

APLIKASI TEKNIK DAN METODE FUSI DATA OPTIK ETM-PLUS LANDSAT DAN SAR RADARSAT UNTUK EKSTRAKSI INFORMASI GEOLOGI PERTAMBANGAN BATU BARA

Gokmaria Sitanggang, Ita Carolita ^{*)}, Bambang Hendro Trisasongko. ^{**)}
^{*)} Peneliti PUSBANGJA-LAPAN, ^{**)} Peneliti IPB

ABSTRACT

The objectives of this research is to apply some techniques and methods of satellite remote sensing Landsat ETM-plus and Radarsat SAR data fusion i.e Intensity Hue Saturation (IHS), Color Normalization (CN) and Principal Component Transformation (PCT) methods and also to evaluate and analysis the data fusion results for coal mining geological information extraction. The study area is PT Kaltim Prima Coal (KPC) region, a coal mining region in East Kalimantan. The Landsat ETM-plus RGB (542) color composite data showed sharply the land cover objects in the study area while the reliefs or terrains condition was difficult to interpretate.

The imageries results using data fusion using each method/algorithm mentioned above showed the improvements of interpretability to identify the reliefs or terrains of land cover condition in the whole study area comparing to each single Landsat ETM-plus and Radarsat SAR data. The reliefs or terrains informations are needed as preliminary information to analysis geological information such as structures and primarily lineaments.

Each data fusion imagery result showed Hue variations which represents spectral values of land surface objects on the study area and also provided morphology information of the land surface. Each data fusion imagery could also correlate visually the tophografic variations and radiometric respons of their lineaments and structures. Some micro lineaments could be showed sharply in each data fusion imagery. In the study area, the PCT technique and method showed better interperability i.e the suitable contrast and brightness comparing to each IHS and CN method. In the study area could be also showed that the CN method had the capability to produce the better contrast comparing to the IHS method.

The analysis of imagery result of data fussion using PCT method showed sharply the structures on the surrounding area of Sangatta river and also another location, comparing to the single Landsat ETM-plus data. Pinang Dome area which is located in the east part of PT KPC region also showed sharply. Dome affects the generation of Prima Coal type.

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan beberapa teknik dan metode fusi data inderaja satelit optik ETM-plus Landsat dan SAR Radarsat, yaitu metode *Intensity Hue Saturation* (IHS), *Color Normalization* (CN), dan Transformasi Komponen Utama (TKU) dan mengevaluasi hasil citra-citra fusi data tersebut dan juga menganalisis untuk ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara. Daerah uji coba adalah wilayah PT Kaltim Prima Coal (KPC) dan sekitarnya, suatu daerah pertambangan batubara di Sangatta Kalimantan Timur. Pada citra komposit warna RGB (542) ETM-plus Landsat tampak dengan jelas obyek-obyek penutup lahan pada daerah studi kasus tersebut, akan tetapi kurang mampu menginformasikan kondisi relief atau terrain permukaan lahan.

Hasil citra fusi data dari masing-masing metode/algorithm yang disebutkan di atas menunjukkan kenampakan yang lebih tajam dan jelas informasi relief atau terrain permukaan lahan dibandingkan dengan masing-masing citra tunggal SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat tersebut. Informasi awal tentang terrain sangat diperlukan dalam menganalisis informasi geologi pertambangan seperti struktur, patahan atau kelurusan. Masing-masing citra hasil fusi tersebut menampilkan variasi *Hue* yang merepresentasikan nilai spektral permukaan lahan dan memberikan informasi morfologi permukaan lahan pada daerah studi.

Masing-masing citra hasil fusi data tersebut juga mampu mengkorelasikan secara visual variasi topografi dengan respons radiometrik dari kelurusan dan struktur yang terkait. Beberapa kelurusan mikro secara lebih jelas ditampakan pada semua citra fusi. Pada kasus ini, teknik fusi TKU menunjukkan kenampakan yang relatif lebih baik dengan kecerahan dan kontras yang lebih sesuai dibandingkan dengan teknik dan metode IHS dan CN. Pada lokasi pengamatan, tampak bahwa citra hasil fusi dengan metode CN memiliki kemampuan menghasilkan kontras yang lebih baik dibandingkan dengan metode IHS.

Analisis citra hasil fusi TKU pada daerah studi kasus menunjukkan kenampakan yang jelas struktur di sebelah selatan sungai Sangatta dan di tempat lainnya dibandingkan pada citra Landsat tunggal. Demikian pula lengkungan puncak berbentuk kubah (*dome*) yaitu Kubah Pinang (*Pinang Dome*) yang terletak di sebelah timur kawasan PT KPC tampak jelas. *Dome* mempengaruhi pembentukan batubara sehingga menghasilkan jenis Batubara Prima (Prima Coal).

1 PENDAHULUAN

Seperti diketahui data citra penginderaan jauh (inderaja) satelit optik (misal : ETM-plus Landsat, HRV SPOT, OPS JERS-1), adalah merupakan representasi dari energi gelombang elektromagnetik yang direfleksikan dari obyek-obyek pada permukaan bumi pada masing-masing kanal spektral, sedangkan citra radar (misal : SAR ERS-1/ERS-2, Radarsat dan JERS-1), adalah representasi dari energi elektromagnetik yang dihamburkan balik dari obyek-obyek pada permukaan bumi. Kemampuan dari masing-masing kanal sensor bervariasi, tergantung pada sensitivitas kanal sensor tersebut terhadap energi elektromagnetik yang datang dari obyek-obyek pada permukaan bumi.

Sesuai dengan kemampuan spektral sensor radar dalam gelombang mikro, citra radar mempunyai kelebihan dapat memberikan informasi yang bermanfaat pada daerah yang ditutupi awan atau haze, karena panjang gelombang radar jauh lebih besar dari ukuran (diameter) partikel atmosfer yang

dilaluinya. Kelebihan lain adalah sensor radar sebagai sensor aktif dapat dioperasikan pada malam hari.

Secara umum, dalam pendeteksian suatu obyek pada permukaan bumi, menggunakan data inderaja satelit radar SAR, suatu obyek dapat diidentifikasi atau dibedakan dari obyek lainnya di dalam citra radar adalah berdasarkan perbedaan energi hamburan balik yang datang dari obyek tersebut, yang diterima oleh sensor radar pada satelit. Besarnya energi hamburan balik tersebut dipengaruhi oleh tiga faktor utama (Dallemand, *et al.* 1993, Ali Hussin, 1997), yaitu

- 1) Sifat-sifat sistem radar, yaitu panjang gelombang, sudut jatuh dan polarisasi dari gelombang radar tersebut.
- 2) Topografi permukaan bumi.
- 3) Karakteristik dari materi obyek pada permukaan atau di bawah permukaan yaitu sifat-sifat dielektrik obyek (termasuk kandungan air, kekasaran permukaan dan orientasi ciri).

Melihat ketiga faktor utama yang mempengaruhi yang disebutkan di atas, dapat dipahami bahwa citra radar

memainkan peran penting dalam perolehan informasi geologi (misalnya: ciri geomorfologi dan ciri geostruktur).

