

¹Teknik Geodesi dan Geomatika, Kelompok Keilmuan Penginderaan Jauh dan Sains Informasi
Geografis, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

²Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, Indonesia
email: ¹dyahayuritmaratri@gmail.com, ²saepuloh@gc.itb.ac.id, ¹ketut@gd.itb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi penetrasi *backscattering* data *polarimetric SAR* berdasarkan indeks kering suatu objek. Indeks kering didapatkan dari model (*Temperature Vegetation Dryness Index*). TVDI merupakan indeks kekeringan yang ditentukan berdasarkan parameter empiris dari hubungan antara temperatur permukaan (T_s) dan indeks vegetasi (NDVI). Respon *backscattering* polarisasi HV lebih sensitif terhadap perbedaan vegetasi sedangkan untuk tutupan lahan terbuka *backscattering* polarisasi HH lebih baik dibandingkan *backscattering* VV atau HV. Hasil estimasi penetrasi menunjukkan bahwa koefisien *backscattering* dengan TVDI menunjukkan korelasi negatif. Semakin rendah nilai indeks kering semakin tinggi koefisien *backscattering* (σ°).

Kata kunci: Penetrasi, *Backscattering*, *Polarimetric*, SAR, TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*)

Abstract

The aims of this research is to estimate backscattering penetration of polarimetric SAR data based on land surface dryness index using Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI). TVDI is an empirical parameterisation of the relationship between surface temperature (T_s) and vegetation index (NDVI). On vegetation soils, backscattering coefficient of polarization HV is generally higher. For bare soils, backscattering coefficient of polarization HH is the greater than VV and HV. Estimation of backscattering penetration result showed that the correlation between backscattering coefficient value and TVDI is negative, means that if the dryness index TVDI is low the backscattering coefficient (σ°) will be high.

Keywords: Penetration, *Backscattering*, *Polarimetric*, SAR, *Temperature Vegetation Dryness Index* (TVDI)



1. PENDAHULUAN

Data *polarimetric SAR (Synthetic Aperture Radar)* merupakan data *polarimetric* dari satelit aktif yang menggunakan gelombang mikro radar dengan kombinasi polarisasi horizontal dan vertikal. Data *polarimetric* merekam empat jenis kombinasi polarisasi sinyal transmisi dan sinyal yang diterima yaitu dikirim H diterima H (HH), dikirim H diterima V (HV), dikirim V diterima H (VH), dan dikirim V diterima V (VV) (Lusch, 1999).

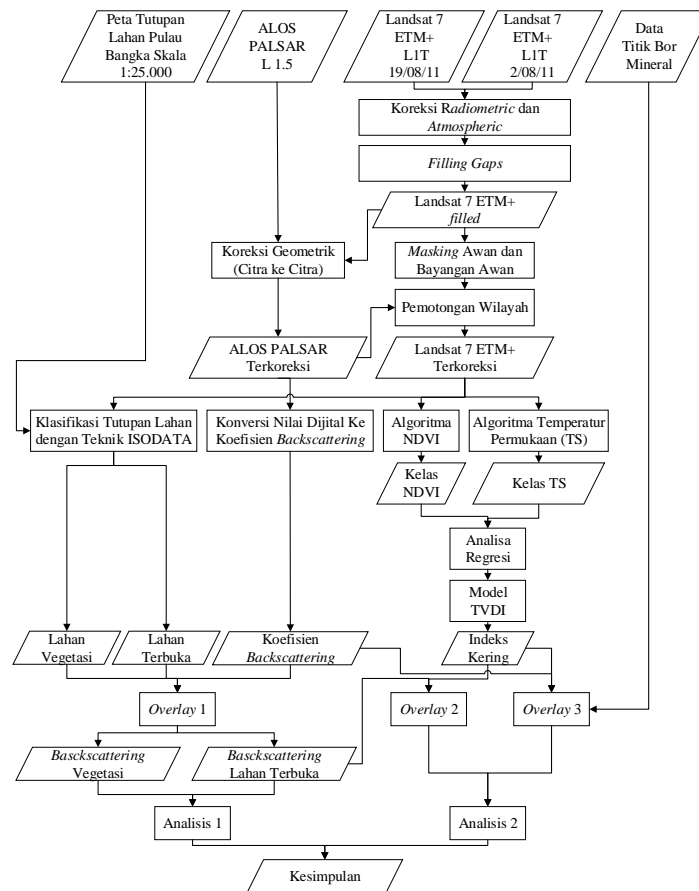
Data SAR dari satelit kanal-L memiliki gelombang lebih panjang dibandingkan dengan satelit yang menggunakan gelombang kanal-C atau X, dan dapat digunakan untuk proses estimasi objek bawah permukaan (Elachi dkk., 1984) dan kelembaban tanah (Dobson & Ulaby, 1986).

Pada area kering, SAR dengan kanal-L mampu menyelidiki objek bawah permukaan yang tertutup oleh materi kering seperti pasir (Elachi dkk., 1984) (Schaber dkk., 1986). Penetrasi kedalaman *backscattering* akan berkurang dengan bertambahnya frekuensi dan dielektrik suatu objek (Elachi, 1987). Nilai hamburan balik gelombang mikro dari satelit SAR memiliki korelasi dengan variasi kelembaban tanah dan korelasi tersebut bernilai positif (Dobson & Ulaby, 1986). Perilaku vegetasi dan kelembaban tanah dapat digunakan untuk mengestimasi nilai kekeringan suatu lahan (Sandholt dkk., 2002). Nilai kekeringan ini dapat diekstrak dari model TVDI (*Temperature-Vegetation Dryness Index*).

TVDI merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan indeks kekeringan ditentukan berdasarkan parameter empiris dari hubungan antara temperatur permukaan dan indeks vegetasi (Sandholt dkk., 2002). Indeks tersebut dikaitkan dengan kelembaban tanah dan diperoleh berdasarkan masukan dari informasi satelit penginderaan jauh. Pola hamburan balik objek pada area kering dan basah dari model TVDI ini akan diestimasi.

2. METODE DAN DATA

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan pemodelan data penginderaan jauh untuk melakukan estimasi penetrasi *backscattering polarimetric SAR* suatu objek menggunakan indeks kering berdasarkan nilai TVDI. TVDI ditentukan berdasarkan hubungan indeks vegetasi dan temperatur permukaan. Selain parameter indeks kering ditentukan pula tutupan lahan area penelitian yang diklasifikasi menjadi tutupan lahan vegetasi dan lahan terbuka. Penjelasan mengenai alur pengerjaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Penetrasi Backscattering

Backscattering atau hamburan balik terjadi ketika energi atau gelombang yang dipancarkan mengenai objek kemudian gelombang tersebut memantul kembali dengan intensitas tertentu. Intensitas suatu pixel pada citra radar menggambarkan besar hamburan balik gelombang mikro yang diterima oleh sensor. Intensitas ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis, ukuran, bentuk, dan orientasi objek; kelembaban tanahnya; frekuensi dan polarisasi pulsa radar serta sudut masuk (*incident angle*) dari berkas radar (Lusch, 1999).

Setiap objek memiliki suatu medium tertentu, objek dapat dideteksi oleh gelombang radar jika nilai permitivitasnya berbeda dari mediumnya. Penetrasi kedalaman (L_p) didefinisikan sebagai jarak ketika energi berkurang saat nilai $P(0)e^{-1}$ dengan kehilangan sebesar 4,3 dB (Elachi, 1987):

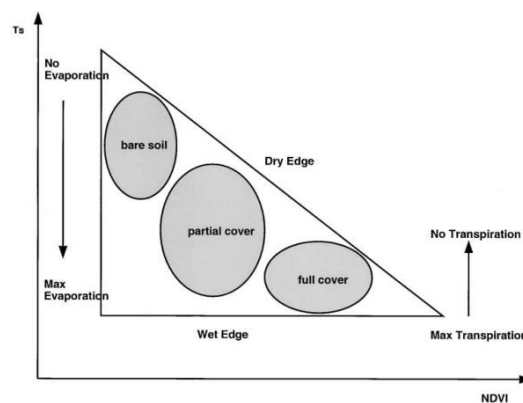
$$L_p = \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{\epsilon'} \tan \delta} \tag{1}$$

Dengan λ adalah panjang gelombang, ϵ' adalah konstanta dielektrik, dan δ adalah material loss tangen yang bergantung pada temperatur, kelembaban dan salinitas objek seperti tanah kering memiliki δ sedangkan tanah basah dan vegetasi berkisar 10^{-1} .

Penetrasi kedalaman akan berkurang dengan bertambahnya frekuensi serta bergantung pada konstanta dielektrik dan $\tan \delta$, semakin kecil penetrasinya semakin berkurang dengan adanya kandungan air dalam medium yang memiliki dielektrik lebih besar. Sebagai contoh Daniels (1996), untuk tanah kering berpasir ($\epsilon' \approx 5, \tan \delta \approx 0,01$) hasil penetrasi kedalaman berdasarkan persamaan (1) menghasilkan $L_p \approx 7\lambda$ dan untuk tanah basah berpasir ($\epsilon' \approx 20, \tan \delta \approx 0,1$) penetrasi kedalaman berkurang menjadi $L_p \approx 0,3\lambda$.

2.2 TVDI (*Temperature-Vegetation Dryness Index*)

TVDI (*Temperature-Vegetation Dryness Index*) merupakan indeks kekeringan yang ditentukan berdasarkan parameter empiris dari hubungan antara temperatur permukaan (T_s) dan indeks vegetasi (NDVI). Indeks tersebut dikaitkan dengan kelembaban tanah dan diperoleh berdasarkan masukan dari informasi satelit penginderaan jauh (Sandholt dkk., 2002). TVDI bernilai 1 mengindikasikan ketersediaan air terbatas sedangkan 0 mengindikasikan terjaminnya ketersediaan air. Hubungan antara temperatur permukaan dengan NDVI adalah negatif, semakin tinggi temperatur permukaan semakin rendah indeks vegetasinya (Sandholt dkk, 2002). Posisi *pixel* pada plot sebaran yang membentuk sebaran segitiga seperti pada Gambar 2. menunjukkan kondisi kelembaban tanah. *Pixel* yang berada dekat dengan batas kering akan lebih rendah kelembaban tanahnya dibandingkan dengan *pixel* yang berada di dekat batas basah (*wet edge*). *Pixel* yang berada dekat dengan batas kering akan lebih rendah kelembaban tanahnya dibandingkan dengan *pixel* yang berada di dekat batas basah (*wet edge*).



Gambar 2. Hubungan temperature permukaan dengan NVDI (Lambin & Ehrlich 1996)

2.3 Konversi Nilai Digital menjadi Koefisien *Backscattering*

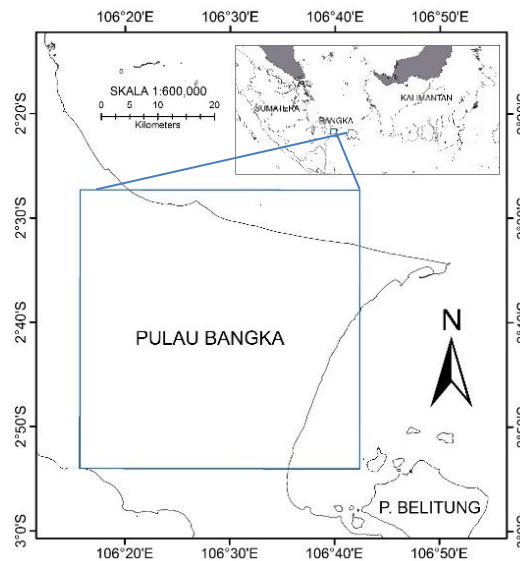
Nilai digital dari data citra satelit radar mewakili nilai intensitas *backscattering* setiap *pixel*. Intensitas *backscattering* merupakan nilai proporsi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan objek dan ditangkap oleh sensor. Formula konversi nilai digital menjadi koefisien *backscattering* (Shimada dkk., 2008):

$$\sigma_{1.5\text{produk}}^{\circ} = 10 \times \log_{10} \left\langle DN^2 \right\rangle + CF \quad (2)$$

Dengan adalah koefisien *backscattering* (dB), DN adalah nilai digital citra dengan level produk 1.5 (16-bit *unsigned short integer*) dan CF adalah *conversion factor* atau nilai faktor konversi (CF=-83dB).

2.4 Area Studi

Wilayah studi dalam penelitian ini berbentuk persegi dengan batas studi area 2°27'19,17" LS 106°15'40" BT hingga 2°54'2,18" LS 106°15'41,69" BT masuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Bangka Selatan dan Bangka Tengah provinsi Bangka Belitung dapat dilihat pada Gambar 3. Secara umum morfologi Pulau Bangka terdiri atas dataran alluvium, perbukitan bergelombang dan perbukitan terjal (Suntoko, 2010).



Gambar 3. Daerah penelitian

Pulau Bangka merupakan bagian dari kawasan sabuk timah Asia Tenggara atau *Tin Mayor South East Asian Tin Belt* yang membentang dari Burma (Myanmar), Thailand, Malaysia dan Indonesia. Kawasan sabuk timah ini merupakan area dengan produksi timah terbesar di dunia. Total 9,6 juta ton timah atau setara dengan 54 % dari produksi timah dunia sejak tahun 1800 dihasilkan oleh Burma (Myanmar), Thailand, Malaysia dan Indonesia yang berada di Pulau Bangka (Schwartz dkk., 1995).

2.5 Data

2.5.1 ALOS PALSAR *Polarimetric Level 1.5*

Data ALOS PALSAR yang digunakan dalam penelitian ini direkam dengan instrumen polarisasi *polarimetric*. Resolusi spasial data yaitu $2,7778 \times 10^{-4}$ atau 30 m. Merupakan gabungan 16 *scene* data dengan waktu akuisisi yang berbeda antara bulan Maret, April, Mei 2010 dan 2011. Jumlah baris kolom data yaitu 1600x1600 *pixel*. Level 1.5 telah dikoreksi geometrik dan radiometrik, koordinat citra telah terproyeksi UTM dan format data 16 bit (JAXA).



2.5.2 Landsat 7 ETM+ L1T

Data direkam tanggal 19 Agustus 2011 dan 2 Agustus 2011 dengan *path* 123 *row* 62. Resolusi spasial kanal merah, hijau, biru, inframerah dekat 30m dan kanal thermal 60m. Resolusi temporal 16 hari. L1T (*Level 1T* atau *terrain corrected*) produk Landsat 7 ETM+ menunjukkan bahwa produk citra telah mengalami proses koreksi radiometrik, koreksi geometrik, koreksi presisi dan menggunakan DEM (*Digital Elevation Model*) untuk mengkoreksi kesalahan paralaks relief topografi lokal.

2.6 Metode Pengolahan Data Landsat 7 ETM+

2.6.1 Prapengolahan Landsat 7 ETM+

- Koreksi *Radiometric* dan *Atmospheric*

Koreksi *radiometric* dilakukan untuk memperbaiki nilai *pixel* yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya (Levin, 1999). Proses koreksi *radiometric* dilakukan untuk mengembalikan nilai *reflectance* yang sebenarnya pada permukaan bumi dengan mengonversi nilai digital atau DN (*digital number*) menjadi nilai *radiance* kemudian hasil nilai *radiance* tersebut akan dikonversi menjadi nilai *spectral radiance*. Hasil dari koreksi *radiometric* dilakukan reduksi efek atmosfer akibat penghamburan dan penyerapan. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dan melewati atmosfer dapat terdistorsi oleh aerosol, gas-gas atmosfer ataupun partikel lainnya. Untuk mereduksi efek dari atmosfer tersebut digunakanlah metode FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) (Adler-Golden dkk., 1999). Metode FLAASH melakukan model simulasi kondisi atmosfer, aerosol, uap air, dan arah tangkap citra. Hasil dari metode ini berupa *scaled surface reflectance*.

- *Filling Gaps* Data Landsat 7 ETM+

Secara permanen terhitung sejak 31 Mei 2003, SLC (*Scan Line Corrector*) satelit Landsat 7 ETM+ mati mengakibatkan 22 % hasil data mengalami kekosongan atau *gap* (USGS, 2015). Berdasarkan Scaramuzza dkk. (2004) *filling gaps* atau proses mengisi kekosongan suatu data Landsat 7 dengan SLC-off dapat dilakukan dengan mengolah data citra satu dengan lainnya menggunakan prinsip transformasi linear. Ketika terdapat *gap*, metodologi pencocokan histogram linear akan mencari transformasi linear antara satu citra dengan citra lainnya. Teori umumnya yaitu nilai *pixel* dari citra pertama dengan SLC-off yang akan diisi (*gap*) dihasilkan dari perhitungan nilai gain dan bias (didapatkan dari nilai rata-rata dan standar deviasi citra pertama) dengan nilai *pixel* citra kedua (Scaramuzza dkk., 2004).

- Koreksi Geometrik Citra ke Citra

Koreksi geometrik dilakukan dengan metode registrasi citra Landsat 7 ETM+ sebagai acuan terhadap citra ALOS PALSAR dengan membandingkan 20 titik kontrol tanah atau GCP (*Ground Control Point*) dan 20 titik kontrol bebas atau ICP (*Independent Control Point*). Kualitas dari titik GCP dan ICP ditentukan dari besarnya nilai RMSE atau *root mean square error* (Moses & Devadas, 2012).

RMSE GCP 0,256055 *pixel* dan RMSE ICP 0,292835 *pixel*.

2.6.2 Klasifikasi Tutupan Lahan dengan Teknik ISODATA

Teknik klasifikasi ISODATA (*The Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) merupakan teknik klasifikasi tak terawasi yang menggunakan pendekatan iteratif dari perhitungan statistik (Campbell, 2002). Parameter statistik yang digunakan untuk menentukan kelas dan jumlah kelas dari suatu *pixel* secara optimum adalah banyaknya iterasi, jumlah kelas minimum dan maksimum, minimum jarak antar kelas, dan standar deviasi maksimal suatu kelas. Untuk memvalidasi hasil akurasi klasifikasi digunakanlah matriks eror (Congalton, 1991). Hasil klasifikasi dibandingkan dengan peta tutupan lahan keluaran Badan Informasi Geospasial tahun 2014. *Kappa accuracy* menghitung perbedaan nilai kebenaran dari hasil klasifikasi dan nilai kemungkinan dari hasil klasifikasi acak dibandingkan data referensi (Lillesand dkk., 2004). Persamaan yang digunakan dalam perhitungan *kappa accuracy* ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\kappa = \frac{p \downarrow o - p \downarrow c}{1 - p \downarrow c} \quad (3)$$

Dengan κ adalah *kappa accuracy*, $p \downarrow o$ adalah *overall accuracy* dan $p \downarrow c$ adalah jumlah nilai kemungkinan yang diharapkan benar.

2.6.3 Temperatur Permukaan

Nilai temperatur permukaan dari sensor satelit Landsat 7 ETM+ didapatkan dengan mengonversi nilai digital menjadi menjadi ($^{\circ}\text{C}$).

Formula untuk mengkonversi nilai digital menjadi radiance (NASA, 2015):

$$L_{\lambda} = \left[\frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(QCAL_{\max} - QCAL_{\min})} \right] \times (QCAL - QCAL_{\min}) + L_{\min} \quad (4)$$

Dengan L_{λ} adalah *spectral radiance* pada sensor ($\text{W}/\text{m}^2.\text{sr}.\mu\text{m}$), $QCAL$ adalah nilai *pixel* terkalibrasi dalam nilai digital, $QCAL_{\min}$ adalah nilai *pixel* terkalibrasi minimum ($QCAL_{\min} = 0$), $QCAL_{\max}$ adalah nilai *pixel* terkalibrasi maksimum ($QCAL_{\max} = 255$), L_{\min} adalah *spectral radiance* yang diskalakan pada $QCAL_{\min}$ ($L_{\min} = 0 \text{ W}/\text{m}^2.\text{sr}.\mu\text{m}$), dan L_{\max} adalah *spectral radiance* yang diskalakan pada $QCAL_{\max}$ ($L_{\max} = 17,040 \text{ W}/\text{m}^2.\text{sr}.\mu\text{m}$).

Formula untuk mengkonversi nilai *radiance* yang telah dilakukan koreksi *atmospheric* menjadi temperatur permukaan ($^{\circ}\text{C}$) (NASA, 2015):

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273,15 \quad (5)$$



Dengan T adalah temperatur permukaan ($^{\circ}\text{C}$), L_{λ} adalah nilai radiance ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$), $K1$ adalah konstanta kalibrasi 1 kanal thermal ($K1 = 666,09 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$), dan $K2$ adalah konstanta kalibrasi 2 kanal thermal ($K2 = 1282,71 \text{ Kelvin}$).

2.6.4 Algoritma NDVI (*Normalized Vegetation Diference Index*)

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) adalah hitungan yang menggunakan kanal cahaya tampak dan kanal inframerah-dekat dari spektrum elektromagnetik yang digunakan untuk analisis dalam penginderaan jauh dan menaksir objek yang sedang diamati memiliki vegetasi hijau atau tidak (Rouse dkk.,1973).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (6)$$

Dengan NIR adalah kanal inframerah-dekat dan RED adalah kanal merah. Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga 1 namun faktanya nilai negatif mengindikasikan air, nilai mendekati 0 mengindikasikan tanah kosong dan nilai lebih dari 0,6 mengindikasikan vegetasi rapat.

2.6.4 Algoritma NDVI (*Normalized Vegetation Diference Index*)

TVDI dapat ditentukan berdasarkan batas kering dan basah basah dari metode segitiga. Persamaan yang digunakan untuk menentukan TVDI adalah sebagai berikut (Sandholt dkk, 2002):

$$TVDI = \frac{Ts - Ts_{\min}}{a + bNDVI - Ts_{\min}} \quad (7)$$

Dengan Ts adalah temperatur permukaan citra yang diamati (*pixel*), adalah temperatur permukaan minimum dalam segitiga yang mendefinisikan batas basah, a & b adalah nilai *intercept* dan *slope* dari garis linear batas kering, dan NDVI adalah nilai *Normalized Difference Vegetation Index (pixel)* citra yang diamati.

Batas kering merupakan sisi miring yang didapatkan dari regresi linear titik-titik dengan nilai Ts maksimum untuk tiap selang nilai NDVI (Tenenbaum, 2010). Untuk mendapatkan regresi linear ini digunakan sampel data berdasarkan selang NDVI tertentu dan dicari nilai temperatur permukaan maksimumnya. Batas basah merupakan nilai temperatur terendah pada data bentuk segitiga, langkah untuk mendapatkan nilai batas ini yaitu dengan mencari nilai temperatur minimum pada data dengan gradien atau $m=0$. Untuk mencegah adanya data yang mengandung kesalahan atau *noise*, penentuan nilai temperatur minimum dilakukan berdasarkan 5% data temperatur minimum atau nilai Ts_{\min} dihitung berdasarkan nilai persentil kelima dari data temperatur permukaan (Tenenbaum, 2010).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

3.1.1 Klasifikasi Tutupan Lahan

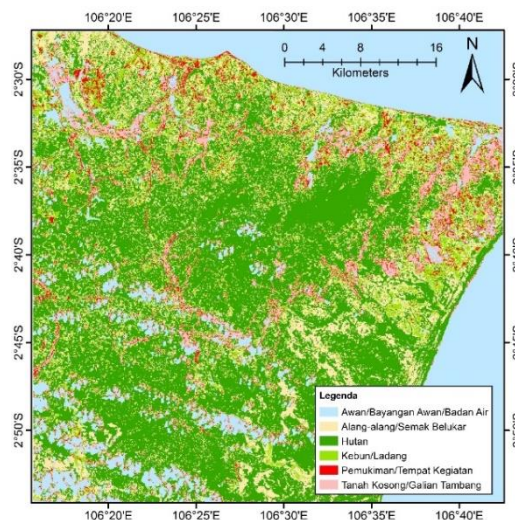
Berdasarkan matriks pada Tabel 1 diketahui bahwa akurasi hasil klasifikasi tutupan lahan dengan metode tak terbimbing ISODATA memiliki nilai *kappa* 0,47. Nilai koefisien *kappa* diantara 0,4 hingga 0,8 mengindikasikan bahwa proses klasifikasi masuk dalam kategori cukup baik (Lillesand dkk., 2004).

Tabel 1. Matriks Error Hasil Klasifikasi Tutupan Lahan

		Hasil Klasifikasi					Total
		H	A/S	K/L	P/TK	TK/GT	
Referensi (RBI)	H	20	1	1	0	0	22
	A/S	6	13	4	1	1	25
	K/L	3	6	11	3	0	23
	P/TK	0	0	0	11	0	11
	TK/GT	1	0	4	5	19	29
	Total	30	20	20	20	20	110
Akurasi Keseluruhan Klasifikasi (%)							74
Koefisien <i>Kappa</i>							0,49

Dengan H = Hutan, A/S = Alang-alang/Semak Belukar, K/L = Kebun/Ladang, P/TK = Pemukiman/Tempat Kegiatan, dan TK/GT = Tanah Kosong/Galian Tambang. Hasil dari klasifikasi tutupan lahan dapat dilihat pada Gambar 4.

Hasil klasifikasi tutupan lahan kemudian akan dibagi menjadi area atau lahan yang tergolong lahan bervegetasi dan lahan terbuka. Lahan bervegetasi dikategorikan dari tutupan lahan hutan atau vegetasi rapat. Sedangkan lahan terbuka atau kosong yang tidak mengandung vegetasi dikategorikan berdasarkan tutupan lahan alang-alang/semak belukar, kebun/ladang, dan tanah kosong/galian tambang.



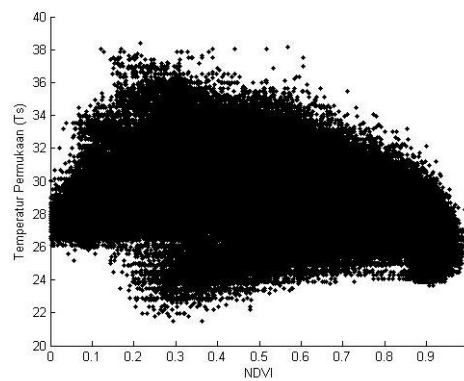
Gambar 4. Hasil klasifikasi tutupan lahan Pulau Bangka Selatan dan Tengah

3.1.2 TVDI

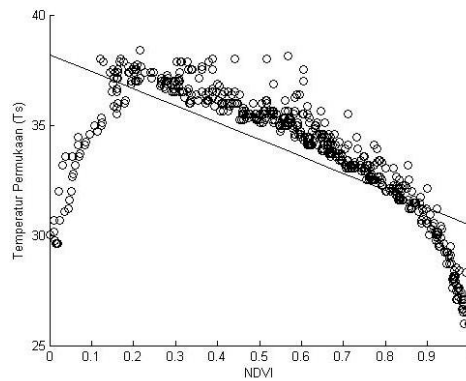
Hasil sebaran data temperatur permukaan dengan indeks vegetasi NDVI membentuk sebaran segitiga yang dapat dilihat pada Gambar 5. Dari sebaran tersebut dilakukan proses penentuan batas basah

yang didapatkan dari hasil perhitungan persentil data temperatur terendah dan nilai temperatur terendahnya yaitu 24,87°C. Berdasarkan data pada grafik Gambar 6. didapatkan persamaan regresi linear yang dihasilkan dari batas kering sampel kedua yaitu $y = -7,7289x + 38,2063$. Hasil regresi linear dari batas kering menunjukkan nilai korelasi negatif antara nilai indeks vegetasi dengan temperatur permukaan dan korelasi ini sesuai dengan konsep TVDI yang dikemukakan oleh Sandholt dkk. (2002). Dari nilai batas kering dan basah menghasilkan persamaan TVDI baru sebagai berikut:

$$TVDI = \frac{Ts - 24.87}{38,2063 + -7,7289NDVI - 24,87} \quad (8)$$

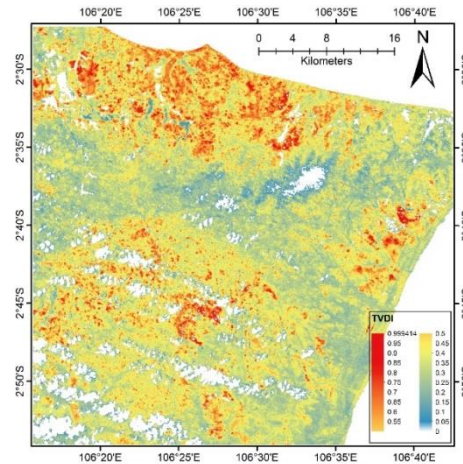


Gambar 5. Sebaran nilai NDVI terhadap temperature permukaan



Gambar 6. Nilai batas kering yang ditentukan dengan regresi linear digunakan untuk estimasi TVDI berupa nilai TS maksimum sepanjang nilai NDVI

Nilai TVDI yang mendekati satu berada pada area bekas galian tambang dan pemukiman setelah ditampalkan dengan peta tutupan lahan. Sedangkan nilai TVDI mendekati nol berada pada area dengan tutupan lahan vegetasi lebat seperti hutan. Hasil visualisasi nilai TVDI atau indeks kering dapat dilihat pada Gambar 7.

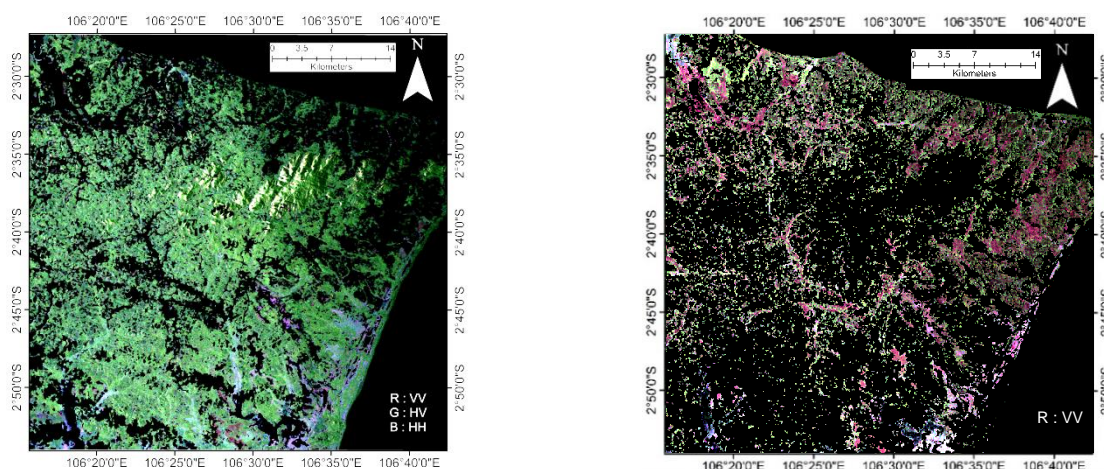


Gambar 7. Nilai TVDI Pulau Bangka

3.1.3 Asosiasi Backscatter dengan Lahan Vegetasi dan Lahan Terbuka

Berdasarkan asosiasi nilai koefisien backscattering dengan lahan terbuka menunjukkan bahwa lebih tinggi dibandingkan σ°_{HH} dan σ°_{HV} paling rendah. Sedangkan untuk koefisien *backscattering* yang berasosiasi dengan lahan bervegetasi menunjukkan bahwa σ°_{HV} lebih besar dan σ°_{VV} memiliki nilai yang hampir sama dengan σ°_{HH} .

Penggabungan kanal merah, hijau dan biru atau komposit warna data backscatter ALOS PALSAR berdasarkan lahan vegetasi dan lahan terbuka menunjukkan kenampakan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil komposit tersebut warna merah muda menunjukkan area lahan terbuka sedangkan warna hijau menunjukkan area lahan bervegetasi.



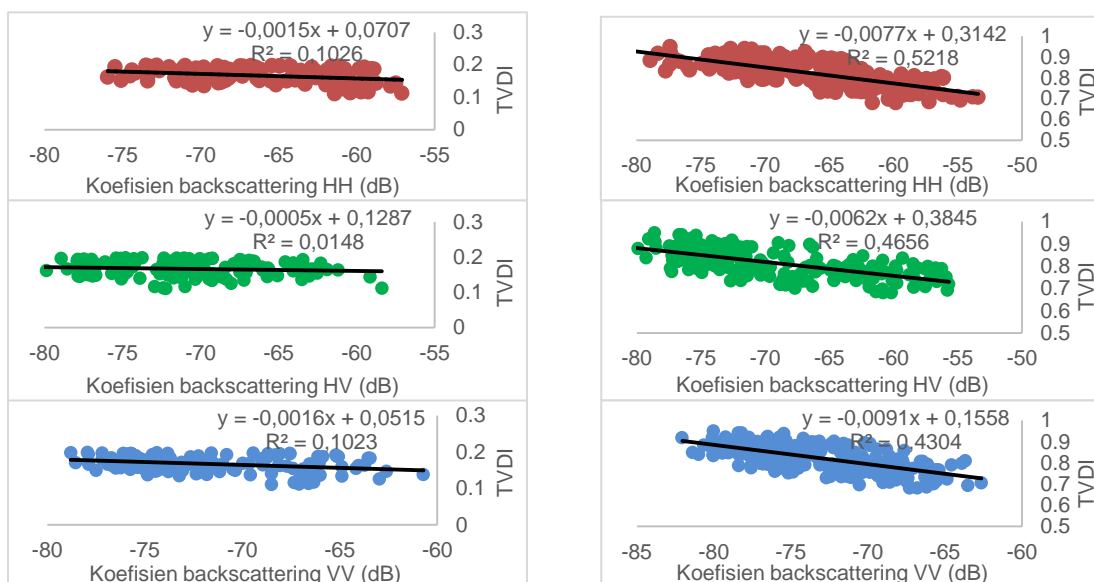
Gambar 8. Citra hasil penggabungan kanal RGB data backscatter yang berasosiasi dengan lahan vegetasi (kiri) dan terbuka (kanan)

3.1.4 Asosiasi Koefisien Backscatter Lahan Terbuka dengan Indeks Kering

Suatu lahan yang memiliki dielektrik kecil memiliki tutupan lahan terbuka yang berpasir dan bersifat kering yang dapat dilihat dari nilai indeks kering TVDI. Nilai TVDI mendekati nol merupakan lahan basah. Nilai TVDI mendekati satu maka akan semakin kering area tersebut.

Dalam grafik pada Gambar 9, sumbu x adalah koefisien backscattering dan sumbu y nilai TVDI atau indeks kering. Untuk Gambar 9, grafik tersebut menunjukkan bahwa hubungan koefisien *backscattering* dan TVDI mendekati nol linear dengan korelasi negatif pada setiap jenis polarisasi. Nilai koefisien determinasi terbaik pada lahan terbuka yang memiliki nilai TVDI mendekati nol adalah polarisasi VV dan HH sebesar 0,1023 dan 0,1026.

Gambar 10 menunjukkan bahwa hubungan koefisien backscattering dan TVDI mendekati satu linear dengan korelasi negatif pada setiap jenis polarisasi. Dengan nilai koefisien determinasi yang bervariasi untuk setiap polarisasi, polarisasi HH menunjukkan koefisien determinasi terbaik.



Gambar 9. Korelasi koefisien backscattering terhadap TVDI dengan nilai mendekati nol atau area basah (kiri) dan grafik korelasi koefisien backscattering terhadap TVDI dengan nilai mendekati satu atau area kering (kanan)

3.2 Pembahasan

Berdasarkan nilai *kappa* dan akurasi keseluruhan klasifikasi tutupan lahan dari uji eror matriks menunjukkan hasil yang cukup baik. Dengan nilai *kappa* yaitu 0,49 dan hasil klasifikasi tutupan lahan dengan metode tak terbimbing ISODATA menunjukkan 74% hasil klasifikasi terklasifikasi dengan benar. Hasil klasifikasi tidak memberikan hasil yang memuaskan dan ini dapat disebabkan oleh nilai *reflectance* objek dari citra Landsat yang mirip sehingga terdapat kesalahan dalam pengelompokkan kelas dan peta referensi yang digunakan untuk uji matriks eror berbeda waktu akuisisi.

Nilai TVDI berhubungan erat dengan kelembaban tanah, hubungan keduanya akan membentuk korelasi negatif. Validasi menyeluruh hasil TVDI tidak mungkin untuk dilakukan, namun membandingkan nilai TVDI dengan kelembaban tanah dapat dilakukan (Sandholt dkk., 2002). Akan tetapi validasi model TVDI terhadap kelembaban tanah pada penelitian ini tidak dapat dilakukan karena data atau model kelembaban tanah untuk area penelitian tidak tersedia. Jika validasi dengan data kelembaban tanah ini dilakukan akan meningkatkan akurasi hasil dari model TVDI.

Berdasarkan Paloscia (1998) nilai σ°_{VV} pada lahan terbuka umumnya akan lebih besar akibat adanya pengaruh unsur kemiringan dan hamburan silinder yang cukup besar, sedangkan σ°_{HH} dan σ°_{HV} menunjukkan nilai yang paling rendah. Namun dalam penelitian ini asosiasi nilai backscattering pada lahan terbuka untuk nilai σ°_{HH} menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan σ°_{VV} dan σ°_{HV} . Hal ini dapat disebabkan oleh jenis objek tanah terbuka dalam penelitian ini berbeda dengan objek yang digunakan oleh Paloscia (1998). Sedangkan asosiasi koefisien *backscatter* dengan lahan vegetasi menghasilkan σ°_{HV} lebih besar dan σ°_{VV} memiliki nilai yang hampir sama dengan σ°_{HH} . Hasil ini sesuai dengan riset yang dilakukan Paloscia (1998) untuk objek dengan lahan vegetasi. Respon *backscatter* polarisasi HV lebih sensitif terhadap perbedaan vegetasi dibandingkan backscatter polarisasi HH pada satelit radar dengan kanal-L (Luckman dkk., 1996).

Hubungan antara nilai TVDI dengan kelembaban tanah memiliki korelasi negatif (Sandholt dkk., 2002). Penelitian yang dilakukan oleh Sanli dkk. (2008) menunjukkan bahwa semakin rendah nilai kelembaban tanah pada lahan terbuka atau *bare soils* maka semakin rendah nilai koefisien *backscattering*. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa hubungan nilai TVDI dengan koefisien *backscattering* dalam penelitian ini memiliki korelasi negatif atau semakin rendah nilai kelembaban tanah yang sebanding dengan nilai TVDI yang semakin tinggi (mendekati satu) maka semakin rendah nilai koefisien *backscattering* dan hal ini sesuai dengan hasil penelitian ini. Hasil dari korelasi koefisien *backscattering* dengan nilai TVDI mendekati satu lebih baik jika dibandingkan korelasi dengan nilai TVDI mendekati nol. Hal ini dikarenakan TVDI mendekati satu merupakan area lahan kering yang memiliki dielektrik kecil dan ketersediaan air atau kelembaban tanahnya juga sedikit sehingga backscattering akan kecil dengan menurunnya kelembaban tanah. Untuk TVDI mendekati nol atau area dengan lahan basah, nilai *backscattering* hanya 0,6-7% mempengaruhi nilai TVDI. Hal ini dapat disebabkan oleh konsentrasi air dalam tanah dan adanya campuran antara lahan vegetasi dan terbuka dalam satu citra yang merupakan salah satu sumber eror untuk penginderaan jauh gelombang mikro (Lusch, 1999).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Hubungan antara koefisien *backscattering* data *polarimetric* SAR memiliki korelasi linear negatif dengan indeks kering yang mendekati satu, dengan nilai korelasi terbaik terjadi pada polarisasi HH yang memiliki nilai TVDI mendekati satu. Semakin rendah nilai indeks kering, maka semakin tinggi nilai



koefisien σ° (σ°_{HH}). Nilai σ°_{HV} pada lahan vegetasi menunjukkan nilai koefisien paling besar.

4.2 Saran

Referensi peta tutupan lahan dan citra Landsat 7 ETM+ disarankan memiliki waktu akuisisi yang sama, agar analisis yang berhubungan dengan tutupan lahan dapat dilakukan dengan lebih akurat. Penentuan model TVDI dari proses pengambilan sampel memiliki korelasi yang cukup baik, namun dapat ditingkatkan dengan melakukan pengambilan sampel pada tiap interval yang lebih rapat. Proses pembuatan model TVDI dalam penelitian ini akan lebih akurat jika dapat dilakukan validasi hasil dengan data kelembaban tanah yang diambil sesuai waktu perekaman citra.

DAFTAR REFERENSI

- Adler-Golden, S., Matthew, M., Bernstein, L., Levine, R., Berk, A., Richtsmeier, S., . . . Burke, H. (1999). Atmospheric Correction for Short-wave Spectral Imagery based on MODTRAN4. *SPIE Proc. Imaging Spectrometry* 3753, 61-69.
- Anderson, J., Hardy, E., Roach, J., & Witmer, R. (1976). *A Land Use and Land Cover Classification System for Use With Remote Sensor Data*. Washington: Government Printing Office.
- Campbell, J. B. (2002). *Introduction to Remote Sensing Third Edition*. New York: The Guilford Press.
- Coll, C., Galve, J. M., Sanchez, J. M., & Caselles, V. (2010). Validation of Landsat 7/ETM+ Thermal-Band Calibration and Atmospheric Correction with Ground-Based Measurements. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing Volume 48*, 547-555.
- Congalton, R. (1991). A Review of Accessing the Accuracy of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing Environment* 37, 35-46.
- Daniels, D. J. (1996). Surface-penetrating Radar. *Electronic & Communication Engineering Journal*, 165-182.
- Dobson, M., & Ulaby, F. (1986). Active Microwave Soil Moisture Research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 24, 23-36.
- Elachi, C. (1987). *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*. New York: John Wiley.
- Elachi, C., Roth, L., & Schaber, G. (1984). Space-borne Radar Subsurface Imaging in Hyperarid Region. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing GE* 22, 383-388.
- Holme, A., Burnside, D., & Mitchell, A. (1987). The development of a system for monitoring trend in range condition in the arid shrublands of Western Australia. *Australian Rangeland Journal* 9, 14-20.