Meskipun perkembangan teknologi indera menggunakan sensor radar, memainkan peran akan pencapaian ketersediaan data radar dalam multikanal dan multipolarisasi, hambatan yang masih banyak dirasakan oleh para pengguna atau analis data radar adalah dalam kemampuan untuk menginterpretasi citra radar tersebut, karena kenampakan obyek pada citra tidak sama dengan kenampakan alamiah objek.

Integrasi data multisensor radar dan optik yang komplementer, dapat dilakukan dengan fusi data pada tingkat rendah (sebelum klasifikasi) atau pada tingkat tinggi (setelah klasifikasi). Dengan metode fusi citra optik dan radar dapat dimanfaatkan sinergi multisensor tersebut, untuk mengatasi gangguan awan pada citra optik, dan untuk menghasilkan identifikasi yang lebih akurat (Murni, 1996, Sitanggang *et al*, 2000).

Citra radar efektif dalam mempertajam kenampakan relief, dan data optik multikanal sangat berguna untuk interpretasi geologi. Integrasi antara data radar dengan data optik menghasilkan citra dengan variasi *Hue* yang merepresentasikan nilai spektral suatu permukaan bumi sementara radar memberikan informasi morfologi permukaan bumi. Di samping itu, integrasi radar dengan data raster yang berbasis geofisik menawarkan kemampuan untuk mengkorelasikan secara visual variasi topografi dengan respons radiometrik dari batuan dan struktur yang terkait. Dengan demikian aplikasi dari teknik fusi data optik dan radar, menjanjikan ekstraksi informasi yang lebih detail, dan interpretasi geologi yang lebih akurat. (Harris *et al.* 1994).

Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan beberapa teknik dan metode fusi data indera satelit optik ETM-plus Landsat dan SAR Radarsat yaitu metode *Intensity Hue Saturation* (IHS), *Color Normalization* (CN) dan Trans-

formasi Komponen Utama (TKU) dan mengevaluasi hasil citra-citra fusi data tersebut dan juga menganalisis untuk ekstraksi informasi geologi pertambangan batu bara.

2 DASAR TEORI

2.1 Penyesuaian Resolusi Spasial dan Proses Registrasi Citra dalam Integrasi Data Multisensor

Integrasi data citra multisensor, melibatkan permasalahan penyesuaian resolusi spasial dari citra multisensor tersebut, sehingga lebih lanjut dapat dilakukan proses integrasi yang komplementer, yang disebut dengan teknik fusi data, yaitu proses penggabungan informasi pada setiap titik atau elemen citra (*pixel*) dari keseluruhan kanal citra yang dilibatkan. (Murni, 1996, Sitanggang, G, 1992, Sitanggang *et al*, 2000).

Untuk keperluan ekstraksi informasi yang lebih detail, umumnya dilakukan perubahan resolusi spasial dari citra dengan resolusi spasial rendah menjadi sama dengan citra resolusi yang lebih tinggi dari citra-citra multisensor tersebut. Di dalam teknik pengolahan data citra, ukuran *pixel* citra resolusi rendah diubah menjadi sama dengan ukuran *pixel* citra resolusi tinggi. (Sitanggang, G, 1992, Sitanggang *et al*, 2000)

Permasalahan selanjutnya menyangkut posisi lokasi dari masing-masing titik citra yang sama pada keseluruhan kanal citra yang diproses, mempunyai posisi lokasi yang sama pada suatu citra referensi (disebut registrasi citra ke citra). Teknik lain dan yang umum adalah dengan melakukan registrasi setiap citra terhadap peta yang sama, secara terpisah. Teknik ini dilakukan bilamana diperlukan *geo-referencing*. Teknik koreksi geometrik presisi dengan menggunakan fungsi transformasi dengan GCP, dapat digunakan untuk registrasi suatu citra terhadap sistem koordinat peta, sehingga titik *pixel* mempunyai posisi lokasi

(address) menurut koordinat peta (koordinat lintang/bujur). Menyatakan address titik-titik pixel dari suatu citra dalam base koordinat peta disebut *geocoding*. (Robert. 1983, Richards.1986, Sitanggang *et al.* 1998)

2.2 Algoritma Fusi Data dalam Integrasi Data Multisensor

Seperti disebutkan di atas, teknik fusi data yang dimaksudkan adalah teknik penggabungan (*data fusion*) dari data citra multisensor.

Tujuan utama dari penggabungan citra adalah untuk memperoleh citra baru yang memiliki keunggulan dalam resolusi spasial dan sekaligus resolusi spektral dari dua atau lebih data citra multisensor yang dilibatkan. Teknik-teknik yang dikembangkan adalah spesifik untuk memaksimalkan informasi sesuai dengan aplikasi yang dikehendaki. Kanal spektral yang dilibatkan untuk diproses, dipilih berdasarkan sensitivitas kanal spektral tersebut terhadap karakteristik spektral objek yang dideteksi terhadap radiasi gelombang elektromagnetik yang datang (yang mengandung informasi maksimal) untuk suatu aplikasi yang spesifik.

Secara umum, teknik penggabungan citra (*data fusion*) dari data citra multisensor dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok (Harris *et al.*, 1994), yaitu 1) Kombinasi Kanal Spektral, 2) Kombinasi Arithmetika, 3) Transformasi Statistika dan 4). Transformasi Ruang Warna. Masing-masing kelompok tersebut serta teknik dan metode penggabungan citra yang diuji coba dalam penelitian ini diuraikan di dalam bagian 2.21.

2.2.1 Kombinasi Kanal Spektral

Kombinasi kanal spektral adalah teknik penggabungan citra dari beberapa kanal spektral, dengan melakukan operasi tumpang tindih (*overlay*) sehingga diperoleh citra komposit dalam ruang warna RGB (*Red, Green, Blue*). Pada umumnya teknik ini adalah untuk keperluan visualisasi, dengan kombinasi-kombinasi warna yang

digunakan pada masing-masing kanal, sehingga dapat diperoleh warna alami (*true color*), ataupun warna palsu (*false color*). Sebagai contoh, fusi data radar SAR dengan data TM Landsat, digunakan kombinasi yang berikut: Ruang warna *Red* diisi dengan kanal data Radar SAR, Ruang warna *Green* diisi dengan data TM Landsat kanal 4, sementara ruang warna *Blue* diisi dengan data TM Landsat kanal 5, sehingga diperoleh citra komposit warna yang merupakan integrasi atau sinergi informasi dari data Radar SAR dan TM Landsat kanal 4 dan kanal 5 tersebut.

SAR \Rightarrow *Red*

TM- 4 \Rightarrow *Green*.

TM- 5 \Rightarrow *Blue*

Keuntungan dari teknik ini adalah proses yang cepat dan pada beberapa aplikasi sangat bermanfaat untuk interpretasi secara visual.