- JAXA, J. A. (n.d.). *ALOS/PALSAR Level 1.1/1.5 product Format description*. JAXA.
- Kasischke, E. S., Bourgeau-Chavez, L. L., Rober, A. R., Wyatt, K. H., Waddington, J. M., & Turetsky, M. R. (2009). Effects of Soil Moisture and Water Depth on ERS SAR Backscatter Measurements from an Alaskan Wetland Complex. *Remote Sensing Environment* 113, 1868-1873.
- Lambin, E., & Ehrlich, D. (1996). The Surface Temperature-Vegetation Index Space for Land Cover and Land Cover Analysis. *International Journal of Remote Sensing* 17, 463-487.
- Levin, N. (1999). *Fundamentals of Remote Sensing*. Tel Aviv: Remote Sensing Laboratory of Geography Department.
- Lillesand, K., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. Minnesota: John Wiley.
- Luckman, A., Baker, J., Kuplich, T., Yanasse, C., & Frery, A. (1996). A Study of the Relationship between Radar Backscatter and Regenerating Tropical Forest Biomass for Spaceborne SAR Instruments. *Remote Sensing of Environment* 60, 1-13.
- Lusch, D. P. (1999). *Introduction to Microwave Remote Sensing*. Michigan: Michigan State University.
- Moses, K. P., & Devadas, M. D. (2012). An Approach to Reduce Root Mean Square Error in Toposheets. *European Journal of Scientific Research*, 268-274.
- NASA, N. A. (2015, August 14). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. Retrieved from NASA L7 Data Product: landsathandbook.gsfc.nasa.gov
- Paloscia, S. (1998). An Empirical Approach to Estimating Leaf Area Index from Multifrequency SAR Data. *International Journal of Remote Sensing* 19, 359-364.
- Roth, L., & Elachi, C. (1975). Coherent Electromagnetic Losses by Scattering from Volume Inhomogeneties. *IEEE Transcation on Antenna and Propagation* 23, 674-675.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium NASA SP-351 I*, 309-317.
- Sandholt, I., Rasmussen, K., & Andersen, J. (2002). A Simple Interpretation of the Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assesment of Surface Moisture Status. *Remote Sensing of Environtment* 79, 213-224.
- Sanli, F. B., Kurucu, Y., Esetlili, M. T., & Abdikan, S. (2008). Soil Mositure Estimation from RADARSAT-1, ASAR and PALSAR Data in Agricultural Fields of Menemen Plane of Western Turkey. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Information Sciences*, 75-81.
- Scaramuzza, P., Micijevic, E., & Chander, G. (2004). *SLC Gap-Filled Products, Phase One*



Methodology. Chicago: USGS.

Schaber, G., McCauley, J. F., Breed, C. S., & Olhoeft, G. (1986). Shuttle Imaging Radar: Physical Controls on Signal Penetration and Subsurface Scattering in the Eastern Sahara. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, GE-24, 603-623.

Schwartz, M., Rajah, S., Askury, A., Putthapiban, P., & Djaswadi, S. (1995). The Southeast Asian Tin Belt. *Earth Science Reviews*, 95-293.

Shimada, M., Isoguchi, O., Tadono, T., & Isono, K. (2009). PALSAR Radiometric and Geometric Calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47, 3915-3932.

Suntoko, I. H. (2010). *Kesesuaian Karakteristik Material Bawah permukaan (Litologi) untuk tapak PLTN di Provinsi Bangka Belitung*. Jakarta: PPEN BATAN.

Tenenbaum, D. E. (2010). *EEOS 383-Giscience for Water Resources Research-Exercise 11: Calculating TVDI from LST-NDVI Data*. Boston: University of Massachusetts Boston.

USGS. (2015, April 16). *Landsat 7 (L7) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)*. Retrieved from USGS: http://landsat.usgs.gov/science_L7_cpf.php

BIOGRAFI PENULIS

Dyah Ayu Ritma Ratri, S.T.



Dyah Ayu Ritma Ratri, lahir di Madiun, 16 April 1993. Setelah menyelesaikan masa SMAnya di SMA Negeri 2 Madiun, Ratri melanjutkan studinya di Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung dan mendapatkan gelar sarjana teknik pada tahun 2015. Selama menjalani masa studinya di ITB, Ratri menaruh minat khusus pada bidang penginderaan jauh, khususnya pada pengolahan data *Synthetic Apperture Radar* (SAR).

Dr. Eng. Asep Saepuloh



Asep Saepuloh lulus dari Departemen Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung pada tahun 2004. Asep Saepuloh melanjutkan studinya di Teknik Sipil dan Lingkungan, Kumamoto University (Jepang) hingga mendapatkan gelar *Master of Engineering* (M. Eng) pada tahun 2007 dan gelar *Doctor of Engineering* (Dr. Eng) di *New Frontier Sciences* pada universitas yang sama pada tahun 2010. Dari tahun 2010 hingga 2013, Asep Saepuloh memulai karirnya dengan bekerja di Geological Survey of Japan (GSJ), dan menekuni bidang penginderaan jauh gelombang mikro, untuk aplikasi geologi dan vulkanologi. Pada tahun 2013, Asep Saepuloh diangkat menjadi dosen di Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung.

Prof. Ketut Wikantika



Ketut Wikantika, lahir di Singaraja, Bali, 17 Desember 1966. Menyelesaikan program S-1 Teknik Geodesi ITB tahun 1991, kemudian menyelesaikan program Magister dan Doktor bidang *Image Informatics* dan Penginderaan Jauh (remote sensing) di Chiba University, Jepang pada tahun 1998 dan 2001. Pada tahun 2001-2002 mengikuti program Post Doctoral di *Japan International Research Center for Agricultural Sciences* (JIRCAS) dengan tema riset *Identification of Agricultural Land Covers in Mountainous Area Using Very High Resolution Satellite Data*. Pengalaman kerjasama internasional antara lain melakukan ground-truth survey di Asia Tengah (Kazakstan, Uzbekistan, dan Turkmenistan) bersama dengan peneliti dari ke tiga negara bersangkutan pada tahun 1998. Sejak 2005, Ketut Wikantika menjabat sebagai Kepala Pusat Penginderaan Jauh ITB, juga sebagai Ketua *Continuing Education Program* (CEP), ITB. Menjadi anggota Komisi Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, LPPM-ITB sejak 2007. Kecintaannya terhadap bidang penelitian membuatnya menjadi pendiri Forum Peneliti Indonesia Muda (ForMIND).

Deliniasi Produk Gunung Api Dengan Fusi Citra Landsat 8 Oli Dan Citra *Synthetic Aperture Radar*

(Studi Kasus: Kompleks Pegunungan Sekitar Lapangan Ulumbu, Flores)

Gilang Pradana¹, Ketut Wikantika², Asep Saepuloh³

^{1,2}Teknik Geodesi dan Geomatika, Kelompok Keilmuan Penginderaan Jauh dan Sains Informasi
Geografis, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

^{1,2,3}Pusat Penginderaan Jauh, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

email: ¹gilpradana@gmail.com, ²ketut@gd.itb.ac.id, ³saepuloh@gc.itb.ac.id

Abstrak

Produk gunungapi memiliki sumber daya yang sangat bermanfaat bagi kehidupan masyarakat. Sumber daya ini bergantung pada jenis batuan produk gunungapi. Produk gunungapi tersebut perlu dipisah berdasarkan jenisnya yang disebut dengan deliniasi. Salah satu tujuan deliniasi produk gunungapi adalah memberikan informasi indikasi awal terkait dengan sumber daya yang berada di bawah permukaan tanah. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mendeliniasi batas satuan produk gunungapi dengan menggunakan citra penginderaan jauh. Metode yang dilakukan adalah teknik fusi HSI dengan menggunakan citra satelit ALOS PALSAR dan citra satelit Landsat 8 OLI. Citra fusi tersebut kemudian diklasifikasikan untuk membagi produk gunungapi menjadi beberapa zona. Teknik fusi ini menghasilkan citra batas satuan produk gunung api yang terbagi dalam sepuluh zona.

Kata kunci: ALOS PALSAR, Fusi Citra, Gunungapi, Klasifikasi, Landsat

Abstract

Volcano products have so many resources which are beneficial for human life. The resources depend on the type of volcanic rocks. The volcano products need to be separated by the type called delineation. A benefit of delineation is to provide information of initial indication which is related to the resources on underground. The main purpose of this study is to delineate the lithology edge of volcano products by remote sensing image. The method used in this study is HSI image fusion technique using ALOS PALSAR satellite image and Landsat 8 OLI satellite image. The fusion image was classified then to divide the volcano products into some zone. The result of this technique is lithology edge of volcano products image which divided into ten zones.

Keywords: ALOS PALSAR, Classification, Image Fusion, Landsat, Volcanoes



1. PENDAHULUAN

Produk gunung api adalah batuan yang terbentuk akibat aktivitas vulkanis gunung api. Aktivitas vulkanis ini diartikan sebagai proses erupsi atau keluarnya magma dari dalam ke permukaan bumi melalui kawah atau kaldera dalam berbagai bentuk kegiatan. Magma tersebut kemudian mendingin atau mengendap di permukaan dan akan mengalami perubahan secara bentuk dan komposisi (Bronto, 2010). Produk gunungapi yang mengendap ini menghasilkan sumber daya geologi yang bermanfaat bagi masyarakat sekitar. Sumber daya yang berasal dari produk gunungapi terbagi menjadi tiga yaitu sumber daya energi, sumber daya lingkungan, dan sumber daya mineral.

Berdasarkan sumber daya yang bermacam-macam tersebut, dapat disimpulkan bahwa produk gunungapi bermacam-macam jenisnya. Untuk itu perlu adanya pemisahan produk gunungapi berdasarkan jenis batuan yang disebut dengan deliniasi. Deliniasi produk gunungapi digunakan dalam proses pemanfaatan sumber daya khususnya sumber daya energi dan mineral yang berkaitan dengan pemisahan area batuan berdasarkan komposisi dari suatu batuan. Deliniasi ini bisa menjadi informasi indikasi awal terkait sumber daya energi dibawah permukaan seperti energi panas bumi dan minyak bumi yang dibuat berdasarkan kondisi geologi di permukaan suatu area gunungapi. Dengan adanya informasi tersebut, proses pemanfaatan sumber daya menjadi efektif dan efisien.

Penelitian yang dilakukan kali ini adalah pendeliniasian batas litologi produk gunung api dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh di kompleks pegunungan sekitar Lapangan Ulumbu, Flores, Nusa Tenggara Timur. Pendeliniasian ini menggunakan citra satelit ALOS PALSAR dan citra satelit Landsat 8 OLI dengan salah satu metode fusi citra yaitu *Hue Saturation Intensity* (HSI). Menurut Chen (2003), metode fusi HSI dapat meningkatkan fitur gambar, meningkatkan resolusi spasial, dan mengintegrasikan data yang berbeda secara efisien. Hasil fusi citra ini kemudian dilakukan deliniasi dengan menggunakan peta geologi sebagai acuan. Peta yang digunakan untuk penelitian ini adalah Peta Geologi Daerah Panasbumi Poco Leok, Manggarai, Flores Barat karya Muhardjo dkk., (1983).

2. DATA DAN METODOLOGI PENELITIAN

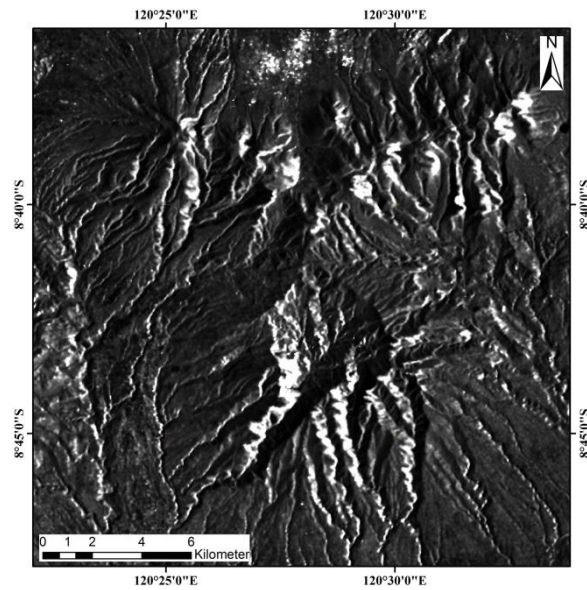
2.1 Pengolahan Data Citra ALOS PALSAR

Citra satelit ALOS PALSAR yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil akuisisi satelit ALOS dari sensor PALSAR dengan *level 1.5* yang telah terkoreksi geometrik dan mode *descending*. Dalam prosesnya, pengolahan dimulai dengan pemotongan citra, lalu dilanjutkan dengan *noise filtering*, dan yang terakhir yaitu pengaturan pengaturan *brightness value*.

2.1.1 Pemotongan Citra

Citra ALOS PALSAR yang ada masih meliputi area yang luas, maka untuk memperkecil area agar didapatkan citra area kompleks pegunungan sekitar Lapangan Ulumbu saja diperlukan proses pemotongan citra. Pemotongan citra dilakukan dengan cara membuat terlebih dahulu batasan area yang diinginkan, untuk selanjutnya dilakukan pemotongan citra pada daerah di luar batas tersebut.

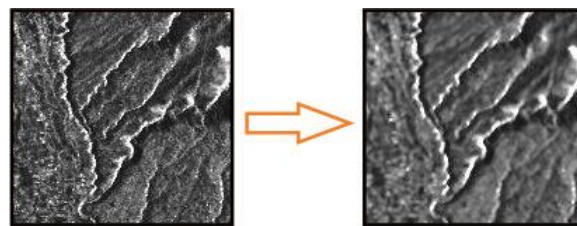
Gambar 1 menunjukkan hasil dari pemotongan citra ALOS PALSAR.



Gambar 1. Hasil pemotongan citra ALOS PALSAR

2.1.2 Noise Filtering

Noise filtering ini dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kesalahan-kesalahan yang timbul akibat gangguan pada saat pengambilan citra karena gangguan-gangguan tersebut memengaruhi kenampakan pada citra sebagai piksel yang terang atau gelap (Ragajaya, 2012). Pada penelitian ini, metode *noise filtering* yang digunakan adalah *filter Gaussian* dengan *filter size* 5x5. Setelah proses *filtering*, citra terlihat lebih halus karena *noise* telah berkurang. Gambar 2 menunjukkan hasil dari *noise filtering*.

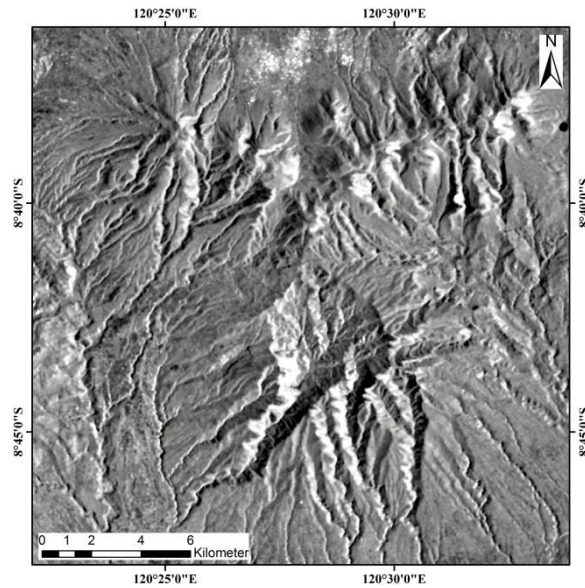


Gambar 2. Suatu area pada citra yang sudah dilakukan *noise filtering*

2.1.3 Pengaturan Brightness Value

Untuk meningkatkan kontras, maka nilai intensitas dihitung untuk menghasilkan nilai derajat keabuan (*gray-level*) dengan skala logarithmic dengan persamaan 1 (Saepuloh dkk., 2013). Hasil dari pengaturan *brightness value* bisa dilihat pada Gambar 3.

$$\beta = 10 \times \log_{10} (DN)^2 \quad (1)$$



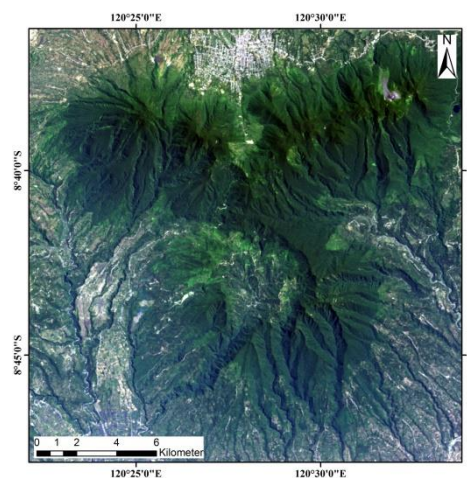
Gambar 3. Hasil pengaturan brightness value ALOS PALSAR

2.2 Pengolahan Data Citra Satelit Landsat 9 OLI

Data citra satelit Landsat 8 OLI yang digunakan berada pada *path* 113 – *row* 66 dengan Level 1T yang telah terkoreksi geometrik. Proyeksi peta yang digunakan adalah UTM 51S, dengan datum dan elipsoid WGS84.

2.2.1 Pra-pengolahan Citra

Dalam tahapan ini dilakukan koreksi radiometrik dan atmosferik. Proses ini dilakukan untuk memperbaiki nilai piksel pada citra yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya. Setelah proses koreksi ini, dilakukan pemotongan citra. Pemotongan ini dilakukan dengan citra satelit ALOS PALSAR sebagai acuannya. Selain untuk memperkecil area, proses ini juga menghemat memori penyimpanan sehingga dapat mempercepat proses pengolahan data. Gambar 4 menunjukkan hasil pra-pengolahan citra Landsat 8 OLI.



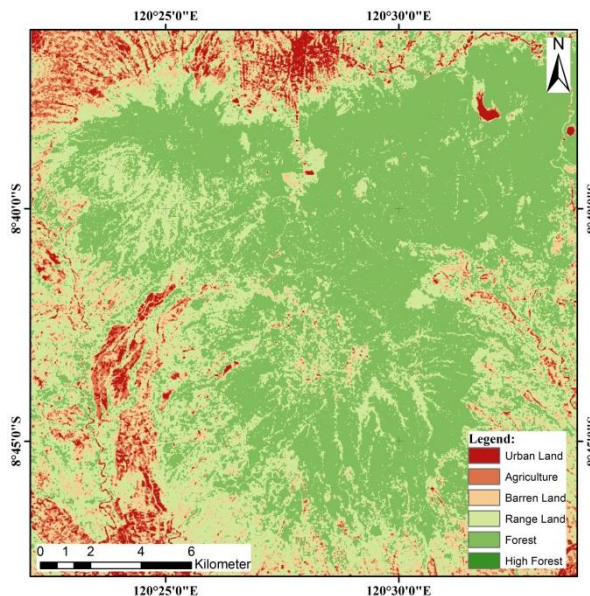
Gambar 4. Hasil pra-pengolahan citra Landsat 8 OLI

2.2.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan algoritma yang digunakan untuk mencari indeks vegetasi pada suatu citra. Rentang nilai indeks vegetasi ini adalah -1 hingga +1. Indeks yang rendah menampilkan permukaan dengan indeks vegetasi yang rendah seperti awan, air, tanah lapang, gedung, dan non-vegetasi lainnya. Indeks yang lebih tinggi menampilkan permukaan dengan indeks vegetasi yang rendah seperti hutan. Citra tersebut diklasifikasi berdasarkan nilai indeksnya dan ditampilkan pada gambar 2.5 dan algoritma dari NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = (Near\ Infrared-red)/(Near\ Infrared+red) \quad (2)$$

Citra NDVI ini akan dijadikan sebagai bahan untuk menganalisis hasil dari fusi citra. Karena fusi yang dilakukan menggunakan data citra Landsat 8 OLI, maka hasil fusi pasti terpengaruh oleh tutupan lahan khususnya vegetasi yang menutupi kompleks pegunungan di sekitar Lapangan Ulumbu. tahapan ini dilakukan koreksi radiometrik dan atmosferik. Proses ini dilakukan untuk memperbaiki nilai piksel pada citra yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya. Setelah proses koreksi ini, dilakukan pemotongan citra. Pemotongan ini dilakukan dengan citra satelit ALOS PALSAR sebagai acuannya. Selain untuk memperkecil area, proses ini juga menghemat memori penyimpanan sehingga dapat mempercepat proses pengolahan data. Gambar 5 menunjukkan hasil pra-pengolahan citra Landsat 8 OLI.



Gambar 5. Klasifikasi citra NDVI Landsat 8 OLI

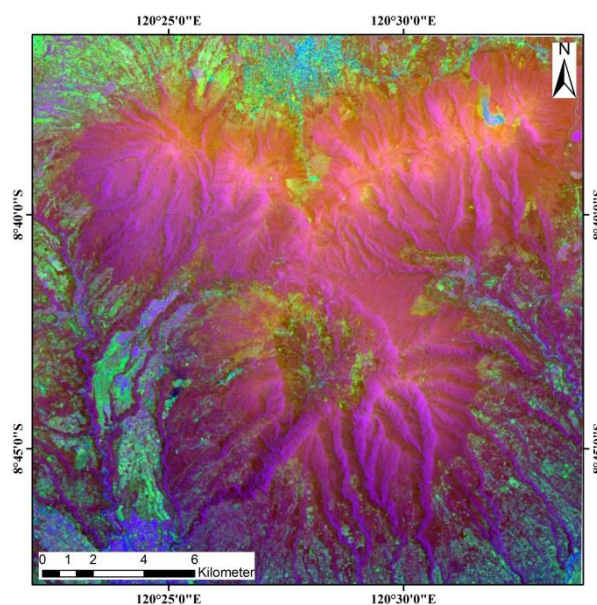
2.2.2 Transformasi Minimum Noise Fraction (MNF)

Transformasi MNF dilakukan untuk mempermudah pemilihan band yang cocok untuk melakukan analisis citra (Kruse dan Boardman, 1994). Transformasi ini dapat menentukan dimensi pada citra untuk memisahkan derau pada data dan mengurangi kebutuhan komputasi untuk diproses selanjutnya. Hasil

transformasi ini di tunjukkan dengan nilai *eigen* dimana semakin tinggi nilai *eigen*, maka semakin rendah pula derau yang terkandung dalam suatu kanal citra (Kruse, 1994). Berikut adalah Tabel 1 tiga *band* MNF terbesar. Hasil *composite image band 1, 2, dan 3 MNF* bisa dilihat pada Gambar 6.