2.2.2 Kombinasi Arithmatika

Pada hakekatnya teknik ini sama dengan proses kombinasi kanal seperti disebutkan di atas, menggunakan teknik visualisasi data di ruang warna RGB. Kelebihan dari teknik ini, memungkinkan menggunakan variasi lebih dari 3 kanal, yaitu setelah terlebih dahulu dilakukan operasi pendahuluan dari data multisensor tersebut. Operasi pendahuluan yang sering dilakukan adalah operasi arithmatika sederhana, seperti operasi pengurangan dari dua kanal spektral atau operasi pembagian (rasio) dua kanal spektral. Seperti diketahui operasi pengurangan ataupun operasi pembagian dari dua kanal citra memberikan manfaat spesifik, yaitu dapat mengurangi kesalahan radiometrik akibat pengaruh sudut jatuh sinar matahari, dan pengaruh atmosfer pada pendeteksian obyek menggunakan data optik. Dengan demikian dapat dimaklumi operasi pengurangan ataupun operasi pembagian kanal spektral data optik dapat memperbaiki ketelitian identifikasi.

Teknik kombinasi aritmatika menggunakan data radar SAR dengan data TM Landsat sebagai contoh, Manore dan D'lorio (1996), melakukan percobaan fusi data radar SAR dengan TM Landsat dengan menggunakan kombinasi sederhana sebagai berikut : Ruang warna merah (*Red*) diisi oleh data kanal baru (hasil operasi pembagian data SAR polarisasi Horizontal-Horizontal (SAR-HH) dengan data SAR polarisasi Vertikal-Vertikal (SAR-VV)). Sementara itu ruang warna hijau (*Green*), diisi dengan data TM Landsat kanal-4 (TM-4), sedangkan ruang warna biru (*Blue*), diisi dengan data kanal baru (hasil operasi pengurangan data TM Landsat kanal-5 (TM-5), dengan TM Landsat kanal-3 (TM -3)).

Teknik kombinasi aritmatika jelas lebih efektif dibandingkan dengan teknik pertama. Kelebihan lain dari teknik ini, adalah karena lebih dari 3 kanal data yang terlibat, informasi yang dapat diekstraksi akan lebih banyak, dan masih memiliki kemudahan dalam komputasi yang sederhana. Namun demikian, interpretasi masih merupakan kendala, sehingga penting untuk melakukan penelitian-penelitian kombinasi-kombinasi kanal spektral untuk memperoleh standar atau acuan yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi.

2.2.3 Transformasi Statistika (Metode Transformasi Komponen Utama-TKU)

Algoritma yang paling banyak digunakan dalam transformasi statistika adalah Transformasi Komponen Utama-TKU (*Principal Component Transformation-PCT*). Dengan menggunakan teknik transformasi komponen utama dari suatu citra multispektral, yang diperoleh dengan metode Karhunen-Loeve, dihasilkan satu set citra kanal baru (citra komponen utama), di mana kandungan informasi dari keseluruhan citra multispektral tersebut, dikonsentrasikan di dalam

beberapa citra Komponen Utama (KU), berturut-turut paling tinggi pada komponen utama yang pertama, kedua dan seterusnya dan juga informasi pada kanal-kanal yang baru tersebut tidak saling berkorelasi. Komponen yang terakhir berisi informasi minimum, yang berisikan terutama noise, sehingga dapat diabaikan dengan tanpa kehilangan informasi yang berarti. (Robert. 1983, Richards. 1986, Sitanggang, *et al* 1998). Karena data pada kanal-kanal baru atau citra-citra komponen utama tersebut tidak saling berkorelasi, dapat dimaklumi variasi-variasi kombinasi kanal spektral dari citra-citra komponen utama tersebut dalam ruang warna RGB (komposit warna dari citra-citra komponen utama akan menghasilkan informasi yang maksimal atau lebih mengandung informasi terbanyak dibandingkan dengan komposit warna kanal-kanal citra asli.

Sebagai contoh teknik fusi data Radar SAR JERS-1 dan TM Landsat, menggunakan metode transformasi komponen utama pada dasarnya memanfaatkan citra hasil transformasi komponen utama dari citra radar SAR dan data multispektral TM Landsat tersebut. Teknik transformasi komponen utama (TKU) mengubah data radar SAR dan data multispektral TM-,2,3,4,5,7 menjadi data citra baru KU-1,2,3,4,5,6,7. Citra-citra KU-1,2,3,4,5,6 dan 7 berturut-turut mengandung informasi paling tinggi sampai paling rendah. Kemudian, dapat dilakukan variasi-variasi kombinasi kanal spektral dari citra-citra KU yang mengandung informasi tinggi dalam ruang warna RGB. Proses transformasi komponen utama pada data multisensor radar SAR dan TM Landsat tersebut dapat dilakukan setelah terlebih dahulu dilakukan proses penyesuaian resolusi citra TM Landsat menjadi resolusi data radar SAR, dan semua citra yang dilibatkan dalam kondisi terregistrasi satu sama lainnya. (Sitanggang, *et al*, 2000)

2.2.4 Transformasi Ruang Warna (Metode Intensity Hue Saturation-IHS)

Secara teknis, warna komposit dapat dijabarkan ke dalam komponen tunggal sesuai dengan ruang warna yang digunakan. Misalnya warna kuning dapat dijelaskan dalam ruang warna RGB sebagai R (*Red*) dengan intensitas 100%, G (*Green*) dengan intensitas 100% dan B (*Blue*) dengan intensitas 0%. Warna kuning juga dapat dilihat dalam ruang warna CMYK sebagai C dengan intensitas 0%, M dengan intensitas 0%, Y dengan intensitas 100% dan K dengan intensitas 0%.

Metode IHS pada awalnya dikembangkan sebagai teknik penajaman (Vincent, 1997). Komponen *Intensity* merefleksikan informasi kecerahan total dari suatu warna tampilan. *Hue* menunjukkan rata-rata panjang gelombang dari warna tampilan, sedangkan *Saturation* mencerminkan kedalaman warna relatif terhadap abu-abu. Gonzalez dan Woods (1992) menjelaskan penurunan awal ruang warna RGB menjadi IHS dengan persamaan (2-1) sebagai berikut:

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\left[(R-G)^2 + (R-B)(G-B) \right]^{0.5}} \right\} \dots(2-1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)]$$

Dalam metode fusi IHS, citra pankromatik resolusi tinggi akan menggantikan komponen *Intensity* hasil konversi ruang warna RGB. Data IHS yang telah mengandung citra pankromatik kemudian diubah kembali menjadi ruang warna RGB dengan persamaan (2-2) berikut (Gonzalez and Woods, 1992).

$$g = \frac{1}{3}(1 - S)$$

$$b = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos H}{\cos(60^\circ - H)} \right] \dots\dots\dots(2-2)$$

$$r = 1 - (g + b)$$

Persamaan yang ditunjukkan Gonzalez dan Woods (1992) membutuhkan data RGB yang telah ternormalisasi pada kisaran [0,1].

Pada penelitian ini akan dilakukan fusi data ETM-plus Landsat dengan data SAR Radarsat. Sebagai contoh : Komposit warna RGB atau kombinasi kanal spektral dari tiga variasi kanal spektral ETM-Landsat dengan metode IHS diintegrasikan dengan data SAR Radarsat tersebut atau digunakan ruang warna IHS (*Intensity-Hue-Saturation*). Tiga langkah proses akan dilakukan pada teknik penggabungan data tersebut

RGB \Rightarrow IHS
SAR \Rightarrow I
HIS \Rightarrow RGB

Langkah pertama proses adalah pengubahan atau konversi ruang warna RGB menjadi ruang warna IHS. Langkah kedua adalah penggantian komponen *Intensity* oleh data Radar

2.2.5 Metode Color Normalization (CN)

Metode *Color Normalization* (CN) adalah pengembangan dari metode Kombinasi Aritmatika yang umum.

Algoritma CN secara umum bekerja dengan mengalikan setiap kanal dari tiga kanal RGB yang ditentukan dengan citra pankromatik resolusi tinggi. Algoritma *Color Normalization* memisahkan ruang spektral ke dalam komponen *Hue* dan *Kecerahan* (*Brightness*). Untuk mengendalikan variabilitas yang mungkin didapat, maka pada pemrosesan setiap kanal akan dilakukan prosedur normalisasi data. Secara umum, normalisasi dapat dilakukan dengan teknik pembagian dengan suatu nilai yang merepresentasikan seluruh komponen data yang ada. Vrabel (2000) menggunakan nilai penormalisasi dengan memanfaatkan jumlah dari tiga kanal data yang terlibat. Secara

matematis, algoritma ini dinyatakan dalam persamaan (2-3) berikut (Vrabel 1996):

$$CN_i = \frac{(MSI_i + 1.0) \cdot (PAN + 1.0) \cdot 3.0}{\sum_i MSI_i + 3.0} - 1.0 \quad (2-3)$$

Komponen MSI menyatakan kanal multispektral dan PAN merepresentasikan citra pankromatik resolusi tinggi. Penambahan konstanta dilakukan untuk mencegah pembagian terhadap nol (Vrabel, 1996).

3 PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Daerah Penelitian, Data dan Alat yang Digunakan

Pada penelitian percobaan ini, digunakan data primer SAR-Radarsat (1997) dan data ETM-plus Landsat-7 (2002), sehubungan dengan ketersediaan data. (idealnya kedua data pada tanggal akuisisi yang berdekatan). Daerah studi kasus dipilih wilayah Kaltim Prima Coal (KPC) dan sekitarnya, suatu wilayah pertambangan batubara di Kalimantan Timur untuk dapat mengkaji lebih komprehensif tujuan ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara tersebut. Daerah studi kasus tersebut meliputi lahan hutan lebat atau vegetasi rapat pada areal yang berbukit dan lembah di antara perbukitan, dataran dan terrain atau relief yang bervariasi atau bergelombang. Daerah studi kasus tersebut ditunjukkan pada Gambar 3-2 menggunakan data RGB (542) ETM plus-Landsat-7 dan atau dengan data citra SAR Radarsat yang ditunjukkan dalam Gambar 3-3.

Data sekunder yang digunakan adalah peta geologi dan peta rupa bumi pada daerah studi kasus di Kalimantan Timur. Selain itu digunakan juga data hasil survey lapangan di Kalimantan Timur.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah PC dengan *software* pengolahan citra ER Mapper dan ENVI.

3.2 Teknik dan Metode Pengolahan dan Analisis Data.

Teknik dan metode fusi data SAR Radarsat dan ETM -plus Landsat yang diuji-coba dan dievaluasi atau dianalisis dalam penelitian ini adalah *Intensity Hue Saturation* (IHS), *Color Normalization* (CN) dan Transformasi Komponen Utama-TKU (*Principal Componen Transformation-PCT*). Sebelum dilakukan proses integrasi atau fusi data, terlebih dahulu dilakukan operasi penyesuaian resolusi dari data citra yang diintegrasikan dan juga dilakukan operasi registrasi citra-citra yang dilibatkan. Diagram blok dari teknik dan metode pengolahan dan analisis data yang dibangun dan diuji coba serta dievaluasi ditunjukkan dalam Gambar 3-1, yang diuraikan secara eksplisit dibawah ini.

3.2.1 Teknik dan Metode Penyesuaian Resolusi Spasial Untuk Fusi Data SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat dan Prosedur Registrasi Citra

Data radar yang akan diekstraksi adalah data SAR Radarsat yang mempunyai resolusi spasial 10 m x 10 m. Seperti diketahui data optik ETM-plus Landsat mempunyai resolusi spasial 30 m x 30 m. Agar data ETM-plus Landsat dapat diintegrasikan terhadap data SAR Radarsat tersebut, maka terlebih dahulu dilakukan perubahan resolusi spasial data ETM-plus Landsat, yaitu dari 30 m x 30 m menjadi 10 m x 10 m, yaitu dengan operasi pemecahan pixel. Kemudian dilakukan operasi registrasi citra SAR Radarsat dengan masing-masing kanal spektral ETM-plus Landsat yang dilibatkan, sehingga dapat dipastikan bahwa operasi penggabungan (fusi) data multispektral ETM-plus Landsat dan SAR Radarsat tersebut memiliki ketelitian registrasi spasial dengan keakuratan yang memadai.

Proses registrasi dilakukan dengan memilih satu kanal citra ETM-plus Landsat tersebut sebagai citra referensi, setelah terlebih dahulu dilakukan koreksi

geometrik presisi (*geocoded*) terhadap semua kanal TM Landsat yang dilibatkan. dengan mengambil GCP dari peta topografi pada daerah studi kasus tersebut. Dengan demikian sekaligus keseluruhan citra yang dilibatkan adalah *geocoded* dan terregistrasi terhadap peta yang sama.

3.2.2 Teknik Fusi Data SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat Dengan Metode Intensity Hue-Saturation (IHS)

Sebagai pembanding atau kontrol digunakan citra komposit RGB (542) atau kombinasi kanal 5,4,2 data ETM-plus Landsat berturut turut pada ruang warna *Red, Green, Blue*. Teknik yang dilakukan adalah mengikuti algoritma metode IHS seperti yang diuraikan pada bagian 2.2.4 di atas. Prosedur yang dilakukan mengikuti tiga langkah proses pada teknik penggabungan data. Langkah pertama adalah perubahan atau konversi ruang warna RGB menjadi ruang warna IHS ($RGB \Rightarrow IHS$). Langkah kedua adalah penggantian komponen *Intensity* oleh data SAR. Radarsat Selanjutnya langkah terakhir adalah konversi balik dari ruang warna IHS (dimana I telah digantikan oleh data SAR Radarsat) menjadi ruang warna RGB.