Tabel 1. Tiga nilai *eigen* terbesar dari transformasi MNF

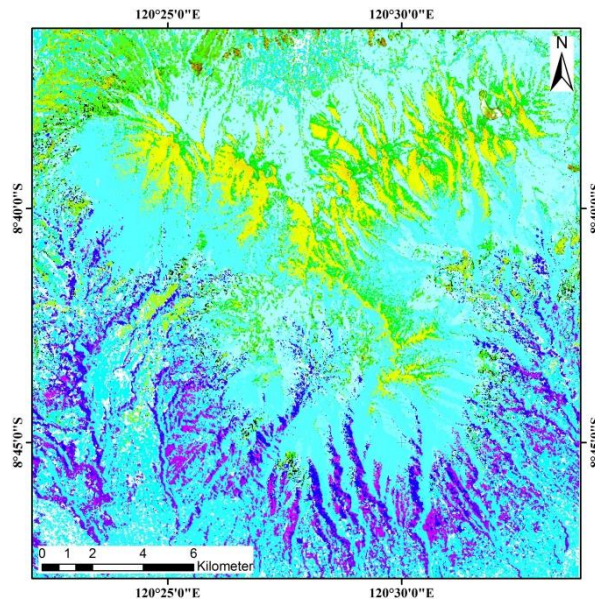
Band MNF	1 MNF	2 MNF	3 MNF
<i>Eigenvalue</i>	17,89	10,79	8,85



Gambar 6. *Composite image band 1, 2, dan 3 MNF*

2.2.3 Transformasi *Hue Saturation Intensity* (HSI)

Transformasi merupakan metode untuk melakukan fusi citra dimana citra RGB standar dirubah dahulu menjadi citra HSI sebelum dilakukan pengolahan fusi. *Band* yang digunakan dalam transformasi ini adalah *band 1, 2, dan 3 MNF* yang kemudian menjadi *band H, S, dan I*. Hasil dari transformasi ini dapat dilihat pada Gambar 7.



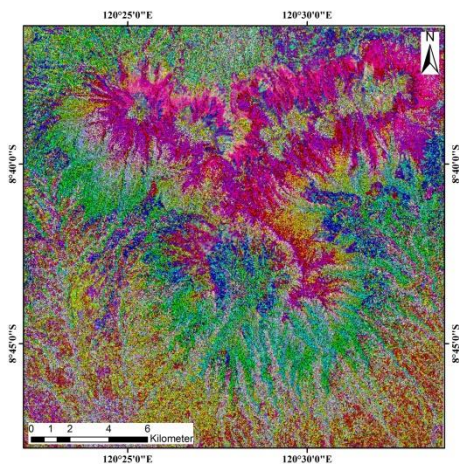
Gambar 7. Hasil transformasi HSI pada citra Landsat 8 OLI

2.2.4 Pengolahan Fusi Citra

Tujuan dari fusi citra adalah untuk mendapatkan informasi lebih banyak mengenai objek yang diamati daripada informasi yang didapat dengan mengamati sensor tunggal (Marcella, 2013). Terdapat beberapa metode fusi citra yang tersedia untuk meningkatkan fitur dalam gambar, seperti metode seleksi band, teknik *color related*, dan metode statistik atau numerik (Pohl & Genderen, 1998).

Dalam penelitian ini digunakan fusi citra teknik *color related* dengan metode transformasi HSI untuk melakukan proses fusi citra. HSI adalah salah satu metode yang paling sering digunakan untuk menggabungkan data citra multisensor. Transformasi HSI dapat meningkatkan fitur gambar, meningkatkan resolusi spasial, dan mengintegrasikan data yang berbeda (Chen dkk., 2003). Prosedur umum transformasi ini adalah menggunakan tiga *band* dengan resolusi spasial yang lebih rendah dan mengubahnya ke bentuk HSI. Lalu *band Intensity* (I) diganti dengan *band* citra yang beresolusi lebih tinggi. Kemudian dilakukan *inverse transformation* untuk mengembalikan citra menjadi citra *Red Green Blue* (RGB) standar.

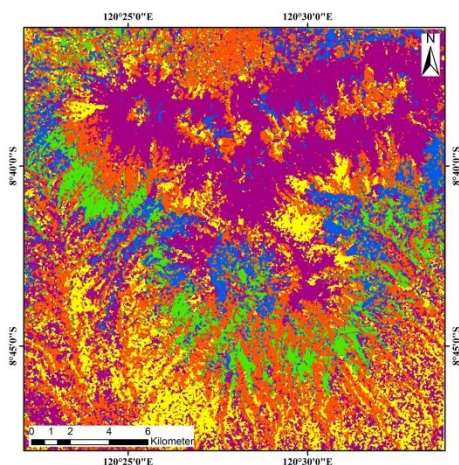
Dalam penelitian ini, data Landsat 8 OLI yang telah dilakukan transformasi HSI digabungkan (*layerstacking*) dengan data citra ALOS PALSAR. Proses ini adalah tahap awal agar kedua data bisa dilakukan fusi. Setelah dilakukan proses *layerstacking*, *band* I dari data HSI Landsat 8 OLI diganti dengan *band* ALOS PALSAR. Proses fusi yang terakhir dilakukan adalah *inverse transformation* yang mengubah citra fusi dalam bentuk HSI menjadi RGB. Hasil fusi citra dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil fusi citra satelit ALOS PALSAR dan Landsat 8 OLI

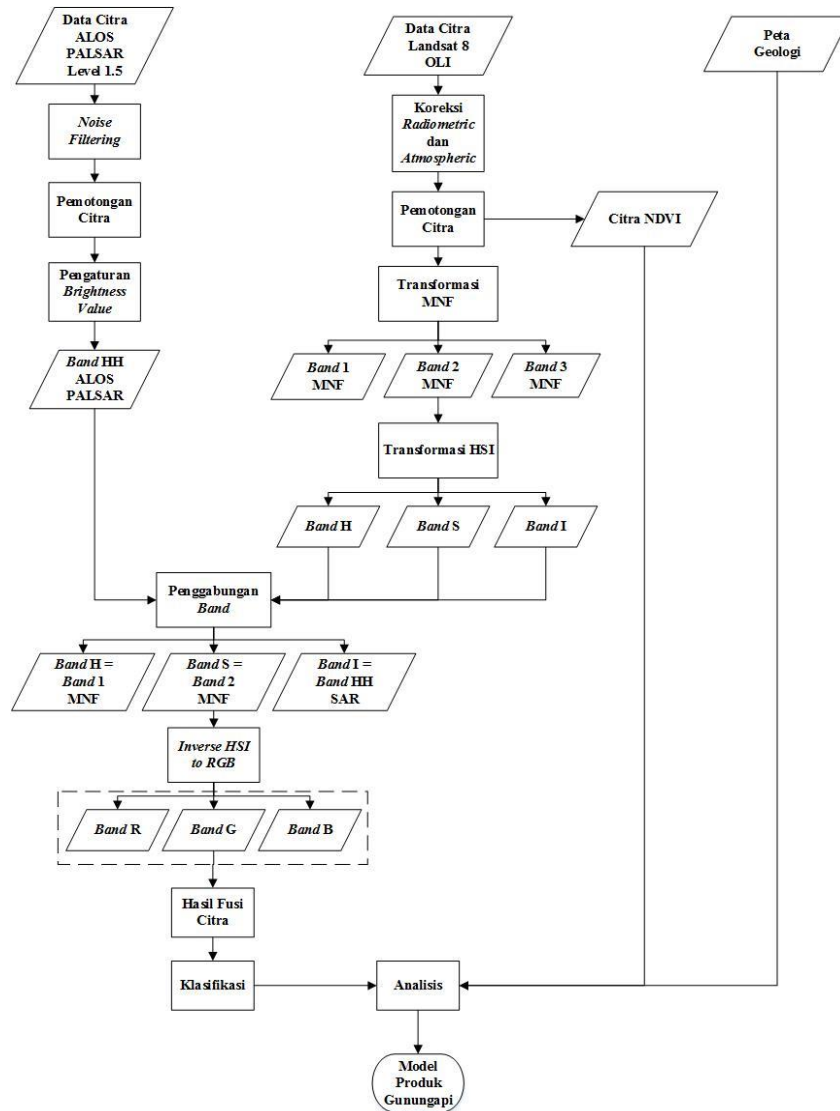
2.2.5 Klasifikasi Citra Fusi

Setelah dihasilkan citra fusi, maka yang dilakukan selanjutnya adalah proses klasifikasi. Klasifikasi citra merupakan proses pengelompokkan piksel citra ke dalam kelas-kelas berdasarkan suatu kriteria tertentu (Marcella, 2013). Klasifikasi yang paling umum digunakan adalah *Maximum Likelihood Classification (MLC)*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini berbasis distribusi normal (Gaussian) yang mengestimasi fungsi probabilitas dari setiap kelas (Pedroni, 2003). Pada metode ini, untuk mengklasifikasi piksel yang tidak dikenal, dilakukan evaluasi korelasi kuantitatif dan varian spektral. Pembagian kelas dilakukan dengan menggunakan *training sample* yang bersifat sebaran normal, yaitu semua distribusi pola spektral penutup lahan diasumsikan sebagai vektor rata-rata dan kovarian matriks, sehingga probabilitas statistiknya berupa kurva normal (Gaussian). Keakuratan klasifikasi dengan MLC bergantung pada estimasi piksel yang dijadikan acuan untuk tiap data kelas. Secara visual, terdapat enam warna yang berbeda, yaitu hijau, kuning, ungu, putih, merah, dan biru. Maka estimasi piksel yang dijadikan acuan tiap kelas ada enam sehingga menghasilkan enam kelas. Hasil klasifikasi dengan metode *Maximum Likelihood Classification* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil klasifikasi dengan metode *Maximum Likelihood Classification*

Secara umum, metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir metodologi penelitian

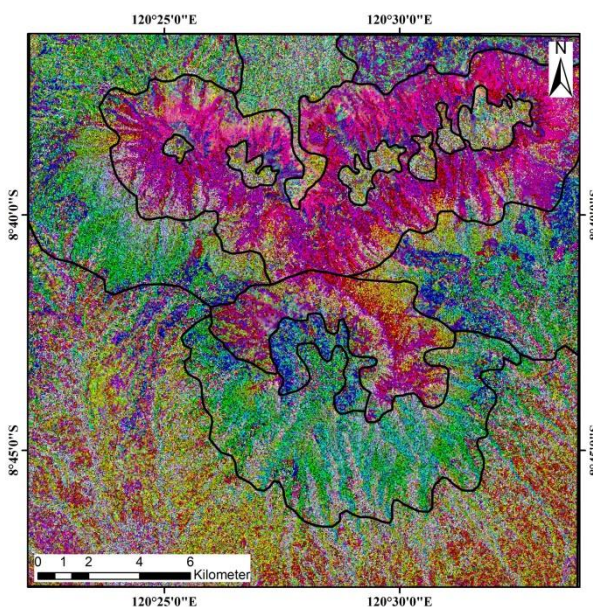
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Fusi citra dengan metode HSI ini menggunakan data citra satelit Landsat 8 OLI yang telah melalui proses transformasi MNF dan HSI serta data citra satelit ALOS PALSAR mode *descending* yang telah melalui proses *noise filtering* dan pengaturan *brightness value*. Citra HSI yang dihasilkan dari citra satelit Landsat 8 OLI berasal dari *band 1 MNF* sebagai *band H*, *band 2 MNF* sebagai *band S*, *band 3 MNF* sebagai *band I*. Setelah citra HSI dihasilkan, *band I* yang awalnya adalah *band 3 MNF* diganti dengan *band* citra satelit ALOS PALSAR. Setelah itu dilakukan proses *inverse transformation* untuk mengembalikan citra menjadi citra RGB standar.



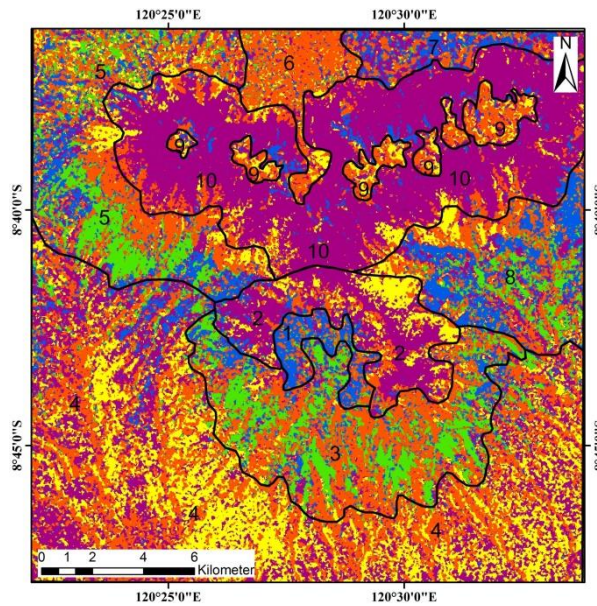
Hasil fusi ini kemudian didelineasi berdasarkan batas-batas warna yang terlihat secara visual dengan peta geologi sebagai validasinya. Warna-warna tersebut secara umum membentuk pola yang mengelilingi suatu titik atau mengalir dari suatu titik. Menurut Bronto (2010), aktivitas gunungapi diartikan sebagai proses erupsi atau keluarnya magma dari dalam bumi ke permukaan, melalui lubang kawah/kaldera dalam berbagai bentuk dan kegiatannya, setelah itu mendingin atau mengendap kemudian membatu ditempat itu. Gunungapi yang aktif akan terus mengeluarkan magma dan magma akan mengendap diatas magma hasil erupsi sebelumnya hingga gunung tersebut berhenti beraktifitas. Hasil fusi citra yang telah didelineasi bisa dilihat di Gambar 11.



Gambar 11. Hasil fusi citra yang telah didelineasi secara visual

Deliniasi produk gunungapi ini dibuat secara visual berdasarkan perbedaan warna. Batas antara warna yang berbeda tersebut disebut dengan batas satuan. Komposit *band* yang digunakan adalah R dari *band Hue* 1 MNF, G dari *band Saturation* 2 MNF, dan B dari *band Intensity* ALOS PALSAR.

Citra fusi yang dihasilkan kemudian diklasifikasikan untuk mempermudah dalam pembedaan setiap produk. Metode klasifikasi yang digunakan adalah *Maximum Likelihood*. Hasil dari klasifikasi ini ditampilkan dengan hasil deliniasi dari citra fusi. Hasil klasifikasi yang ditampilkan dengan deliniasi citra fusi dapat dilihat pada Gambar 12. Setelah dilakukan penampalan, dilakukan pembuatan zona pada citra tersebut. Berdasarkan warna visual dan peta geologi, citra klasifikasi menghasilkan 10 zona.

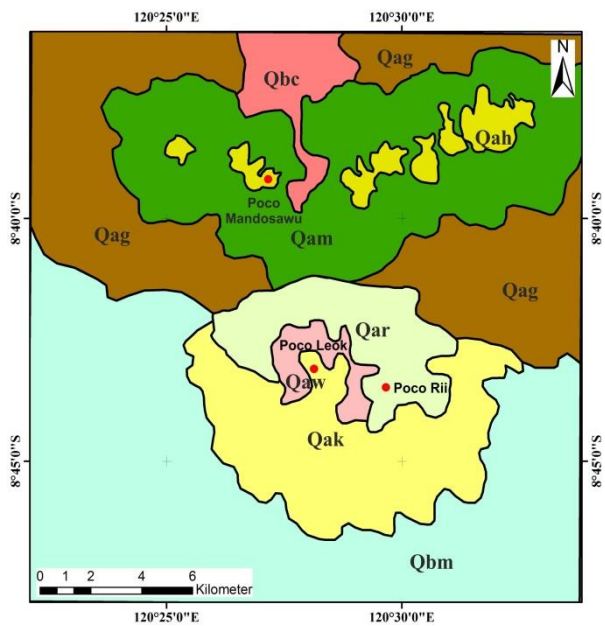


Gambar 12. Zona dari hasil deliniasi citra fusi dan citra klasifikasi

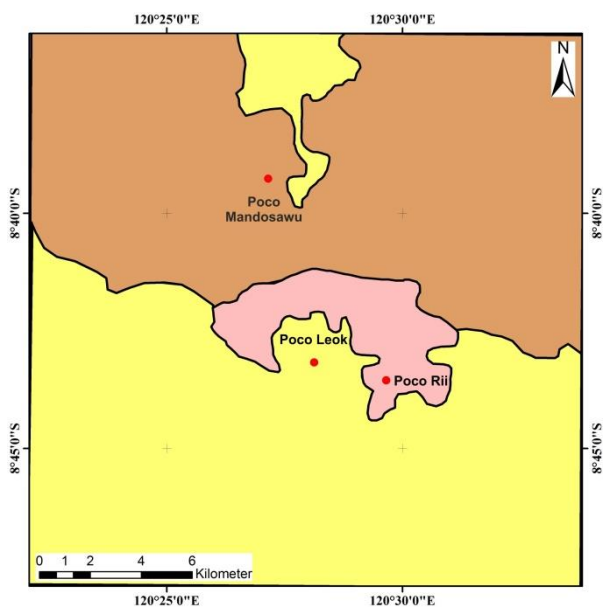
3.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil deliniasi zona pada citra fusi dan citra klasifikasi, masih terdapat perbedaan warna-warna disetiap zona tersebut. Hal ini disebabkan oleh metode fusi citra yang menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI dan citra ALOS PALSAR. Citra satelit Landsat 8 OLI menangkap gelombang pantul dari objek di permukaan bumi dan menghasilkan tampilan permukaan dalam bentuk tutupan lahan. Citra yang menghasilkan tutupan lahan dipermukaan tersebut memengaruhi hasil fusi walaupun telah menggunakan citra SAR satelit ALOS PALSAR yang mengidentifikasi objek di permukaan berdasarkan tingkat kekasaran. Perbedaan hasil deliniasi pada citra fusi dan citra klasifikasi dengan peta geologi tersebut dianalisis dari setiap zona dengan bantuan citra NDVI. Namun zona-zona tersebut memiliki pola yang sama dengan batas litologi pada peta geologi sehingga dalam penelitian ini pengaruh dari tutupan lahan tersebut diabaikan.

Pemodelan hasil deliniasi pada penelitian ini dibuat berdasarkan batas dari zona-zona dari hasil deliniasi citra fusi dan citra klasifikasi serta penamaannya berdasarkan nama produk gunungapi dari peta geologi. Menurut Saepuloh (2014), sebuah titik erupsi menyajikan sebuah badan vulkanis yang disebut Gumuk. Sebuah Gumuk memiliki beberapa titik erupsi. Gabungan dari beberapa Gumuk disebut dengan Khuluk. Dua atau lebih Khuluk dalam satu regional disebut dengan Bregada. Unit yang lebih besar yang terdiri dari gabungan dua atau lebih bregada disebut dengan Arc. Karena pemodelan ini berdasarkan dengan bantuan peta geologi, maka pemodelan ini ditampilkan hingga satuan Khuluk. Pemodelan tersebut dalam satuan Gumuk bisa dilihat pada Gambar 13, pemodelan dalam satuan Khuluk bisa dilihat pada Gambar 14, stratigrafi wilayah pemodelan bisa dilihat pada Tabel 2, dan peta geologi yang dijadikan acuan bisa dilihat pada Gambar 15.



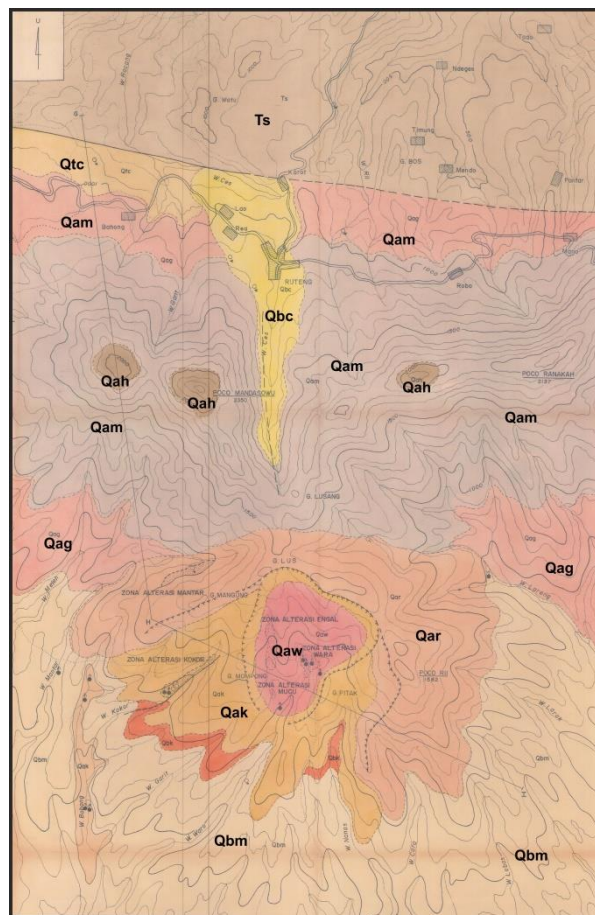
Gambar 13. Model deliniasi produk gunungapi citra fusi dengan satuan Gumuk



Gambar 14. Model deliniasi produk gunungapi citra fusi dengan satuan Khuluk

Tabel 2. Stratigrafi wilayah studi berdasarkan peta geologi

Satuan Stratigrafi		Jenis Batuan	Zona
Khuluk	Gumuk		
Batuan Vulkanis Leok	Qbc	Breksi, tufa, dasitik	6
	Qaw	Lava andesit piroksin	1
	Qbm	Breksi, tufa, dasitik andesit	4
	Qak	Lava andesit piroksin	3
Batuan Vulkanis Rii	Qar	Lava andesit piroksin, breksi tufa	2
Batuan Vulkanis Mandosawu	Qah	Lava andesit hornblenda	9
	Qam	Lava andesit piroksin	10
	Qag	Lava andesit piroksin, breksi tufa	5, 7, 8



Gambar 15. Peta Geologi Daerah Panasbumi Poco Leok, Manggarai, Flores Barat (Muhardjo dkk., 1984)



4. KESIMPULAN

Yang dapat disimpulkan dari penelitian ini yaitu berdasarkan hasil pengolahan fusi citra, metode fusi citra yang dilakukan antara data citra satelit ALOS PALSAR dan Landsat 8 OLI ini menunjukkan produk gunungapi. Citra fusi yang telah dilakukan proses klasifikasi menghasilkan sepuluh zona deliniasi yang dibuat dengan bantuan peta geologi sebagai validasinya. Di dalam setiap zona tersebut memiliki perbedaan warna yang menampilkan tutupan lahan. Terdapat enam jenis tutupan lahan yaitu hutan lebat (*high forest*), hutan (*forest*), rerumputan (*range land*), lahan terbuka (*barren land*), pertanian (*agriculture*), dan perumahan (*urban land*). Tutupan lahan tersebut dihasilkan oleh citra satelit Landsat 8 OLI sehingga memengaruhi hasil fusi citra dengan citra SAR satelit ALOS PALSAR. Berdasarkan peta geologi, hasil deliniasi tersebut mengikuti batas litologi produk gunungapi pada peta geologi sehingga dalam pemodelannya pengaruh dari tutupan lahan tersebut diabaikan.