3.2.3 Teknik Fusi Data SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat Dengan Metode Color Normalization (CN)

Prosedur yang dilakukan adalah mengikuti algoritma Color Normalization seperti diuraikan pada bagian 2.2.5 di atas, dengan tiga kanal data ETM-plus Landsat kanal 5, 4, 2 berturut turut pada ruang warna *Red, Green, Blue*. Operasi pada hakekatnya adalah mengalikan setiap kanal dari tiga kanal ETM-plus Landsat, yaitu kanal 5 (TM5 = *Red*), kanal 4 (TM4 = *Green*) dan kanal 2 (TM2 = *Blue*) dengan citra SAR Radarsat tersebut. Kemudian dilakukan normalisasi data.

3.2.4 Teknik Fusi Data SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat Dengan Metode Transformasi Komponen Utama (TKU) .

Pada percobaan ini, teknik fusi data yang dilakukan adalah : pertama dilakukan operasi transformasi komponen utama pada citra SAR Radarsat dan citra multispektral ETM-plus Landsat kanal 1, 2, 3, 4, 5 dan 7 tersebut, sehingga diperoleh citra-citra kanal baru yang tidak saling berkorelasi yaitu citra KU-1, KU-2, KU-3, KU-4, KU-5, KU-6 dan KU-7. Untuk keperluan identifikasi, dipilih citra komponen utama yang mengandung informasi tinggi atau yang signifikan untuk keperluan aplikasi yang dilakukan. Selanjutnya dapat dilakukan variasi-variasi kombinasi-kombinasi kanal spektral dari citra-citra kanal baru atau citra Komponen Utama tersebut dalam ruang warna RGB. Dalam penelitian ini dilakukan: ($KU-1 \Rightarrow Red$, $KU-2 \Rightarrow Green$, $KU-3 \Rightarrow Blue$).

4 HASIL FUSI DATA SAR RADARSAT DAN ETM-PLUS LANDSAT DAN PEMBAHASAN

Gambar 3-2 menunjukkan citra ETM-plus Landsat-7 RGB (542) wilayah konsesi Kaltim Prima Coal (KPC). Sedangkan Gambar 3-3 menyajikan respons citra Radarsat pada wilayah yang sama. Pada Gambar 3-2 terlihat obyek-obyek penutup lahan tampak dengan jelas pada citra ETM-plus Landsat pada daerah studi kasus tersebut, akan tetapi kurang mampu menginformasikan kondisi relief permukaan lahan atau terrain yang ber-gelombang dengan baik. Sebaliknya, pada citra Radarsat (Gambar 3-3) tampak secara jelas informasi relief permukaan lahan atau terrain dengan daerah bukit dan lembah bukit yang berbentuk gelombang.

Gambar 4-1, 4-2 dan 4-3 menunjukkan hasil teknik fusi yang diuji cobakan berturut-turut metode IHS, CN dan TKU. Secara umum semua citra hasil fusi menunjukkan peningkatan

informasi tentang relief atau terrain permukaan bumi. Kenampakan yang ditunjukkan citra fusi relatif lebih baik dari citra tunggal, baik ETM-plus Landsat maupun citra SAR Radarsat tersebut. Masing-masing citra hasil fusi data tersebut juga mampu mengkorelasikan secara visual variasi topografi dengan respons radiometrik dari kelurusan dan struktur yang terkait. Beberapa kelurusan mikro secara lebih jelas ditampakan pada semua citra fusi. Pada kasus ini, teknik fusi TKU. menunjukkan kenampakan yang relatif lebih baik dengan kecerahan dan kontras yang lebih sesuai dibandingkan dengan teknik dan metode IHS dan CN. Pada lokasi pengamatan, tampak pula bahwa citra hasil fusi dengan metode *Color Normalization* memiliki kemampuan menghasilkan kontras yang lebih baik dibandingkan dengan metode IHS.

Masing-masing citra hasil fusi dianalisis secara visual atau dievaluasi secara lebih rinci dan diperbandingkan seperti diuraikan di bawah ini.

4.1 Citra Hasil Fusi Data SAR Radarsat Dan ETM-plus Landsat Dengan Metode HIS untuk Ekstraksi Informasi Geologi Pertambangan Batubara

Pada citra komposit warna ETM-plus Landsat RGB (542) seperti ditunjukkan pada Gambar 3-2, terlihat jelas bahwa citra hasil menggunakan kombinasi kanal data tunggal ETM-plus tersebut, kurang mampu menunjukkan atau membedakan terrain yang sebenarnya bergelombang, Citra RGB (542) Landsat efektif digunakan untuk identifikasi obyek-obyek penutup lahan pada permukaan, sedangkan adanya terrain atau lereng-lereng yang membatasi bukit-bukit yang bergelombang tidak dapat diidentifikasi dengan baik. Tidak demikian halnya pada citra fusi SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat menggunakan metode IHS (Gambar 4-1), relief atau terrain yang bergelombang dapat diidentifikasi dengan jelas. Terlihat bahwa pada citra hasil

fusi tersebut, introduksi informasi terrain dari data Radar SAR tersebut sangat dominan. Dengan introduksi citra Radar SAR, kenampakan pada citra fusi relatif lebih baik, di mana relief atau terrain ditunjukkan lebih nyata dan detail. Pada bagian citra berwarna merah, di bagian tengah, terlihat jelas, bahwa citra komposit ETM Landsat tersebut kurang mampu menunjukkan ciri (feature) bukit kecil. Sedangkan pada citra fusi, kenampakan bukit tersebut terlihat dengan lebih tajam dan lebih detail. Demikian juga pada bagian kanan bawah dari citra, terrain yang bergelombang kurang terlihat nyata pada citra kombinasi kanal atau komposit warna RGB (54 2) ETM-plus Landsat tersebut sedangkan pada citra hasil fusi, ciri tersebut dapat lebih mudah diinterpretasi

Metode IHS juga mampu memberikan iluminasi yang baik pada lereng-lereng bukit-bukit seperti tampak pada Gambar 4-1. Namun demikian, kontras antara kedua sisi lereng masih kurang baik sehingga menyebabkan proses interpretasi masih agak sulit dilakukan.

4.2 Citra Hasil Fusi Data SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat dengan Metode CN untuk Ekstraksi Informasi Geologi Pertambangan Batubara

Pada Gambar 4-2, ditunjukkan citra hasil fusi data SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat dengan metode CN. Jika diperbandingkan dengan citra komposit warna RGB (542) data ETM-plus Landsat pada Gambar 3-2, tampak bahwa dengan introduksi citra SAR-Radarsat, kenampakan pada citra fusi lebih baik, di mana relief atau terrain ditunjukkan dengan lebih nyata dan tajam seperti halnya citra hasil fusi dengan metode IHS (Gambar 4-1), tampak jelas bahwa pada citra hasil fusi dengan metode CN tersebut, kenampakan perbukitan dan lembah-lembah bukit, dataran dan terrain yang bergelombang terlihat lebih baik atau lebih tajam, sedangkan pada citra komposit warna RGB (542)

ETM-plus Landsat (Gambar 3-1), ciri tersebut tidak tampak nyata. Demikian juga pada bagian kanan bawah dari citra, terrain yang bergelombang kurang terlihat nyata pada citra komposit warna ETM-plus Landsat tersebut, sedangkan pada citra hasil fusi dengan metode CN (Gambar 4-2), ciri tersebut dapat lebih mudah diinterpretasi, seperti halnya citra hasil fusi dengan metode IHS.

Bila diperbandingkan citra hasil fusi dengan metode CN (Gambar 4-2), dengan citra hasil fusi dengan metode IHS (Gambar 4-1), tampak bahwa secara umum, metode fusi CN memberikan iluminasi yang lebih baik. Pada Gambar 4-2, terlihat bahwa lereng barat tampak gelap dan lereng timur tampak terang atau dengan kata lain dengan metode CN, tampak bahwa kontrasnya lebih baik dibandingkan dengan citra hasil fusi IHS.

Dengan metode IHS (Gambar 4-1), juga mampu memberikan iluminasi yang baik, akan tetapi kontras antara kedua sisi lereng tersebut kurang baik, dibandingkan dengan citra hasil fusi CN, sehingga proses interpretasi relatif lebih sulit dilakukan. Secara teoritis, kemampuan pembedaan kontras yang rendah dapat mengurangi kemampuan ekstraksi atau interpretasi informasi pada daerah yang memiliki amplitudo terrain yang sangat kecil atau pada daerah yang relatif lebih datar.

Secara keseluruhan, disimpulkan bahwa penggunaan tambahan citra SAR Radarsat dalam metode penggabungan dengan data ETM-plus Landsat tersebut dengan metode/algorithm fusi IHS dan CN mampu menyediakan informasi terrain yang lebih lengkap, walaupun lokasi penelitian terletak pada daerah yang berhutan lebat.

4.3 Citra Hasil Fusi Data SAR Radarsat dan ETM plus Landsat dengan Metode TKU untuk Ekstraksi Informasi Geologi Pertambangan Batubara

Pada Gambar 4-3 ditunjukkan citra hasil fusi data radar SAR Radarsat

dan ETM plus Landsat, dengan metode TKU. Hasil yang diperoleh adalah dengan menggunakan kombinasi spektral pada ruang warna dengan citra komponen utama pertama KU-1 (*Red*), citra komponen utama kedua KU-2 (*Green*) dan Citra komponen ketiga KU-3 (*Blue*).

Secara umum semua citra hasil fusi dengan metode TKU tersebut menunjukkan peningkatan informasi tentang kondisi permukaan lahan. Seperti halnya citra hasil fusi dengan metode IHS (Gambar 4-1) dan metode CN (Gambar 4-2) tampak jelas bahwa pada citra hasil fusi dengan metode TKU tersebut, kenampakan perbukitan dan lembah-lembah bukit, dataran dan terrain yang bergelombang terlihat lebih baik atau lebih tajam, sedangkan pada citra komposit warna RGB (542) ETM-plus Landsat (Gambar 3-1), ciri tersebut tidak tampak nyata. Demikian juga pada bagian kanan bawah dari citra, terrain yang bergelombang kurang terlihat nyata pada citra komposit warna ETM-plus Landsat tersebut, sedangkan pada citra hasil fusi dengan metode TKU (Gambar 4-3), ciri tersebut dapat lebih mudah diinterpretasi, seperti halnya citra hasil fusi dengan metode IHS dan CN.

Kenampakan yang ditunjukkan citra fusi metode TKU relatif lebih baik dari citra tunggal, baik ETM-plus Landsat maupun citra Radarsat tersebut. Secara keseluruhan tampak bahwa penggunaan tambahan citra SAR Radarsat dalam penggabungan dengan data ETM-plus Landsat dengan metode/algorithm TKU tersebut mampu menyediakan informasi relief atau terrain yang lebih lengkap, walaupun lokasi penelitian terletak pada daerah yang berhutan lebat. Pada kasus ini, teknik fusi transformasi komponen utama menunjukkan kenampakan yang relatif lebih baik dengan kecerahan dan kontras yang lebih sesuai dibandingkan dengan teknik IHS dan CN. Beberapa kelurusan mikro secara lebih jelas ditampakan pada citra hasil fusi tersebut.

5 ANALISIS CITRA HASIL FUSI ETM-PLUS LANDSAT DAN SAR-RADARSAT UNTUK APLIKASI EKSTRAKSI INFORMASI GEOLOGI PERTAMBANGAN BATUBARA

Data lapangan merupakan data penunjang yang dibutuhkan untuk memverifikasi hasil maupun untuk melengkapi data utama yaitu citra hasil fusi data ETM-LANDSAT dan SAR Radarsat, agar diperoleh hubungan antara data yang dihasilkan dari pengolahan data penginderaan jauh dengan data sebenarnya di lapangan. Untuk tujuan verifikasi hasil fusi data dan untuk memperoleh data sekunder lainnya pada aplikasi geologi pertambangan batubara tersebut, dilakukan kunjungan dan pengumpulan data di PT Kaltim Prima Coal (KPC) di Sangatta Kalimantan Timur. Survey lapangan dilakukan selama 4 hari di Kalimantan Timur (tanggal 6 sampai dengan 10 Oktober 2003)

Kegiatan survei lapangan dilakukan di PT KPC Sangatta Kalimantan Timur, salah satu pertambangan batu bara terbesar di Indonesia. Pada survey lapangan tersebut digunakan bahan dan peralatan berupa peta rupa bumi, peta geologi, citra RGB dan citra Fusi, GPS dan kamera digital. Metode pengukuran/pengamatan yang dilakukan adalah 1) membandingkan antara kenampakan di citra hasil fusi ETM-plus Landsat dan SAR Radarsat dengan kenampakan di lapangan dan kenampakan pada peta topografi dan peta geologi, 2) melakukan pengumpulan data sekunder baik berupa peta maupun data tabulasi, dan 3) diskusi dengan staf PT KPC tentang informasi yang ingin diperoleh.

PT KPC adalah Perusahaan Indonesia, tadinya (sebelum Oktober 2003) adalah perusahaan yang dimiliki bersama dengan pembagian saham yang sama antara BP (sebuah perusahaan Inggris) dan Rio Tinto (sebuah perusahaan Inggris dan Australia). Pada tahun 1982, KPC menandatangani Perjanjian Batubara dengan perusahaan batubara Indonesia PN Tambang Bara. Perjanjian ini menjadi

landasan hukum operasi PT KPC yang mencakup eksplorasi, produksi dan pemasaran batubara dari Wilayah Perjanjian di Kalimantan Timur Indonesia. Pada tahun 1988, para Pemegang Saham BP dan Rio Tinto menyepakati pengembangan sistem tambang terbuka berskala besar berdasarkan cadangan batubara Pinang. Desain rinci dan pembangunannya dimulai bulan Januari 1989 dan proyek itu selesai tanggal 1 September 1991. Gambar 4-5 menunjukkan lokasi pertambangan PT KPC di Sangatta Kalimantan Timur.

Survei lapangan dilakukan baik di sekitar kawasan pertambangan, di dalam maupun di luar pertambangan. Di dalam kawasan pertambangan adalah untuk melihat struktur geologi yang mengalami perubahan akibat aktivitas pertambangan, sedangkan di luar lokasi pertambangan untuk mengetahui struktur geologi di sekitar pertambangan yang ada dan yang sedang dilakukan eksplorasi untuk pembukaan pertambangan baru dan struktur geologi yang ada hubungannya dengan kualitas batu bara tersebut.