DAFTAR REFERENSI

- Boardman, J. W., & Kruse, F. A. (1994). Automated Spectral Analysis: A Geological Example Using AVIRIS Data, North Grapevine Mountains, Nevada. *Proceedings ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing*. Ann Arbor: Environmental Research Institute of Michigan.
- Bronto, S. (2010). *Publikasi Khusus: Geologi Gunung Api Purba*. Bandung: Badan Geologi.
- Chen, C. M., Hepner, G. F., & Forster, R. R. (2003). Fusion of Hyperspectral and Radar Data using the IHS Transformation to Enhance Urban Surface Features. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 19-30.
- Kruse, F. A., Lefkoff, Boardman, Heidebrecht, & Shapiro. (1993). The Spectral image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer data. *Remote Sensing of the Environment Vol. 44*, 145-163.
- Marcella, M. (2013). *Identifikasi Tutupan Lahan Wilayah Karst Kecamatan Cipatat dengan Data ALOS PALSAR dan AVNIR : Kajian Perspektif Sosial, Kependudukan, dan Ekonomi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Muhardjo, Erfan, R., Setiawan, T., Nanlohy, F., & Yuhan. (1983). *Laporan Penyelidikan Geologi Daerah Panasbumi Poco Leok, Kabupaten Manggarai, Flores*. Direktorat Vulkanologi, Departemen Pertambangan dan Energi.
- Pedroni. (2003). Improved Classification of Landsat Thematic Mapper Data Using Modified Prior Probabilities in Large and Complex Landscapes. *International Journal of Remote Sensing*, 91-113.

Pohl, C., & Genderen, V. (1998). Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications. *International Journal of Remote Sensing*, 823-854.

Ragajaya. (2012). *Perhitungan Biomassa dengan Metode Polarimetrik SAR Menggunakan Citra ALOS PALSAR*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Saepuloh, A. (2014). *Microwave Remote Sensing for Geological Mapping at Ulumbu*. Bandung: Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB, tidak dipublikasikan.

Saepuloh, A., Urai, M., Meilano, I., & Sumintadireja, P. (2013). Automatic Extraction and Validation of Linear Features Density from ALOS PALSAR data for Active Faults and Volcanoes. *Proceeding of the International Symposium on Remote Sensing*, (pp. 335-338). Chiba.

BIOGRAFI PENULIS

Gilang Pradana, S.T.



Gilang Pradana, lahir di Pekanbaru, Riau pada tanggal 22 Oktober 1992. Gilang menjalani masa SMAnya di SMA Cendana Duri, Riau dan melanjutkan studinya di Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung hingga mendapatkan gelar sarjana pada tahun 2015. Semasa kuliah, Gilang menaruh minat tinggi terhadap bidang penginderaan jauh, yang kemudian menjadi tema besar dari penelitian tugas akhirnya.

Prof. Ketut Wikantika



Ketut Wikantika, lahir di Singaraja, Bali, 17 Desember 1966. Menyelesaikan program S-1 Teknik Geodesi ITB tahun 1991, kemudian menyelesaikan program Magister dan Doktor bidang *Image Informatics* dan Penginderaan Jauh (remote sensing) di Chiba University, Jepang pada tahun 1998 dan 2001. Pada tahun 2001-2002 mengikuti program Post Doctoral di *Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS)* dengan tema riset *Identification of Agricultural Land Covers in Mountainous Area Using Very High Resolution Satellite Data*. Pengalaman kerjasama internasional antara lain melakukan ground-truth survey di Asia Tengah (Kazakstan, Uzbekistan, dan Turkmenistan) bersama dengan peneliti dari ke tiga negara bersangkutan pada tahun 1998. Sejak 2005, Ketut Wikantika menjabat sebagai Kepala Pusat Penginderaan Jauh ITB, juga sebagai Ketua *Continuing Education Program (CEP)*, ITB. Menjadi



anggota Komisi Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, LPPM-ITB sejak 2007. Kecintaannya terhadap bidang penelitian membuatnya menjadi pendiri Forum Peneliti Indonesia Muda (ForMIND).

Dr. Eng. Asep Saepuloh



Asep Saepuloh lulus dari Departemen Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung pada tahun 2004. Asep Saepuloh melanjutkan studinya di Teknik Sipil dan Lingkungan, Kumamoto University (Jepang) hingga mendapatkan gelar *Master of Engineering* (M. Eng) pada tahun 2007 dan gelar *Doctor of Engineering* (Dr. Eng) di *New Frontier Sciences* pada universitas yang sama pada tahun 2010. Dari tahun 2010 hingga 2013, Asep Saepuloh memulai karirnya dengan bekerja di Geological Survey of Japan (GSJ), dan menekuni bidang penginderaan jauh gelombang mikro, untuk aplikasi geologi dan vulkanologi. Pada tahun 2013, Asep Saepuloh diangkat menjadi dosen di Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung.

Aplikasi LiDAR untuk Kehutanan dalam Estimasi Biomassa (Studi Area: Perkebunan Kelapa Sawit PTPN VIII, Subang, Jawa Barat)

(LiDAR Application in Forestry for Biomass Estimation (a Case Study in Oil Palm Plantation PTPN VIII, Subang, West Java))

Intan Ika Apriani¹, Budhy Soeksmantono², Ketut Wikantika³

^{1,2,3}Teknik Geodesi dan Geomatika, Kelompok Keilmuan Penginderaan Jauh dan Sains Informasi Geografis, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

email: ¹intanikaapriani@gmail.com, ²soeksmantono@gd.itb.ac.id, ³ketut@gd.itb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi parameter biomassa dan menghitung biomassa perkebunan kelapa sawit. Parameter biomassa yang diestimasi adalah tinggi pohon. Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan memodelkan data LiDAR berbentuk *point clouds* untuk mendapatkan parameter biomassa. Kemudian dilanjutkan dengan menggunakan persamaan alometrik untuk mengestimasi biomassa. Hasil akhir memperlihatkan tinggi pohon dengan rata-rata 6,52 m dan RMSE (*Root Mean Square Error*) tinggi pohon dari LiDAR terhadap tinggi pohon hasil data pengukuran di lapangan sebesar 10,297 cm. Jumlah biomassa yang dihasilkan pada studi area seluas 18 hektar sebesar 422,60 ton. Dan untuk jumlah biomassa per tegakan kelapa sawit sebesar 237,70 kg.

Kata kunci: LiDAR (Light Detection and Ranging), estimasi, biomassa, kelapa sawit

Abstract

This research aims to estimate biomass parameter and calculate biomass of oil palm plantation. Biomass parameter to be estimated is tree height. Methodology is conducted by modelling the LiDAR data-point clouds shaped to obtain biomass parameter. And continued with using allometric equation to estimate the biomass. The result shows that tree height with an average of 6.52 m and RMSE (Root Mean Square Error) of tree height by ground truth data amounted to 10.297 cm. The amount of biomass which produced is approximately 422.63 tons within 18 hectares area. And for the amount of biomass per oil palm at 237.70 kg.

Keywords: LiDAR (Light Detection and Ranging), estimation, biomass, oil palm



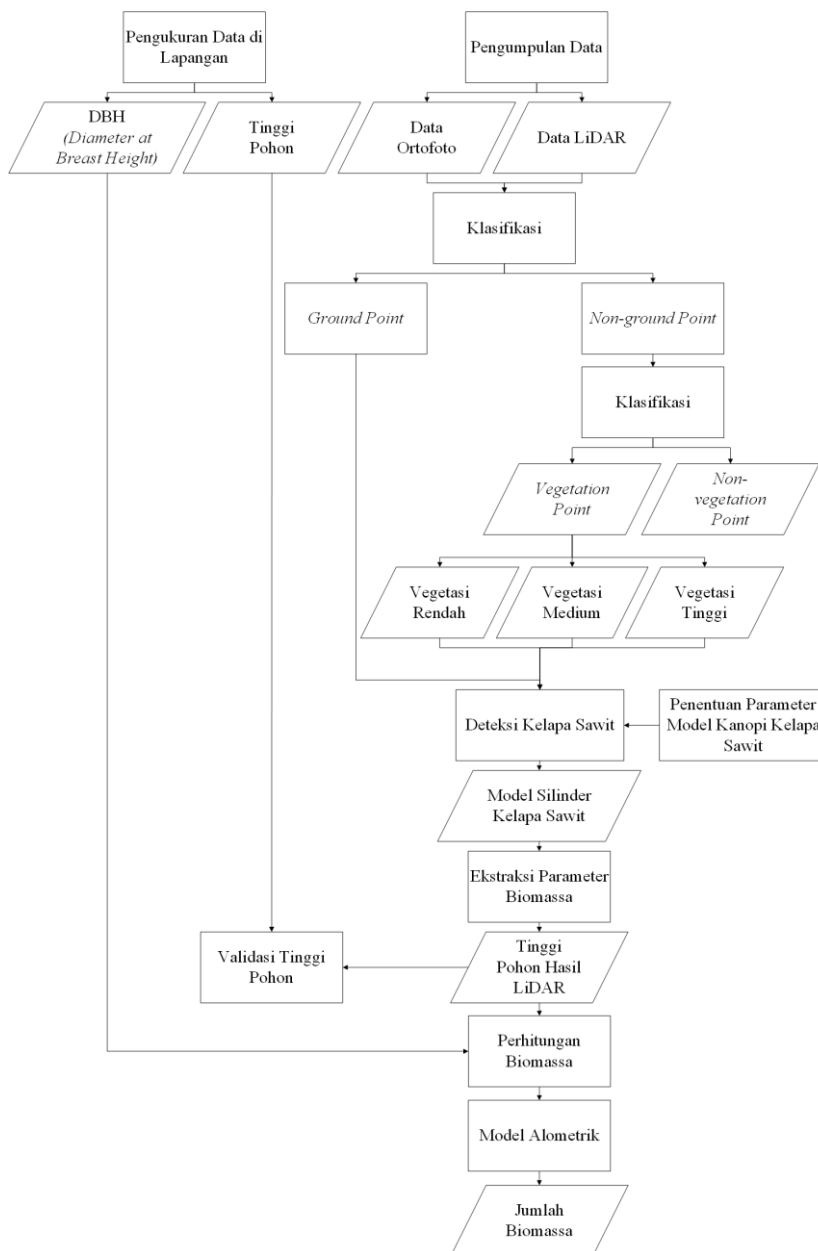
1. PENDAHULUAN

Biomassa merupakan salah satu sumber daya alternatif dan energi yang dihasilkannya merupakan energi yang terbarukan (*renewable*). Secara umum biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi atau bahan dalam jumlah yang besar (Yokoyama, 2008). Biomassa yang berasal dari tutupan lahan berupa vegetasi merupakan faktor penting dalam lingkungan karena berperan berperan aktif dalam siklus karbon global dan pemodelan iklim (He, dkk., 2013). Hal ini dikarenakan setiap vegetasi tersebut akan menyerap CO₂ (karbondioksida) yang ada di atmosfer dalam proses fotosintesis, CO₂ di atmosfer tersebut akan diikat dan diubah menjadi bentuk energi yang bermanfaat bagi kehidupan tersimpan pada vegetasi dalam bentuk biomassa. Salah satu vegetasi yang memiliki potensi untuk menyerap CO₂ dan menghasilkan biomassa dalam jumlah besar adalah kelapa sawit. Sehingga biomassa yang ada perlu untuk diketahui jumlahnya agar dapat mengetahui potensi sumber daya energi alternatif yang bersumber dari biomassa dan mengetahui jumlah CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tumbuhan. Salah satu vegetasi yang memiliki potensi untuk menyerap CO₂ dan menghasilkan biomassa dalam jumlah besar adalah kelapa sawit. Hasil penelitian Henson (1999) mengungkapkan bahwa dalam proses fotosintesis kelapa sawit menyerap sekitar 161 ton CO₂ per hektar per tahun.

Sejauh ini pemahaman kita mengenai jumlah biomassa dan parameter biomasanya hanya terbatas pada pengukuran di lapangan dengan daerah pengukuran terbatas. Parameter biomassa yang diukur adalah tinggi pohon dan DBH (*Diameter at Breast Height*). Pengukuran biomassa dengan cara langsung akan memakan banyak waktu dan biaya serta hanya dilakukan pengukuran kembali dalam interval sepuluh tahun (Houghton, 2005). Oleh karena itu digunakanlah teknologi penginderaan jauh LiDAR (*Light Detection and Ranging*) untuk melakukan estimasi biomassa pada suatu vegetasi. LiDAR mampu memberikan hasil data yang detil dan teliti yang berguna untuk mendapatkan parameter estimasi biomassa seperti tinggi pohon, diameter kanopi, dan struktur kanopi (Kandia, 2012). Estimasi biomassa dengan menggunakan LiDAR ini diharapkan dapat digunakan sebagai cara yang efisien untuk aplikasi kehutanan.

2. METODE DAN DATA

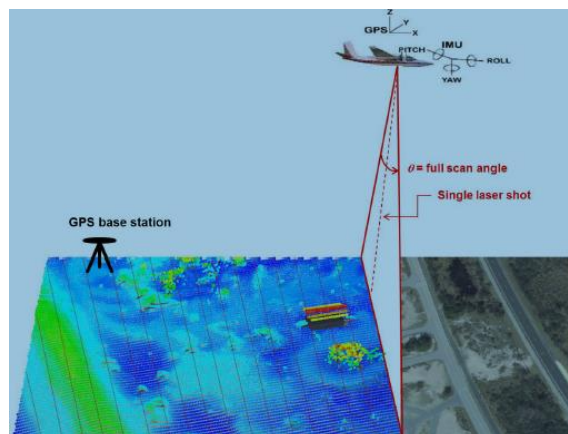
Metodologi pada penelitian ini adalah memodelkan data LiDAR yang berbentuk *point clouds* untuk mendapatkan parameter biomassa. Kemudian perhitungan biomassa dilakukan dengan menggunakan persamaan alometrik. Pemodelan ini dilakukan dengan mengolah data LiDAR yang terbagi atas tiga tahap pengolahan yaitu klasifikasi, pendeteksian pohon, dan ekstraksi informasi. Pada Gambar 1 dapat dilihat diagram alir penelitian secara keseluruhan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

LiDAR merupakan sistem pengindraan jauh yang memancarkan sinar laser secara intens dengan berkas cahaya yang terfokuskan dan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk memantulkan kembali sinar tersebut untuk dideteksi oleh sensor (Center, 2012). Gelombang elektromagnetik yang digunakan adalah inframerah beroperasi pada panjang gelombang +/- 1064 nm untuk *Airborne LiDAR* dan *Terrestrial LiDAR* (Renslow, 2012). Komponennya terdiri atas sensor LiDAR, GPS (*Global Positioning System*), dan INS (*Inertial Navigation System*). Pada tahun 2006, sensor LiDAR telah mampu memproduksi 2.000 hingga 100.000 pulsa perdetik dan merekam 6.000.000 titik/menit (BC-CARMS, 2006). Pada Gambar 2 dapat dilihat ilustrasi dari sistem *Airborne LiDAR*.



Gambar 2 Ilustrasi sistem LiDAR (Center, 2012)

Prinsip LiDAR adalah mengukur jarak dari sensor ke objek. Untuk mengukur jarak dibutuhkan waktu tempuh pulsa laser ketika ditransmisikan hingga diterima kembali pantulannya oleh sensor dan kecepatan cahaya. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan jarak berdasarkan Renslow (2012):

$$R = \left(\frac{\Delta t}{2} \right) \times c \quad (1)$$

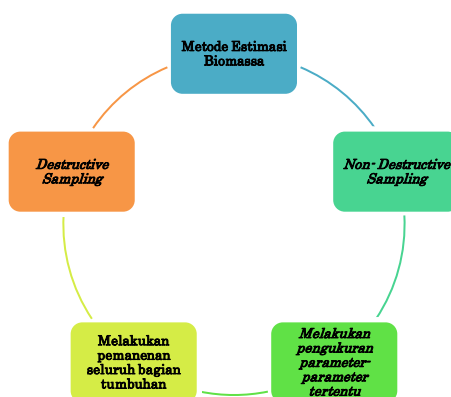
Dengan R merupakan jarak antara sensor dengan objek di permukaan bumi (m), Δt merupakan waktu tempuh gelombang (*time of travel*) ketika ditransmisikan hingga diterima kembali oleh sensor (s), dan c merupakan kecepatan cahaya (3×10^8 m/s).

LiDAR memiliki suatu karakteristik pada sensornya, yaitu gelombang pada LiDAR mampu untuk melakukan *multiple return* (Kandia, 2012). *Multiple return* menyebabkan sensor LiDAR dapat merekam beberapa kali gelombang pantul dari objek yang ada di permukaan bumi untuk setiap gelombang yang dipancarkan.

LiDAR dalam kehutanan dapat diaplikasikan untuk mendapatkan informasi berupa parameter struktural vegetasi seperti ketinggian pohon, kerapatan daun, diameter kanopi, dan struktur kanopi pohon. Hal ini dikarenakan LiDAR mampu menghasilkan informasi berupa distribusi vertikal suatu vegetasi dari kanopi pohon sampai ke permukaan tanah (ESRI, 2010).

2.2 Biomassa dan Kelapa Sawit

Biomassa merupakan total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997). Biomassa memiliki manfaat yang signifikan yaitu sebagai sumber energi terbarukan dan meminimalisir pemanasan global. Perhitungan biomassa dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *destructive sampling* dan *non-destructive sampling* (Sutaryo, 2009) penjabaran kedua cara tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Metode estimasi biomassa

Dala penelitian ini dilakukan metode *non-destructive sampling*, yaitu melakukan pengukuran parameter tertentu. Setelah itu biomassa akan dihitung melalui pendekatan dengan membuat persamaan alometriknya. Persamaan alometrik didefinisikan sebagai studi dari suatu hubungan antara pertumbuhan dan ukuran salah satu bagian organisme dengan pertumbuhan atau ukuran dari keseluruhan organisme (Sutaryo, 2009). Berikut ini merupakan persamaan alometrik yang digunakan pada penelitian ini:

1. Model alometrik Thenkabail (2012).

$$W = (0,3747 \times H) + 3.6334 \tag{2}$$

Dengan W merupakan total biomassa (kg), H merupakan tinggi pohon kelapa sawit (m).

2. Model alometrik Departemen Kehutanan Indonesia (Krisnawati dkk., 2012).

$$W = 0.0002 \times DBH^{3,49} \tag{3}$$

Dengan W merupakan total biomassa (kg) dan DBH merupakan diameter batang kelapa sawit setinggi dada (m).

3. Model alometrik Muhdi (2015).

$$W = 0,00597 \times DBH^{1,000} \times Hbp^{1,142} \tag{4}$$

Dengan W merupakan total biomassa (kg), DBH merupakan diameter batang kelapa sawit setinggi dada (m), dan Hbp merupakan tinggi pohon kelapa sawit bebas pelepah (m).

Salah satu vegetasi yang memiliki potensi untuk menyerap CO_2 dan menghasilkan biomassa dalam jumlah besar adalah kelapa sawit. Hasil penelitian Henson (1999) mengungkapkan bahwa dalam proses fotosintesis kelapa sawit menyerap sekitar 161 ton CO_2 per hektar per tahun. Rata-rata biomassa terbesar kelapa sawit berasal dari batang, yakni 91,48% dari total biomassa tanaman (Muhdi & Risnasari, 2015).