Dari hasil survei lapangan, diperoleh dari PT KPC tersebut peta Struktur geologi global di kawasan pertambangan seperti ditunjukkan dalam Gambar 4-4 dan juga informasi kondisi geologi batubara Sangatta sebagai berikut.

Kandungan batubara Sangatta diperkirakan berumur Miosen dan terbentuk dalam formasi Balikpapan, pada cekungan Kutai. Formasi itu terbentang sekitar 20 km dari pantai dan mempunyai cadangan batubara terbesar. Kandungan batubara PT Kaltim Prima Coal terpusat di sekeliling Kubah Pinang, (*Pinang Dome*), sebuah struktur geologi di mana tekanan bumi telah menaikkan kualitas kandungan batubara bila dibandingkan dengan umurnya. Semakin jauh dari kubah itu, efek tersebut semakin berkurang.

Batubara PT Kaltim Prima Coal terdapat dalam sembilan lapisan utama yang mengarah ke sebelah barat Kubah Pinang. Ketebalan lapisan bervariasi dari 1

sampai 15 meter, kebanyakan mempunyai ketebalan antara 2,4 sampai 6,5 meter. Kemiringan lapisan batubara itu bervariasi mulai 3^o sampai 20^o diukur pada singkapan batubara. Deposit Bengalon, terletak di sebelah utara kandungan batubara Sangatta hingga saat ini masih berada dalam kegiatan eksplorasi dan evaluasi.

Saat ini PT Kaltim Prima Coal menghasilkan dua jenis batubara, yaitu Batubara Prima (*Prima Coal*) dan Batubara Pinang (*Pinang Coal*). Batubara Prima merupakan salah satu batubara berkualitas tinggi di pasaran internasional dan digunakan untuk pembangkit listrik dan pabrik baja. Batubara ini merupakan batubara batu minus yang sangat mudah terbakar dengan nilai kalori yang tinggi, kadar debu sangat rendah, kadar sulfur sedang dan kadar air sedang.

Informasi geologi pertambangan batubara yang diperoleh dari survei lapangan dan hasil diskusi yang dilakukan di Perusahaan pertambangan batubara PT KPC, tanggal 7 dan 8 Oktober 2003 adalah sebagai berikut.

Pada awalnya dilakukan eksplorasi tahun 1989. Petunjuk informasi geologi yang membantu dalam prediksi adanya kandungan batubara adalah patahan yang melintang di areal tersebut. Untuk eksplorasi pada tahun 2003 untuk pengembangan pertambangan, patahan-patahan kecil menjadi petunjuk adanya kandungan batubara. Keadaan geografis adalah bergelombang, berbukit, berada di atas permukaan laut dan dikelilingi hutan sekunder. Ciri-ciri geologi yang terkait adalah patahan. Patahan yang panjang, ditemukan pada saat akan dilakukan eksplorasi pertama. Posisi melintang di dekat sungai Sangatta adalah patahan kecil, tidak terlalu terlihat di lokasi di mana pertambangan yang saat ini sedang hendak dibuka. Lokasi di sebelah barat laut posisi lubang atau terowongan (*pit*) yang sudah ada. Lengkungan memuncak atau berbentuk kubah, yaitu Kubah Pinang (*Pinang Dome*), di sebelah timur lubang atau terowongan

(*pit*) mempengaruhi kualitas batubara di sekitarnya menjadi kualitas prima.

Analisis citra hasil fusi data ETM-plus Landsat dan SAR-Radarsat untuk ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara dilakukan dengan menggunakan citra hasil fusi yang diuji coba. Secara umum semua citra hasil fusi menunjukkan peningkatan informasi tentang permukaan bumi. Kenampakan yang ditunjukkan citra fusi relatif lebih baik dari citra tunggal, baik Landsat ETM+ maupun citra Radarsat. Beberapa kelurusan mikro secara lebih jelas ditampakan pada semua citra fusi. Pada kasus ini, teknik dan metode fusi Transformasi Komponen Utama (TKU) menunjukkan kenampakan yang relatif lebih baik dengan kecerahan dan kontras yang lebih sesuai.

Pada citra fusi Transformasi Komponen Utama (TKU) tersebut (Gambar 4-3) terlihat lebih jelas struktur di sebelah selatan sungai Sangatta dan di tempat lainnya dibandingkan pada citra Landsat tunggal. Demikian pula lengkungan memuncak atau berbentuk kubah yaitu Kubah Pinang (*Pinang Dome*) yang terletak di sebelah timur kawasan PT KPC tampak jelas pada citra hasil fusi tersebut.

6 SARAN PENELITIAN LANJUT UNTUK APLIKASI EKSTRAKSI INFORMASI GEOLOGI PERTAMBANGAN BATUBARA

Secara umum pada semua citra hasil fusi dengan metode yang diuji coba tampak secara jelas informasi relief permukaan lahan atau daerah bukit dan lembah bukit yang berbentuk gelombang dengan sangat baik, sehingga secara visual dapat dipisahkan kawasan perbukitan dengan kawasan dataran dengan lebih jelas. Informasi awal tentang terrain sangat diperlukan dalam menganalisis informasi geologi pertambangan batubara, seperti: struktur, terutama patahan atau kelurusan (*lineament*). Beberapa kelurusan mikro secara lebih jelas ditampakan pada semua citra fusi.

Pada kasus ini, teknik fusi Transformasi Komponen Utama menunjukkan kenampakan yang relatif lebih baik dengan kecerahan dan kontras yang lebih sesuai dibandingkan dengan teknik IHS dan CN. Ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara yang lebih detail dari citra-citra hasil fusi data SAR Radarsat dan ETM-plus Landsat yang diperoleh dapat dilakukan lebih lanjut dengan metode interpretasi visual.

Untuk meningkatkan kenampakan informasi geologi pertambangan batubara yang lebih teliti dan detail seperti misalnya deteksi struktur permukaan lahan dan patahan atau kelurusan, dapat dilakukan operasi-operasi pengolahan citra yang spesifik untuk analisis yang mengarah pada ekstraksi patahan atau kelurusan (*lineament*). Analisis yang lebih teliti dapat dilakukan dengan pendekatan atau algoritma deteksi tepi pada citra uji pertama citra fusi komponen utama yang secara visual memiliki kontras dan kecerahan yang relatif lebih baik. (Harris *et al*, 1994)

Hal lain yang perlu mendapat perhatian adalah *speckle noise* pada citra radar SAR yang timbul karena sifat koherensi dari data radar, sehingga menimbulkan *spot-spot* (tampak putih pada citra tunggal radar SAR) yang membatasi resolusi radiometrik, sehingga ikut membatasi kemampuan mengidentifikasi obyek-obyek yang dideteksi. Pengaruh ini sangat terasa pula bila konteks tekstur dimasukkan sebagai unit analisis (Harris *et.al.*, 1994, Sitanggang *et.al.*, 1999 & 2000, Trisasongko, 2002). *Speckle* yang banyak mampu membuat kenampakan kasar, sehingga menghamburkan informasi dasar yang sesungguhnya. Seperti diuraikan pada prosedur pelaksanaan penelitian ini, aspek *speckle noise* belum dilibatkan dalam permasalahan. Dengan demikian, penelitian lanjut untuk mencari atau mengembangkan teknik reduksi *speckle noise* untuk keperluan ekstraksi informasi geologi pertambangan perlu dilakukan. Operasi reduksi *speckle noise*, dilakukan

pada data SAR Radarsat tersebut, sebelum operasi fusi data dilakukan.