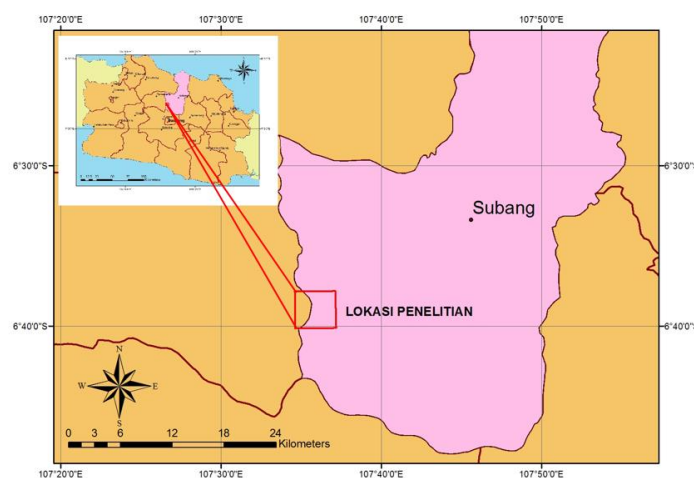
2.3 Data dan Area Studi

Data yang digunakan berasal dari PT. Karvak Nusa Geomatika yang diakuisisi pada tanggal 23 Juli 2013 berupa data LiDAR dan ortofoto. Data LiDAR tersebut dalam bentuk *point clouds* yang belum terklasifikasi dalam format .LAS dan sudah tergeoreferensi dalam WGS 1984. Berikut ini merupakan spesifikasi alat dan .data LiDAR yang diperlihatkan pada Tabel 1

Tabel 1 Spesifikasi data LiDAR

Spesifikasi	Keterangan
Tinggi Terbang	150 – 4000 m
Tipe Wahana	Cessna 402
Tipe Sistem LiDAR	ALTM Gemini
Panjang Gelombang Laser	1064 nm
Akuisisi DATA	23 Juli 2013
Kerapatan <i>Point Clouds</i>	2-3 titik/m ²

Area kajian dalam tugas akhir ini merupakan area perkebunan kelapa sawit yang berada di Perkebunan Nusantara VIII Kebun Tambaksari, Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat dengan luas 18 hektar yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan berada pada koordinat $6^{\circ} 38' 13.9407''$ LS - $6^{\circ} 38' 39.0414''$ LS dan $107^{\circ} 35' 34.4301''$ BT - $107^{\circ} 35' 52.4416''$ BT. Pada daerah studi ini terdapat tiga jenis kelapa sawit yang diklasifikasikan berdasarkan tahun tanamnya, yaitu tahun 2003, tahun 2007, dan tahun 2009. Pada penelitian ini digunakan kelapa sawit dengan tahun tanam 2007, ini berarti bahwa usia kelapa sawit pada penelitian ini adalah delapan tahun.



Gambar 4 Area studi

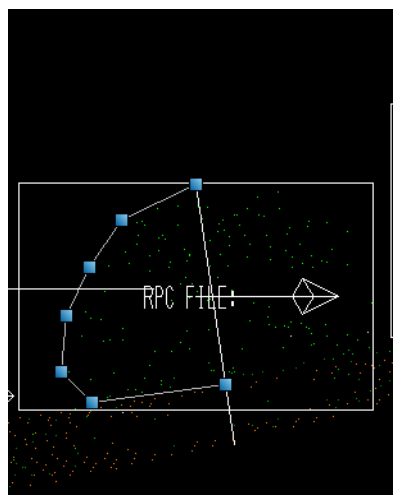
2.4 Klasifikasi *Point Clouds*

Data LiDAR yang didapatkan akan diolah merupakan data *point clouds* yang belum terklasifikasi. Data *point clouds* pada LiDAR akan dimengerti secara baik ketika *point clouds* tersebut terklasifikasikan berdasarkan posisi dan hubungan antar *point clouds* (Gallant, 2015). Metode klasifikasi dilakukan secara semi-otomatis dan manual.

Pada penelitian ini *point clouds* diklasifikasikan ke dalam dua kelas yaitu *ground* dan vegetasi. Tahapan klasifikasi pertama yang dilakukan adalah klasifikasi permukaan tanah (*ground filtering*). Dalam pembentukan kelas *ground* terdapat beberapa parameter yang harus ditentukan. Parameter ini menjelaskan karakteristik fisik dari *ground points* yang akan membedakannya dengan titik-titik yang lainnya berdasarkan elevasi terendah, kecuraman permukaan tanah, perbedaan elevasi permukaan tanah, dan homogenitas permukaan tanah (Meng dkk., 2010). Setelah melakukan *ground filtering* tahap klasifikasi selanjutnya adalah melakukan klasifikasi vegetasi pada kelas *non-ground* yang akan dibagi menjadi beberapa kelas vegetasi, yakni vegetasi rendah (*low vegetation*), vegetasi sedang (*medium vegetation*), dan vegetasi tinggi (*high vegetation*) (Gallant, 2015).

2.5 Pendeteksian Kelapa Sawit

Pendeteksian pohon ini dilakukan dengan terlebih dahulu memodelkan kelapa sawit. Metode dasar dari pemodelan pohon ini adalah dengan mengambil sampel satu tegakan kelapa sawit lalu mendelineasi tegakan kelapa sawit tersebut dari *point clouds* yang sudah terklasifikasi. Delineasi ini dilakukan dengan mendigitasi bentukan kanopi yang berbentuk *point clouds* pada posisi *cross section*. Ilustrasi proses delineasi dapat dilihat pada Gambar 5.

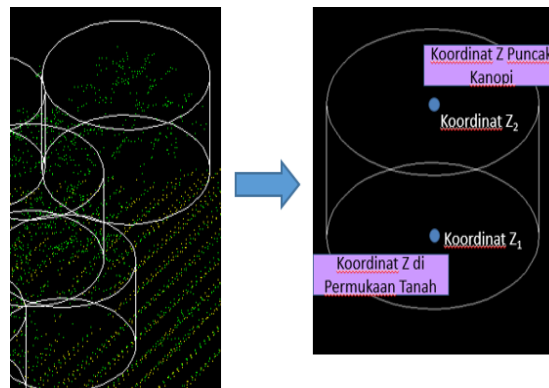


Gambar 5 Digitasi *point clouds* untuk model kanopi kelapa sawit

Setelah terbentuk model kanopi pohon kelapa sawit selanjutnya menentukan parameter dari model kanopi yang sudah dibuat. Parameter ini yang akan mempengaruhi jumlah pohon yang akan terdeteksi. Parameter-parameter tersebut yaitu tinggi minimum, tinggi maksimum, dan variasi lebar kanopi.

2.6 Ekstraksi Informasi Parameter Biomassa

Informasi tinggi tersebut dapat diekstraksi setelah dilakukan pendeteksian pohon kelapa sawit. Setelah seluruh pohon terdeteksi, akan didapatkan model pohon seperti silinder dan pada silinder tersebut terdapat titik *centroid*. Titik *centroid* pada silinder menandakan nilai koordinat Z pada kanopi kelapa sawit dan nilai koordinat Z pada *ground*. Proses ekstraksi informasi dari model silinder kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Proses ekstraksi informasi dari model silinder kelapa sawit

Berdasarkan Gambar 6 maka tinggi pohon didapatkan dari selisih antara puncak kanopi dan permukaan tanah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengolahan Data LiDAR

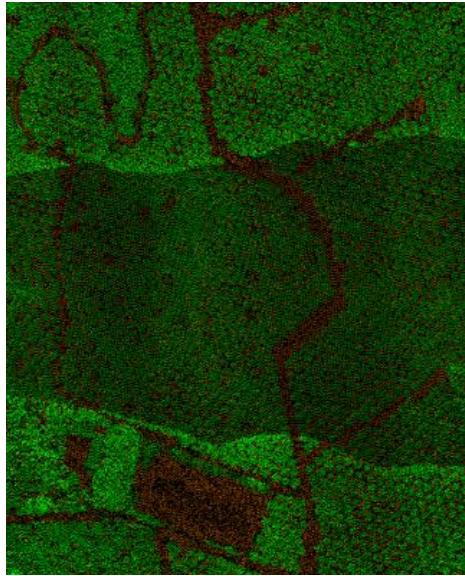
3.1.1 Hasil Klasifikasi Point Clouds

Hasil klasifikasi *point clouds* diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil klasifikasi point clouds

Deskripsi	Jumlah Titik
Vegetasi Sedang	81.205
Vegetasi Rendah	210.241
<i>Ground</i>	529.176
Vegetasi Tinggi	650.337
Total	1.470.959

Pada Gambar 7 ditunjukkan hasil klasifikasi akhir dari data LiDAR dan hasil klasifikasi ini sudah mencakup seluruh kelas yang diolah pada penelitian tugas akhir ini yaitu kelas *ground* dan kelas vegetasi. Hasil pertampalan *point clouds* dan ortofoto diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Hasil klasifikasi akhir point clouds



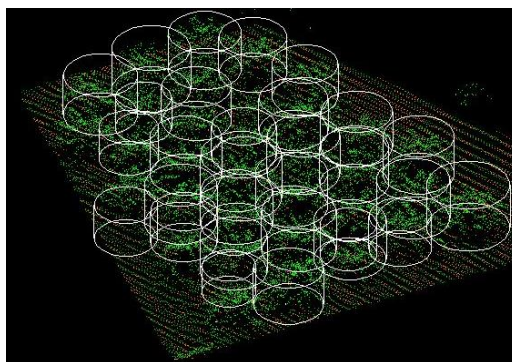
Gambar 8. Pertampalan point clouds dengan ortofoto

3.1.2 Hasil Pendeteksian Kelapa Sawit

Pendeteksian pohon secara otomatis menghasilkan jumlah pohon sebanyak 1.778 pohon kelapa sawit diperlihatkan pada Gambar 9. Dan setiap pohon yang terdeteksi akan menghasilkan model silinder kelapa sawit yang dapat dilihat pada Gambar 10.

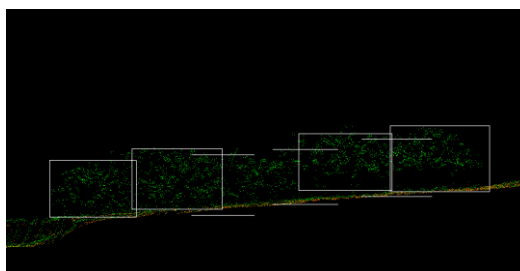


Gambar 9. Hasil pendeteksian pohon kelapa sawit



Gambar 10. Hasil pemodelan kelapa sawit dalam bentuk silinder

Pada Gambar 11. dapat dilihat pula hasil deteksi pohon tampak samping.



Gambar 11. Hasil deteksi pohon kelapa sawit tampak samping

3.2 Hasil Parameter Biomassa Tegakan Kelapa Sawit

Pada Tabel 3 diperlihatkan hasil dari parameter biomassa yaitu tinggi pohon per tegakan kelapa sawitnya.

Tabel 0. Hasil tegakan kelapa sawit

Data	Nilai (m)
Tinggi pohon maksimum	7,39
Tinggi pohon minimum	5,00
Rata-rata tinggi pohon	6,52
Standar deviasi	0,64

Selain tinggi pohon, parameter biomassa tegakan kelapa sawit lainnya yang diperoleh adalah DBH. DBH ini tidak didapatkan melalui proses pengolahan data LiDAR. DBH didapatkan melalui persamaan yang dibuat berdasarkan data DBH 30 sampel kelapa sawit yang diukur langsung di lapangan. Berikut ini merupakan persamaan yang didapatkan untuk menghitung DBH pohon kelapa sawit:

$$y = 0,0263x + 37,007 \tag{5}$$

Dengan y merupakan DBH pohon kelapa sawit yang akan dicari (m) dan x merupakan tinggi pohon kelapa sawit yang diketahui (m), maka didapatkanlah DBH pohon kelapa sawit dengan asumsi faktor seperti pemupukan, cuaca, dan lingkungan sama pada setiap kelapa sawit maka didapatkan DBH berkisar pada 50,17-56,44 cm.

3.3 Hasil Estimasi Biomassa Kelapa Sawit

Estimasi biomassa pada penelitian ini menggunakan tiga model alometrik. Pada Tabel 3.3 diperlihatkan model alometrik beserta hasil estimasi biomassa 1.778 pohon kelapa sawit di daerah studi dan jumlah biomassa per tegakan kelapa sawit.

Tabel 4. Hasil estimasi biomassa dari tiga model alometrik

Hasil Estimasi	Total Biomassa (ton)	Biomassa per tegakan (kg)
Estimasi 1 *	422,63	237,70
Estimasi 2 **	382,97	210,16
Estimasi 3 ***	423,35	238,10

* Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Thenkabail (2002)

** Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Departemen Kehutanan Indonesia (2012)

*** Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Muhdi (2015)

Hasil biomassa yang didapatkan dari tiga model ini memberikan hasil yang tidak terlalu jauh namun tetap ada perbedaan. Hal seperti ini dapat terjadi karena adanya perbedaan penggunaan parameter saat



perhitungan. Terdapat dua model alometrik yang menggunakan DBH dan terdapat pula model alometrik yang hanya menggunakan parameter tinggi pohon saja.

3.4 Hasil Estimasi Biomassa 30 Sampel Kelapa Sawit

Estimasi biomassa untuk 30 sampel kelapa sawit yang diukur dihitung dengan menggunakan tiga model alometrik, untuk hasil estimasi biomassa dengan menggunakan data tinggi pohon dan DBH yang didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil estimasi biomassa pohon berdasarkan data pengukuran lapangan

Hasil Estimasi	Total Biomassa (kg)	Biomassa per tegakan (kg)
Estimasi 1 *	7087,79	236,26
Estimasi 2 **	7046,63	234,89
Estimasi 3 ***	6992,32	233,07

* Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Thenkabail (2002)

** Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Departemen Kehutanan Indonesia (2012)

*** Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Muhdi (2015)

Kemudian dihitung pula estimasi biomassa dari 30 sampel kelapa sawit, namun data tinggi pohon yang digunakan adalah data tinggi pohon yang diperoleh dari LiDAR. Berikut ini pada Tabel 6 merupakan hasil estimasi biomassa dengan menggunakan data tinggi pohon dari LiDAR.

Tabel 6. Hasil estimasi biomassa pohon berdasarkan data LiDAR

Hasil Estimasi	Total Biomassa (kg)	Biomassa per tegakan (kg)
Estimasi 1 *	6972,08	232,40
Estimasi 2 **	6739,57	224,65

* Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Thenkabail (2002)

** Perhitungan dengan menggunakan model alometrik Muhdi (2015)

Berdasarkan hasil perhitungan biomassa dari 30 sampel tersebut maka dapat dilihat perbedaan biomassa yang dihasilkan dari tinggi pohon yang didapatkan dari LiDAR dan tinggi pohon yang didapatkan dari hasil perhitungan langsung. Jadi apabila dilakukan perhitungan biomassa pada satu tegakan kelapa sawit dengan parameter biomassa didapatkan dari data LiDAR maka hasil biomassa yang didapatkan akan memiliki selisih sebesar 3,87 kg terhadap hasil pengukuran di lapangan.

3.5 Analisis

Pada proses klasifikasi ini hampir seluruh *point clouds* telah terklasifikasikan sesuai dengan kelasnya masing-masing. Namun, masih terdapat beberapa *point clouds* yang belum terklasifikasi pada kelas yang ditentukan. Hal seperti ini dapat terjadi pada area-area tertentu di daerah studi yang karakteristik permukaannya tidak sesuai dengan parameter yang ditentukan. Terutama untuk parameter elevasi permukaan tanah, bisa saja tanah yang berada di bawah kanopi pohon berlubang atau terdapat gundukan, namun hal tersebut tidak dapat diidentifikasi melalui ortofoto.

Pada proses pendeteksian pohon untuk menghasilkan hasil deteksi pohon yang tepat, maka penentuan parameter identifikasi pohon pun harus tepat. Kerapatan data LiDAR pun berpengaruh dalam pemodelan kelapa sawit. Sebaiknya untuk pemodelan suatu pohon dibutuhkan data LiDAR dengan kerapatan minimal 7 titik/m², sedangkan kerapatan data LiDAR pada penelitian ini 2-3 titik/m².

Hasil biomassa per tegakan yang parameter biomassa nya didapatkan melalui data LiDAR dikomparasikan dengan hasil studi literatur. Berdasarkan Muhdi (2015) yang melakukan penelitian menghitung biomassa kelapa sawit di Langkat Sumatera Utara, menunjukkan bahwa biomassa kelapa sawit pada umur lima tahun mempunyai biomassa rata-rata 193,59 kg/pohon dan pada umur sepuluh tahun mempunyai biomassa 267,13 kg/pohon. Dengan data tersebut maka dapat diketahui biomassa per tegakan pada daerah studi. Seperti yang diketahui umur kelapa sawit di daerah studi yaitu delapan tahun, dan didapatkan biomassa per tegakan kelapa sawit pada umur 8 tahun sejumlah 237,71 kg/tegakan. Dengan hasil tersebut maka hasil biomassa yang mendekati data literatur yaitu biomassa yang dihitung dengan model alometrik Thenkabail (2002) sebesar 237,70 kg/tegakan.

Hasil perhitungan dari model alometrik Thenkabail (2002) memberikan hasil estimasi biomassa sebesar 237,70 kg per tegakan kelapa sawit sedangkan model alometrik Muhdi (2015) memberikan hasil estimasi biomassa sebesar 238,10. Hal ini dapat diindikasikan bahwa kelapa sawit pada daerah studi memiliki karakteristik yang sama dengan kelapa sawit pada daerah penelitian Thenkabail di Afrika Barat. Untuk lebih lanjutnya akan dipelajari mengenai jenis kelapa sawit pada daerah studi penelitian ini dan kelapa sawit yang digunakan pada setiap model alometrik. Dan dihasilkan pula RMSE biomassa yang dihasilkan sebesar 3.86 kg per tegakan kelapa sawit.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Pada penelitian tugas akhir ini maka dapat disimpulkan bahwa LiDAR mampu menentukan parameter biomassa yaitu tinggi pohon dengan rata-rata tinggi pohon kelapa sawit yang dihasilkan sebesar 6,52 m dengan RMSE 10,297 cm tinggi pohon yang didapatkan melalui LiDAR terhadap tinggi pohon hasil pengukuran di lapangan.



Dengan parameter biomassa yang didapatkan dari data LiDAR yaitu tinggi pohon dan DBH yang didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan maka estimasi biomassa dapat dilakukan. Estimasi biomassa dilakukan dengan menggunakan tiga model alometrik. Maka untuk total estimasi biomassa yang terkandung pada daerah studi Perkebunan Kelapa Sawit PTPN Kebun Tambaksari Subang, Jawa Barat seluas 18 hektar dengan jumlah pohon kelapa sawit sebanyak 1.778 pohon menghasilkan biomassa sebesar 422,63 ton untuk model Thenkabail, 382,97 ton untuk model Departemen Kehutanan Indonesia, dan 423,35 ton untuk model Muhdi.

4.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya dapat digunakan data lidar dengan kerapatan 7-9 titik/m² agar vegetasi yang ingin dimodelkan, modelnya bisa merepresentasikan bentuk vegetasi tersebut dalam keadaan data sebenarnya. Sehingga dari model tersebut dapat diekstraksi langsung DBH dari vegetasi tersebut, tanpa harus melakukan pengukuran sampel ke lapangan. Hasil biomassa yang didapatkan dari ketiga model alometrik memiliki hasil yang berbeda-beda. Sehingga kedepannya dalam pemilihan model alometrik sebaiknya dicari yang memiliki karakteristik umur, lingkungan, dan jenis yang sama dengan objek di daerah studi.

DAFTAR PUSTAKA

- BC-CARMS. (2006). *LiDAR- Overview of Technology, Applications, Market Features & Industry*. Victoria: Centre for Applied Remote Sensing Modelling and Aimulation - University of Victoria.
- Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests*. Rome: FAO Forestry Paper.
- Center, N. C. (2012). *An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications*. Charleston: NOAA Coastal Service Center.
- ESRI. (2010). *Lidar Analysis in ArcGIS 9.3.1 for Forestry Applications*. New York: Esri White Paper.
- Gallant, D. (2015). *LiDAR Project Management and Point Classification Using Terrasolid Software in Microstation*. Lawrencetown: COGS.
- He, Q., Chen, E., An, R., & Li, Y. (2013). Above-Ground Biomass and Biomass Components Estimation. *FORESTS*, 984-1002.
- BC-CARMS. (2006). *LiDAR- Overview of Technology, Applications, Market Features & Industry*. Victoria: Centre for Applied Remote Sensing Modelling and Aimulation - University of Victoria.
- Brown, S. (1997). *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests*. Rome: FAO Forestry

Paper.

- Center, N. C. (2012). *An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications*. Charleston: NOAA Coastal Service Center.
- ESRI. (2010). *Lidar Analysis in ArcGIS 9.3.1 for Forestry Applications*. New York: Esri White Paper.
- Gallant, D. (2015). *LiDAR Project Management and Point Classification Using Terrasolid Software in Microstation*. Lawrencetown: COGS.
- He, Q., Chen, E., An, R., & Li, Y. (2013). Above-Ground Biomass and Biomass Components Estimation. *FORESTS*, 984-1002.
- Henson, I. (1999). *Comparative Ecophysiology of Oil Palm and Tropical Rain Forest*. Kuala Lumpur: A Malaysian Perspective.
- Houghton, R. (2005). Aboveground Forest Biomass and The Global Carbon Balance. *Global Change Biology*, 945-958.
- Kandia, P. (2012). *Pembentukan Model dan Parameter untuk Estimasi Kelapa Sawit Menggunakan Data Lidar (Studi Kasus: Perkebunan Kelapa Sawit, Sumatra Selatan)*. Bandung: ITB.
- Krisnawati, H., Adinugroho, W., & Imanduddin, R. (2012). *Monograf Model-Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan.
- Meng, X., Currit, N., & Zhao, K. (2010). Ground Filtering Algorithms for Airborne LiDAR Data: A Review of Critical Issues. *Remote Sensing*, 833-860.
- Muhdi, & Risnasari, I. (2015). Kuantifikasi Biomassa Perkebunan Kelapa Sawit di Langkat, Sumatera Utara. *Jurnal Pertanian Tropik*, 17-20.
- Renslow, M. S. (2012). *Manual of Airborne Topographic Lidar*. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Sutaryo, D. (2009). *Penghitungan Biomassa*. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.
- Thenkabail, P. (2002). *Biomass Estimations and Carbons Stock Calculation in The Oil Palm Plantations of African Derived Savannas Using IKONOS Data*. Nigeria: Center for Earth Observation, Yale University.
- Yokoyama, S. (2008). *The Asian Biomass Handbook*. Japan: The Japan Institute of Energy.

BIOGRAFI PENULIS

Intan Ika Apriani, S.T.



Intan Ika Apriani, akrab dipanggil Intan, lahir pada tanggal 26 April 1993. Setelah menjalani masa SMAnya di SMA Negeri 71 Jakarta, Intan melanjutkan studinya di Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung hingga mendapatkan gelar sarjana pada tahun 2015. Semasa kuliah, Intan menaruh minat pada bidang penginderaan jauh, khususnya pada teknologi *Light Detection and Ranging* (LiDAR).

Prof. Ketut Wikantika



Ketut Wikantika, lahir di Singaraja, Bali, 17 Desember 1966. Menyelesaikan program S-1 Teknik Geodesi ITB tahun 1991, kemudian menyelesaikan program Magister dan Doktor bidang *Image Informatics* dan Penginderaan Jauh (remote sensing) di Chiba University, Jepang pada tahun 1998 dan 2001. Pada tahun 2001-2002 mengikuti program Post Doctoral di *Japan International Research Center for Agricultural Sciences* (JIRCAS) dengan tema riset *Identification of Agricultural Land Covers in Mountainous Area Using Very High Resolution Satellite Data*. Pengalaman kerjasama internasional antara lain melakukan ground-truth survey di Asia Tengah (Kazakstan, Uzbekistan, dan Turkmenistan) bersama dengan peneliti dari ke tiga negara bersangkutan pada tahun 1998. Sejak 2005, Ketut Wikantika menjabat sebagai Kepala Pusat Penginderaan Jauh ITB, juga sebagai Ketua *Continuing Education Program* (CEP), ITB. Menjadi anggota Komisi Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, LPPM-ITB sejak 2007. Kecintaannya terhadap bidang penelitian membuatnya menjadi pendiri Forum Peneliti Indonesia Muda (ForMIND).

Observasi Rekahan Pada Morfologi Puncak Gunungapi Aktif Dengan Data Synthetic Aperture Radar (SAR) Secara Temporal

Fractures Observation at the top of Volcanoes Using Multitemporal Synthetic Aperture RADAR (SAR) Data

Siti Herdiati Muharromah¹, Asep Saepuloh², Ketut Wikantika³

^{1,3}Teknik Geodesi dan Geomatika, Kelompok Keilmuan Penginderaan Jauh dan Sains Informasi Geografis, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

^{1,2,3}Pusat Penginderaan Jauh, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

email: ¹sitiherdiatimuharromah@gmail.com, ²saepuloh@gc.itb.ac.id, ³ketut@gd.itb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kelurusan pada puncak Gunung Sinabung dan meningkatkan kinerja skrip *Linear Features Density from Synthetic Aperture RADAR (LifedSAR)* untuk mengidentifikasi kelurusan. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah kajian pustaka dan pemodelan citra ALOS PALSAR melalui proses ekstraksi otomatis dengan skrip LifedSAR. Akan tetapi, skrip tersebut perlu untuk ditingkatkan agar dapat mempermudah interpretasi objek kelurusan selanjutnya. Peningkatan skrip LifedSAR dilakukan dengan cara menambahkan metode Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) dan skrip pembeda objek kelurusan. Hasil yang didapatkan adalah citra kelurusan dan citra kerapatan kelurusan. Citra kelurusan dapat mengidentifikasi rekahan yang ditandai dengan objek kelurusan pada permukaan Gunung Sinabung. Objek kelurusan pada citra hasil berupa objek garis yang cenderung lurus. Peningkatan kinerja dan hasil dapat dilihat dari teridentifikasinya titik pusat erupsi Gunung Sinabung. Oleh karena itu, skrip ini dapat dikatakan sebagai LifedSARv.02 yang terdapat peningkatan hasil di dalamnya.

Kata kunci: CLAHE, Gunungapi, Kelurusan, LifedSAR, Morfologi

Abstract

The aims of this research are to identify lineaments on the top of Mount Sinabung and to improve the performances of Linear Features Density from Synthetic Aperture RADAR (LifedSAR) scripts to identify lineaments. Methods that are used in this research are study literature and imagery modelling using ALOS PALSAR image using automatic extraction on Linear Features Density from Synthetic Aperture RADAR (LifedSAR) script. However the script needs to be improved in order to facilitate the interpretation of lineaments object. LifedSAR script is improved by adding Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) algorithms and object differentiator script to distinguish lineaments. The results are lineament imageries and lineament density imageries. Fractures can be identified from lineaments image that are signed with lineaments on the surface of Mount Sinabung. Lineaments object



on imagery are signed by lines object that tend to be straight form. Meanwhile, for improving performance and results on LifiedSAR, additional algorithms such as CLAHE and script for differentiator object is applied. Improved performance and results can be seen from the identification of the central point of eruption of Mount Sinabung. Therefore, this script can be regarded as LifiedSARv.02 which results have increased..

Keywords: CLAHE, LifiedSAR, Lineaments, Morphology, Volcanoes.

1. PENDAHULUAN

Secara tektonik, Sumatera berada pada batas antara lempeng India-Australia di selatan dan barat, dan lempeng Eurasia di utara-timur. Pertemuan antara kedua lempeng tersebut menyebabkan terbentuknya patahan (sesar) baik di laut maupun di darat.

Sesar merupakan salah satu bentuk dari rekahan. Rekahan yang terdapat di dalam permukaan gunungapi dapat ditunjukkan dengan objek kelurusan yang terdapat di permukaan gunungapi. Rekahan terbentuk oleh aktivitas tektonik dan perkembangannya tergantung pada deformasi batuan selama aktivitas tektonik seperti lipatan dan patahan (Hermawan & Rezky, 2011). Rekahan merupakan jalur yang dilewati magma ketika terjadi proses erupsi. Erupsi gunungapi adalah proses keluarnya magma dari dalam bumi ke permukaan (Bronto, 2010).

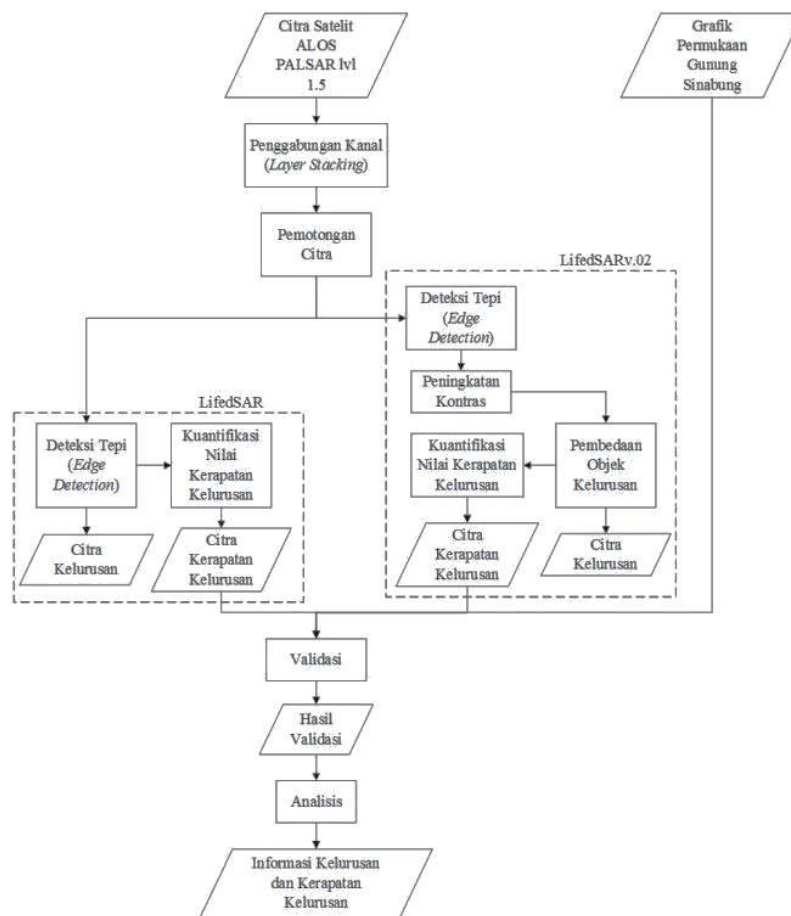
Akibat dari potensi bencana yang dapat ditimbulkan oleh erupsi gunungapi, maka dibutuhkan teknologi untuk memenuhi kebutuhan akan pemantauan gunungapi aktif mengingat dampak besar dari letusan gunungapi tersebut. Teknologi penginderaan jauh merupakan teknologi yang dianggap efektif, efisien, dan aman untuk melakukan pemantauan gunungapi secara visual pada citra satelit. *Synthetic Aperture Radar* (SAR) merupakan teknologi penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian ini.

Salah satu data SAR yang dapat digunakan untuk melihat morfologi gunungapi adalah data citra satelit ALOS PALSAR. *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) merupakan satelit yang dibuat dan diluncurkan oleh *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) yang digunakan untuk mengamati bumi.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan observasi kelurusan serta perubahan jalur kelurusan tersebut pada puncak gunungapi aktif menggunakan satelit SAR dengan data ALOS PALSAR polarisasi tunggal untuk selanjutnya dilakukan analisis pada area studi.

2. METODE DAN DATA

Metodologi Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah kajian pustaka dan pemodelan citra ALOS PALSAR agar objek kelurusan dapat diidentifikasi. Pemodelan citra dilakukan menggunakan skrip *Linear Features Density from Synthetic Aperture RADAR* (LifiedSAR). LifiedSAR adalah metode ekstraksi kelurusan secara otomatis untuk mendeteksi objek kelurusan pada struktur geologi (Saepuloh dkk., 2013). Penjelasan dari proses penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian.

- a) Penggabungan kanal (*Layer Stacking*) digunakan untuk melihat perubahan topografi Gunung Sinabung pada citra dari waktu ke waktu (*multitemporal*). Rentang waktu perubahan yang dilihat adalah pada tahun 2007 hingga tahun 2011.
- b) Pemotongan citra dilakukan agar wilayah cakupan lebih spesifik agar dapat dilihat dan dianalisis kecenderungannya. Setiap citra hasil pemotongan citra memiliki koordinat titik ujung kiri atas dan titik ujung kanan bawah yaitu $3^{\circ}11'16,8''$ LU $98^{\circ}21'57,6''$ BT dan koordinat titik ujung kanan bawah adalah $3^{\circ}08'16,08''$ LU $98^{\circ}24'58,032''$ BT.
- c) Citra yang telah dipotong siap untuk dijadikan data masukan untuk diproses dengan menggunakan LifedSAR dan LifedSARv.02 yang telah ditambahkan dua sub-proses yaitu peningkatan kontras dan pembedaan objek kelurusan. Secara umum LifedSAR maupun LifedSARv.02 dapat dibagi menjadi beberapa sub-proses tersendiri, yaitu:
 - Deteksi Tepi (*Edge Detection*): digunakan untuk mencari dan memperjelas batas-batas objek kelurusan pada *piksel* citra dengan menggunakan metode filter *Laplacian of Gaussian* (LoG) pada citra tersebut.

Tepi dapat dikenali dengan perubahan nilai *piksel* yang besar antara satu *piksel* dengan *piksel*



disekitarnya. Oleh karena itu, proses filter yang pertama kali dilakukan adalah Gaussian filter yang digunakan untuk menghilangkan derau karena pada umumnya *piksel* yang berisi derau memiliki nilai tingkat kecerahan yang tinggi, sehingga objek yang salah dapat dianggap tepi karena disekitarnya terdapat derau yang menghasilkan perubahan nilai *piksel* yang besar. Filter Gaussian ditunjukkan oleh persamaan (1) (Nurhasanah, 2012).

$$g_c(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Setelah derau dihilangkan, maka Filter Laplacian dapat digunakan. Filter Laplacian menggunakan operator turunan kedua seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (2).

$$\nabla^2 \beta(x, y) = \frac{(x^2 + y^2 - 2\sigma^2)e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}}}{2\pi\sigma^6 \sum_x \sum_y e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}}} \quad (2)$$

dengan, x dan y adalah koordinat serta σ adalah nilai konstanta standar deviasi Gaussian yang bernilai 0,5 (Saepuloh dkk, 2013).

- Peningkatan Kontras: dilakukan dengan menggunakan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) yang dikembangkan oleh Karel Zuiderveld pada tahun 1994 merupakan metode yang digunakan untuk perbaikan citra (*image enhancement*) melalui pengembangan dari metode *Adaptive Histogram Equalization* (AHE).

Histogram Equalization (HE) digunakan untuk meningkatkan kontras suatu citra *grayscale* dengan meratakan distribusi nilai derajat keabuan (*gray level*) dan melakukan *stretching*. HE bersifat global, yaitu memakai informasi seluruh nilai derajat keabuan pada satu citra, sehingga untuk detail informasi yang sifatnya lokal tidak dapat digunakan karena hasil yang didapatkan tidak kontras.

Untuk itu diperlukannya AHE untuk menerapkan HE dalam sifat lokal yaitu pada suatu ukuran jendela *piksel* tertentu. Akan tetapi, citra yang dihasilkan AHE berakibat terlalu kontras terhadap nilai antar *piksel*.

CLAHE diterapkan untuk mengatasi masalah yang dimiliki oleh AHE. CLAHE memiliki dua parameter penting yaitu ukuran jendela *piksel* (N) dan *clip limit* (CL) (Majumdar dkk., 2014).

- Pembedaan Objek Kelurusan: Pada prinsipnya Skrip Pembeda Objek Kelurusan ini akan bekerja pada citra pankromatik dan mengubah nilai pada *piksel* yang merupakan objek kelurusan. Pada awalnya, *piksel* yang dianggap kelurusan merupakan *piksel* yang berisi nilai satu. Namun, tidak semua *piksel* bernilai satu merupakan objek kelurusan karena hanya *piksel* bernilai satu yang bersebelahan dengan *piksel* bernilai nol yang pada akhirnya dianggap sebagai objek kelurusan.

Setelah diketahui objek yang merupakan kelurusan, skrip ini akan bekerja dengan membuat jendela *pixel* berukuran 3×3 terlebih dahulu. *Pixel* yang akan ditentukan sebagai objek kelurusan merupakan *pixel* tengah (2,2). Selanjutnya, digunakan fungsi kondisi (*if*) dengan melakukan penjumlahan antar *pixel* yang memenuhi suatu syarat tertentu. Apabila *pixel* tengah memenuhi syarat, maka nilai *pixel* yang awalnya satu akan diubah menjadi 90 dan apabila tidak memenuhi akan diubah menjadi nol.

Kuantifikasi Nilai Kerapatan Kelurusan: dilakukan untuk menghitung nilai intensitas kerapatan kelurusan pada suatu ukuran jendela *pixel* tertentu menggunakan metode *Linear Feature Density* (LFD). Persamaan (3) merupakan persamaan yang digunakan untuk mencari nilai LFD (Saepuloh dkk, 2013).

$$LFD = \sum_{n=1}^w [A(x_n + y_n)]_{Q75} \Delta p \quad (3)$$

dengan, w adalah ukuran jendela *pixel*, A adalah *pixel* dengan objek kelurusan, $Q75$ adalah nilai kuartil atas dari histogram yang dipakai sebagai nilai ambang batas (*threshold*).

- d) Validasi Hasil: Validasi hasil merupakan tahapan akhir untuk melihat dan membandingkan hasil hasil pengolahan data yang didapatkan penulis dengan data yang dianggap benar. Data pembanding yang digunakan adalah hasil pengolahan data dengan metode *region growing* yang dilakukan Supardan (2015) dalam tugas akhirnya yang berjudul “Identifikasi Letusan Besar Gunung Sinabung dan Merapi Pasca Gempa Aceh 2004 Berdasarkan *Data Thermal Infrared* dan Intensitas SAR”.

Hasil yang akan divalidasi oleh penulis adalah citra kerapatan kelurusan hasil proses pengolahan pada tahap LFD. Validasi dilakukan untuk melihat kesesuaian antara bentuk grafik *region growing* dengan bentuk grafik dari LFD sebelum peningkatan dengan skrip LiferSAR dan LFD setelah peningkatan dengan skrip LiferSAR.

2.1 Gunungapi dan Kelurusan

Menurut teori tektonik lempeng, kerak bumi merupakan lempeng yang bersifat kaku dan bergerak satu terhadap lainnya. Lempeng-lempeng tersebut kemudian dapat bergerak saling menjauh atau disebut divergensi dan saling mendekat atau disebut konvergensi. Hasil dari proses pergerakan tersebut adalah terbentuknya jajaran gunungapi yang terdapat pada batas divergen maupun batas konvergen antar kedua lempeng.

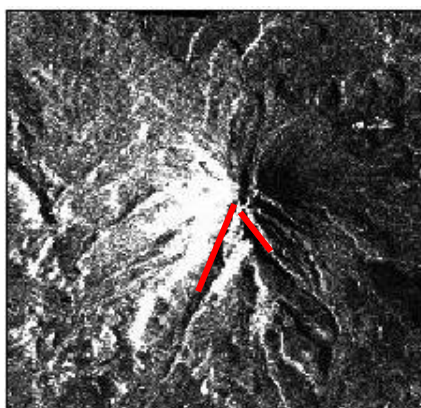
Gunungapi adalah suatu objek pada permukaan bumi yang berbentuk seperti timbunan besar dan terdapat material magma (batuan cair) bersuhu tinggi di dalamnya. Ketika gunungapi meletus akibat adanya gaya endogen maupun eksogen maka magma akan bergerak ke atas dan keluar ke permukaan bumi, hal ini disebut dengan proses ekstrusi atau erupsi. Proses ekstrusi atau erupsi berdasarkan lubang keluarnya magma dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu (Mulya, 2004):



- a) Erupsi Linier atau Erupsi Belahan terjadi ketika magma melewati rekahan (*fractures*) di dalam bumi lalu keluar melalui retakan dan celah-celah yang terbuka pada permukaan bumi,
- b) Erupsi Sentral terjadi ketika magma yang keluar melalui diatrema dan kepundan. Diatrema merupakan lubang berupa pipa pada gunungapi yang menghubungkan dapur magma dengan kepundan atau dasar kawah gunungapi.

Setiap citra gunungapi, memperlihatkan morfologi gunung yang berpola seperti garis lurus menyerupai puncak bukit yang panjang dan memiliki arah tertentu. Garis-garis lurus tersebut dapat diidentifikasi sebagai objek kelurusan. Kelurusan adalah semua objek alam di permukaan bumi yang geometrinya linear. Pada umumnya kelurusan memiliki bentuk garis lurus, namun beberapa berbentuk seperti kurva. Salah satu fungsi dari kelurusan adalah untuk mengindikasikan struktur geologi yang berada di bawah permukaan bumi contohnya seperti kelurusan berbentuk garis lurus pada gunungapi yang menunjukkan terdapatnya rekahan di bawah kelurusan tersebut.

Salah satu fungsi dari kelurusan adalah untuk memprediksi arah magma keluar ketika terjadi erupsi dengan melihat *trend* arah kelurusan dan menganalisa arah dan densitas kelurusan suatu daerah. Garis merah pada Gambar 2 menunjukkan objek kelurusan di Gunung Sinabung.



Gambar 0. Objek kelurusan pada Gunung Sinabung

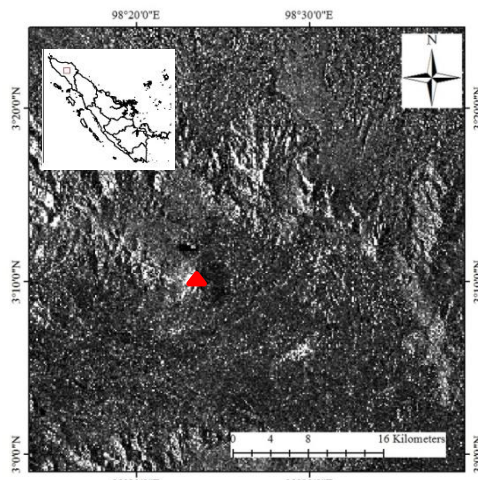
2.2 Deskripsi Wilayah Studi

Wilayah yang dijadikan fokus pada penelitian ini adalah daerah Gunung Sinabung. Gunung Sinabung terletak pada dataran tinggi Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Koordinat puncak Gunung Sinabung adalah $03^{\circ} 10'$ LU dan $98^{\circ} 23,5'$ BT pada zona 47 N UTM dengan ketinggian 2.460 mdpl.

Gunung Sinabung merupakan tipe gunungapi *stratovolcano*. Gunungapi *stratovolcano* adalah gunungapi berbentuk kerucut yang berlapis serta berselang-seling antara lelehan lava dan piroklastika pada tiap-tiap periode letusannya. Oleh karena itu, ditinjau dari produk erupsi yang didominasi batuan lava menunjukkan bahwa corak erupsi Gunung Sinabung lebih didominasi oleh erupsi bersifat *efusive* namun kadang diselingi oleh erupsi bersifat eksplosif (Trihanputri, 2014). Selain itu, aktivitas Gunung

Sinabung merupakan kejadian erupsi *freatic* yang mekanisme kejadiannya adalah akibat peningkatan tekanan uap air akibat pemanasan sistem hidrotermal di bawah kawah Gunung Sinabung.

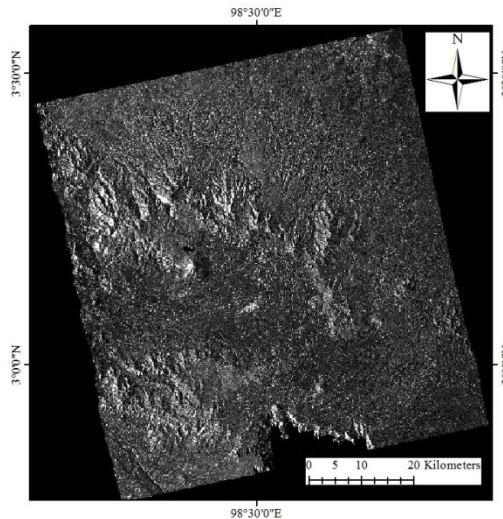
Berdasarkan catatan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, semenjak letusan tahun 1600 aktivitas Gunung Sinabung terus diamati, namun baru tercatat mengalami aktivitas vulkanik kembali pada tanggal 27 Agustus 2010 (Trianaputri, 2014). Setelah letusan pada tahun 2010, Gunung Sinabung kembali erupsi yang terjadi pada bulan November 2013 hingga bulan Januari 2014. Pada tahun 2015 terjadi erupsi kembali yang menunjukkan bahwa Gunung Sinabung masih terus aktif. Visualisasi Gunung Sinabung dapat dilihat pada Gambar 3 yang ditunjukkan dengan simbol segitiga merah.



Gambar 1. Gunung Sinabung pada Citra ALOS PALSAR

2.3 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra *Synthetic Aperture RADAR* (SAR) yang merupakan citra hasil akuisisi satelit ALOS PALSAR. Citra ALOS PALSAR yang digunakan sebanyak 21 citra yang diakuisisi pada tanggal 20 Februari 2007 hingga 16 Januari 2011 di daerah Sumatera Utara. Data citra ini merupakan data *ascending* dengan mode polarimetrik HH. Gambar 4 menunjukkan salah satu data citra ALOS PALSAR yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 2. Citra ALOS PALSAR tanggal akuisisi 20 Februari 2007

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)*

Metode CLAHE memiliki beberapa parameter yang dipakai untuk mendapatkan hasil citra dengan tingkat kontras yang diinginkan. Parameter CLAHE yang dipakai yaitu, ukuran jendela piksel 10×10 dengan clip limit 0,1. Jendela piksel berukuran 10×10 dipakai karena dianggap sebagai ukuran optimal untuk melakukan Histogram Equalization (HE) secara lebih mendetail hal ini dikarenakan objek-objek kelurusan pada umumnya berdekatan satu sama lain dengan ukuran lebar terkecil kelurusan adalah dua piksel yaitu sekitar 60 m. Sedangkan, objek terpendek yang dianggap sebagai kelurusan adalah 100 m yaitu sekitar empat piksel.

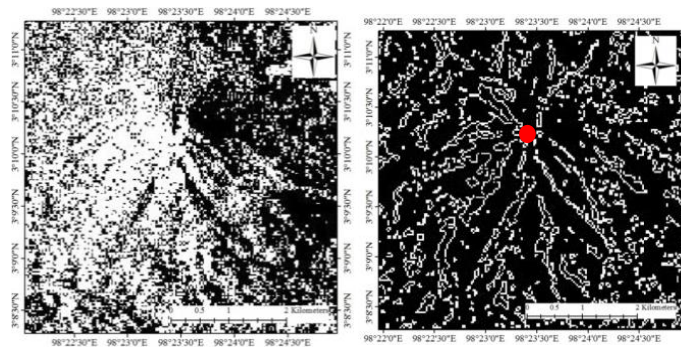
Nilai *clip limit* berada pada rentang nol hingga satu, untuk pemakaiannya dipilih nilai 0,1 karena pada dasarnya citra ALOS PALSAR sudah dapat memperlihatkan bentuk morfologi permukaan bumi secara visual karena karakteristik gelombang yang digunakan mampu untuk menembus awan serta sedikit kanopi tumbuhan yang menutupi badan Gunung Sinabung. Namun batas tepi antar objek kurang terlihat sehingga diambil nilai 0,1 agar didapatkan hasil kontras yang sesuai tanpa menghilangkan objek-objek kelurusan yang berukuran kecil agar saat dilanjutkan dengan skrip pembeda objek dapat dicari semua informasi kelurusan yang ada serta meminimalkan kemungkinan untuk kehilangan informasi objek yang dibutuhkan untuk dianalisis selanjutnya.

3.2 Skrip Pembeda Objek

Hasil dari deteksi kelurusan dengan menggunakan LiferSAR asli dan skrip pembeda objek ditunjukkan pada Gambar 3.1 (a) dan (b). Apabila dilihat pada puncak Gunung Sinabung, pada Gambar 3.1 (a) terlihat bahwa objek kelurusan belum dapat diidentifikasi karena piksel bernilai satu (berwarna terang) seluruhnya masih dianggap sebagai objek kelurusan seperti yang diperlihatkan pada daerah berbentuk poligon yang didominasi oleh piksel bernilai satu. Akan tetapi, pada Gambar 3.1 (b) objek kelurusan

sudah terlihat meskipun bentuk yang dihasilkan belum berupa garis yang lurus namun sudah dapat terlihat kecenderungan untuk membentuknya dan dapat mempermudah penglihatan mata untuk menarik garis lurus secara manual. Selain itu, dapat juga dilihat bahwa semua kelurusan pada Gambar 3.1 (b) mengarah kepada satu titik yang disebut sebagai titik erupsi. Titik tersebut ditunjukkan dengan bulatan merah.

Hasil citra Skrip pembeda objek masih terdapat beberapa kekurangan. Pertama, ialah ketika proses pembedaan objek pada tiap piksel dilakukan, piksel yang diterima sebagai objek kelurusan tidak berurutan baik secara baris dan kolom maupun secara diagonal. Hal inilah yang menyebabkan hasil dari objek kelurusan belum berupa garis lurus, melainkan garis yang kecenderungan lurusnya dapat dilihat secara visual. Kedua, yaitu masih terdapat dua piksel bersebelahan yang dianggap sebagai objek kelurusan karena di sekitar piksel tersebut terdapat piksel bernilai nol. Akibatnya, terdapat penumpukan antara dua garis kelurusan yang saling bersebelahan.



Gambar 5. Citra kelurusan awal (kiri) dan citra kelurusan hasil peningkatan pada Skrip LifiedSAR (kanan)

3.3 Linear Feature Density (LFD)

Hasil dari proses LFD berupa citra kerapatan kelurusan dari 21 citra yang diolah oleh penulis. Citra kerapatan hasil pengolahan yang dihasilkan, diolah menggunakan skrip LifiedSAR asli dan skrip LifiedSARv.02 yang kemudian hasil dari kedua metode tersebut dibandingkan. Perbandingan dari kedua hasil pada kanal satu citra hasil penggabungan kanal dapat dilihat pada Gambar 6.

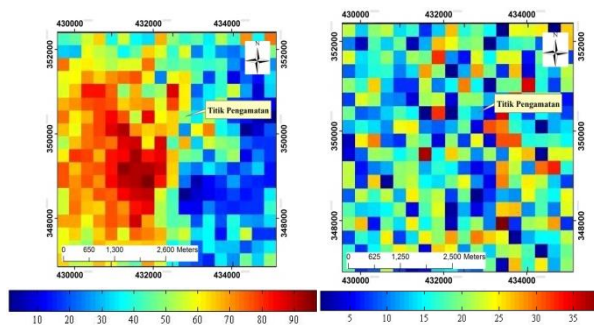
Hasil dari proses peningkatan skrip LifiedSAR pada pendeteksian objek kelurusan juga mempengaruhi hasil dari citra kerapatan kelurusan. Karena kelurusan dapat lebih diidentifikasi, akibatnya citra kerapatan kelurusan mengikuti arah dan bentuk kelurusan yang sesuai dengan objek kelurusan sebenarnya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Ukuran kerapatan kelurusan diwakili dengan informasi dalam bentuk warna. Pada citra kerapatan kelurusan, piksel berwarna biru tua menunjukkan piksel yang tidak berisi objek kelurusan sehingga persentase kerapatan kelurusan bernilai nol, sedangkan piksel yang berwarna merah menunjukkan piksel dengan objek kelurusan terbanyak, sehingga persentase kerapatan kelurusan bernilai maksimum.

Pada hasil awal pada Gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai kerapatan kelurusan terbesar adalah 98%



sedangkan pada hasil peningkatan nilai kerapatan kelurusan terbesar adalah 40%. Secara logika, tidak mungkin terdapat kelurusan yang nilai kerapatannya mendekati 100% karena apabila 100% maka kelurusan tersebut berbentuk poligon persegi pada jendela piksel berdimensi 10×10, sedangkan pada kenyataannya objek kelurusan tidak berbentuk poligon utuh melainkan berbentuk garis hasil penyatuan piksel-piksel yang bernilai 90, hal ini membuktikan bahwa LifiedSARv.02 sudah lebih baik dalam mendeteksi kelurusan dibandingkan dengan LifiedSAR asli.

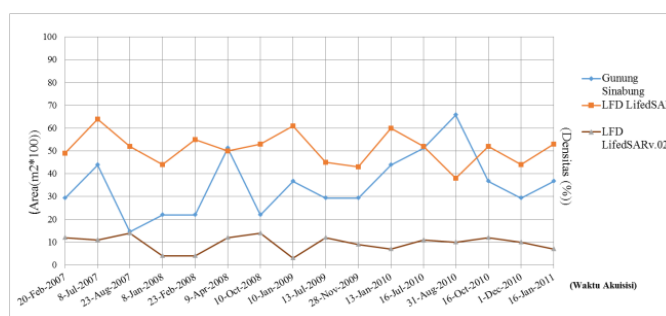


Gambar 6. Citra kerapatan kelurusan awal (kiri) dan citra kerapatan kelurusan hasil peningkatan pada Skrip LifiedSAR (kanan)

3.4 Validasi

Validasi yang digunakan adalah dengan menggunakan metode perhitungan pada persamaan (3) untuk mendapatkan citra kerapatan kelurusan pada citra multitemporal Gunung Sinabung. Pemilihan piksel pengamatan, didasarkan pada kesamaan piksel yang digunakan untuk membandingkan antara nilai kerapatan kelurusan dengan grafik perubahan permukaan pada Gunung Sinabung hasil Supardan (2015) yang menunjukkan kuantitas produk gunungapi secara multitemporal. Nilai kerapatan kelurusan pada piksel tersebut dibuat grafik kerapatannya sehingga perubahan kerapatan secara multitemporal dan fluktuatif dapat terlihat.

Data yang digunakan adalah data perubahan nilai LFD dari skrip LifiedSAR asli dan data perubahan nilai LFD dari hasil peningkatan skrip LifiedSAR yang disebut dengan LifiedSARv.02. Grafik kerapatan tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik perubahan permukaan pada Gunung Sinabung yang menggunakan data hasil pengolahan dengan metode region growing. Ketiga data tersebut kemudian disatukan pada satu grafik perbandingan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Kerapatan Kelurusan dan Perubahan Permukaan pada Gunung Sinabung

Secara visual perubahan fluktuatif kerapatan LifedSAR asli menyerupai dengan perubahan fluktuatif pada grafik permukaan Gunung Sinabung. Akan tetapi, jika dilihat pada saat erupsi Gunung Sinabung terjadi yaitu pada tanggal 27 Agustus 2010 yang berada di antara tanggal 16 Juli 2010 dan 31 April 2010 pada akuisisi citra ALOS PALSAR, terjadi penurunan gradien garis pada garis berwarna oranye dan merah serta terjadi peningkatan gradien garis pada garis biru. Peningkatan gradien garis menunjukkan bahwa semakin bertambahnya produk gunungapi pasca erupsi terjadi dan mengakibatkan kelurusan di sekitar puncak gunung tertutupi oleh produk gunungapi tersebut. Hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan kerapatan kelurusan pada Gambar 3.3 seperti yang ditunjukkan oleh penurunan gradien garis berwarna oranye dan merah. Gambar 3.3 juga menunjukkan peningkatan kerapatan kelurusan sebelum erupsi terjadi yang dapat dilihat pada gradien garis yang menghubungkan antara tanggal 28 Februari 2010 dan 16 Juli 2010. Peningkatan tersebut dapat terjadi karena pada saat pra-erupsi pada umumnya gunungapi membesar dan objek kelurusan bertambah.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengerjaan penelitian ini, didapatkan kesimpulan, yaitu:

- a) Rekahan yang ditandai dengan objek kelurusan pada permukaan Gunung Sinabung dapat diidentifikasi dan ditandai dengan adanya objek garis yang cenderung lurus pada citra kelurusan.
- b) Penambahan metode CLAHE dan skrip pembeda objek kelurusan meningkatkan kinerja dan hasil pada LifedSAR serta membantu memperlihatkan titik pusat erupsi Gunung Sinabung. Oleh karena itu, skrip ini dapat dikatakan sebagai skrip LifedSARv.02 yang terdapat peningkatan metode dan hasil di dalamnya.

4.2 Saran

Berdasarkan pengerjaan penelitian ini, didapatkan saran, yaitu:

- a) Sebaiknya skrip pembeda objek lebih ditingkatkan lagi untuk mereduksi penumpukan garis pada hasil citra kelurusan agar didapatkan objek kelurusan yang berbentuk garis lurus.
- b) Diperlukannya suatu skrip tambahan yang di dalamnya terdapat metode untuk menghilangkan objek kecil yang bukan kelurusan dengan cara membuat parameter tertentu seperti panjang minimal objek yang dianggap sebagai kelurusan di lapangan untuk dijadikan acuan sebagai panjang minimal objek kelurusan pada sejumlah *piksel* (Supardan, 2015).



DAFTAR REFERENSI

- Agency, J. A. (2008). *ALOS Data Users Handbook Revision C. Earth Observation Research and Application Center*. Japan: Japan Aerospace Agency.
- Ari, K., Teguh, K., & Santoso, H. (2012). Klasifikasi Data Polarimetrik Menggunakan Metode Dekomposisi Clouder & Plotter. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*.
- Bronto, S. (2010). *Geologi Gunung Api Purba*. Bandung: Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral, & Direktorat Vulkanologi. (1992). *Berita Berkala Vulkanologi Edisi Khusus G. Sinabung (B) No.197*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Geologi, P. V. (2012). *Gunungapi Sinabung Setelah 400 Tahun Istirahat Panjang*. Bandung: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Hermawan, D., & Rezky, Y. (2011). Deliniasi Daerah Prospek Panas Bumi Berdasarkan Analisis Kelurusan Citra Landsat di Candi Umbul-Telemoyo, Provinsi Jawa Tengah. *Buletin Sumber Daya Geologi Volume 6*.
- Lusch, D. P. (1999). *Introduction to Microwave Remote Sensing*. Michigan: Center for Remote Sensing and Geographic Information Science .
- Majumdar, J., & Kumar, S. (2014). Modified CLAHE: An Adaptive Algorithm for Contrast Enhancement of Aerial, Medical, and Underwater Images. *International Journal of Computer Engineering & Technology (IJCET)*, 32-47.
- Mitchell, A. L., Tapley, I., Milne, A. K., Williams, M., & Lowell, K. (2012). Radar Processing Methodologies for The Generation of Wall-to-Wall Mosaics. *CRC for Spatial Information*, Vol. I.
- Agency, J. A. (2008). *ALOS Data Users Handbook Revision C. Earth Observation Research and Application Center*. Japan: Japan Aerospace Agency.
- Ari, K., Teguh, K., & Santoso, H. (2012). Klasifikasi Data Polarimetrik Menggunakan Metode Dekomposisi Clouder & Plotter. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*.
- Bronto, S. (2010). *Geologi Gunung Api Purba*. Bandung: Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral, & Direktorat Vulkanologi. (1992). *Berita Berkala Vulkanologi Edisi Khusus G. Sinabung (B) No.197*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

- Geologi, P. V. (2012). *Gunungapi Sinabung Setelah 400 Tahun Istirahat Panjang*. Bandung: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Hermawan, D., & Rezky, Y. (2011). Deliniasi Daerah Prospek Panas Bumi Berdasarkan Analisis Kelurusan Citra Landsat di Candi Umbul-Telemoyo, Provinsi Jawa Tengah. *Buletin Sumber Daya Geologi Volume 6*.
- Lusch, D. P. (1999). *Introduction to Microwave Remote Sensing*. Michigan: Center for Remote Sensing and Geographic Information Science .
- Majumdar, J., & Kumar, S. (2014). Modified CLAHE: An Adaptive Algorithm for Contrast Enhancement of Aerial, Medical, and Underwater Images. *International Journal of Computer Engineering & Technology (IJCET)*, 32-47.
- Mitchell, A. L., Tapley, I., Milne, A. K., Williams, M., & Lowell, K. (2012). Radar Processing Methodologies for The Generation of Wall-to-Wall Mosaics. *CRC for Spatial Information*, Vol. I.
- Mulya, A. (2004). *Pengantar Ilmu Kebumihan*. Bandung: Pustaka Setia.
- Nurhasanah. (2012). Pendeteksian Tepi Citra CT Scan dengan Menggunakan Laplacian of Gaussian (LOG). *POSITRON, Vol.II, No. 1*, 2301-4970.
- Oliver, C., & Shaun, Q. (2004). *Synthetic Aperture Radar Images*. Raleigh: SciTech Publishing, Inc.
- Prasasti, I., Carolita, I., Ramdani, A., & Risdiyanto, I. (2012). Kajian Pemanfaatan Data ALOS PALSAR dalam Pemetaan Kelembaban Tanah. *Jurnal Penginderaan Jauh Vol.9 no.2*, 102-113.
- Prasetyo, D. A. (2014). *Karakterisasi Permukaan Tanah di Wilayah Karst Kecamatan Cipatat Menggunakan Data SAR (Synthetic Aperture RADAR)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Purwadhi, S. H., & Sanjoto, T. B. (2008). *Pengantar Interpretasi Citra Pengideraan Jauh*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional dan Universitas Negeri Semarang.
- Sabins, F. F. (1978). Remote Sensing: Principles and Interpretation. USA: W. H. Freeman and Company.
- Saepuloh, A., Urai, M., Meilano, I., & Sumintadireja, P. (2013). Automatic Extraction and Validation of Linear Features Density from ALOS PALSAR Data for Active Faults and Volcanoes. *Proceeding of International Symposium on Remote Sensing* (pp. 335-338). Chiba: ISRS 2013.
- Setiawan, W., Adi, K., & Aris, S. (2012). Sistem Deteksi Retinopati Diabetik Menggunakan Support Vector Machine. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*.
- Sitanggang, G. (2007, Juni 2). Sistem Penginderaan Jauh Satelit ALOS dan Analisis Pemanfaatan Data. *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara*, p. Vol.2.
- Supardan, S. S. (2015). *Identifikasi Letusan Besar Gunung Sinabung dan Merapi Pasca Gempa Aceh*



2004 Berdasarkan Data Thermal Infrared dan Intenstas SAR. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Trianaputri, M. O. (2014). *Analisis Perubahan Topografi Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak Menggunakan Citra Satelit ALOS PALSAR*. Bandung: Instiut Teknologi Bandung.

BIOGRAFI PENULIS

Siti Herdiati Muharromah, S.T.



Siti Herdiati Muharromah lahir di Jakarta, 29 Juni 1993. Siti menyelesaikan program sarjana Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung pada tahun 2015, dengan tugas akhir berjudul Observasi Rekahan pada Morfologi Puncak Gunungapi Aktif dengan Data Synthetic Aperture Radar (SAR) Secara Temporal.

Dr. Eng. Asep Saepuloh



Asep Saepuloh lulus dari Departemen Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung pada tahun 2004. Asep Saepuloh melanjutkan studinya di Teknik Sipil dan Lingkungan, Kumamoto University (Jepang) hingga mendapatkan gelar *Master of Engineering* (M. Eng) pada tahun 2007 dan gelar *Doctor of Engineering* (Dr. Eng) di *New Frontier Sciences* pada universitas yang sama pada tahun 2010. Dari tahun 2010 hingga 2013, Asep Saepuloh memulai karirnya dengan bekerja di Geological Survey of Japan (GSJ), dan menekuni bidang penginderaan jauh gelombang mikro, untuk aplikasi geologi dan vulkanologi. Pada tahun 2013, Asep Saepuloh diangkat menjadi dosen di Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung.

Prof. Ketut Wikantika

Ketut Wikantika, lahir di Singaraja, Bali, 17 Desember 1966. Menyelesaikan program S-1 Teknik Geodesi ITB tahun 1991, kemudian menyelesaikan program Magister dan Doktor bidang *Image Informatics* dan Penginderaan Jauh (remote sensing) di Chiba University, Jepang pada tahun 1998 dan 2001. Pada tahun 2001-2002 mengikuti program Post Doctoral di *Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS)* dengan tema riset *Identification of Agricultural Land Covers in Mountainous Area Using Very High Resolution Satellite Data*. Sejak 2005, Ketut Wikantika menjabat sebagai Kepala Pusat Penginderaan Jauh ITB, juga sebagai Ketua *Continuing Education Program (CEP)*, ITB. Menjadi anggota Komisi Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, LPPM-ITB sejak 2007. Kecintaannya terhadap bidang penelitian membuatnya menjadi pendiri Forum Peneliti Indonesia Muda (ForMIND).

Penerbit ITB

Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Indonesia
Telp. 022 - 2504257. Fax. 022 - 2534155
e-mail : itbpress@penerbit.itb.ac.id
web: www.penerbit.itb.ac.id
e-book : [itb bookstore](http://itbbookstore)

ISBN 978-602-7861-52-7