7 KESIMPULAN

Dari uji coba yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Penggunaan tambahan data citra SAR Radarsat dalam teknik fusi (penggabungan) dengan data ETM-plus Landsat dengan metode/algoritma fusi IHS, CN dan TKU mampu menyediakn informasi relief atau terrain yang lebih lengkap dibandingkan dengan masing-masing citra tunggal komposit warna ETM-plus Landsat atau SAR Radarsat. Walaupun lokasi penelitian terletak pada daerah yang berhutan lebat, dengan aplikasi fusi data tersebut dapat mempermudah menginterpretasikan citra hasil secara visual untuk aplikasi ekstraksi informasi geologi pertambangan.
- Ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara pada daerah studi kasus memberikan terrain yang ditutupi oleh hutan lebat yang tidak nyata pada data ETM-plus Landsat, tampak sangat tajam pada citra hasil fusi. Tampak secara jelas informasi relief permukaan lahan atau daerah bukit dan lembah bukit yang berbentuk gelombang dengan sangat baik, sehingga secara visual dapat dipisahkan kawasan perbukitan dengan kawasan dataran dengan lebih jelas. Informasi awal tentang terrain sangat diperlukan dalam menganalisis informasi geologi pertambangan batubara seperti struktur, terutama patahan atau kelurusan (*lineament*).
- Pada lokasi pengamatan, tampak bahwa citra hasil fusi dengan metode CN memiliki kemampuan menghasilkan kontras yang lebih baik dibandingkan dengan metode IHS (pada studi kasus kontras antara lereng barat dan lereng timur, tampak lebih jelas).
- Analisis citra hasil fusi Transformasi Komponen Utama (TKU) untuk aplikasi ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara pada daerah studi kasus menunjukkan kenampakan yang jelas struktur di sebelah selatan sungai Sangatta dan di tempat lainnya

dibandingkan pada citra Landsat tunggal. Demikian pula lengkungan memuncak atau berbentuk kubah (*dome*) yaitu Kubah Pinang (*Pinang Dome*) yang terletak di sebelah timur kawasan PT KPC tampak jelas. *Dome* mempengaruhi pembentukan batubara sehingga menghasilkan jenis batubara Prima

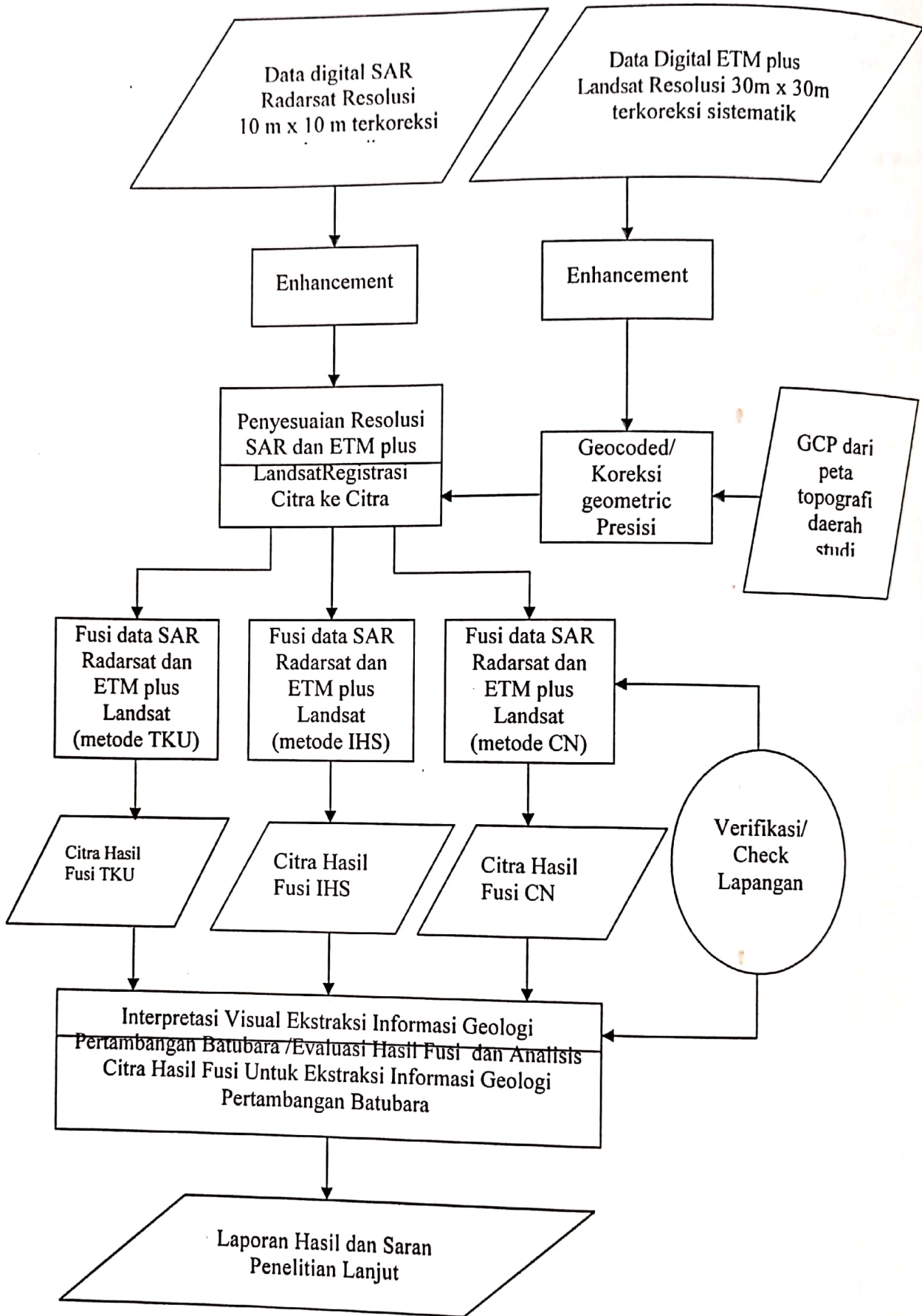
- Kandungan batubara PT Kaltim Prima Coal terpusat di sekeliling Kubah Pinang (*Pinang Dome*), sebuah struktur geologi di mana tekanan bumi telah menaikkan kualitas kandungan batubara bila dibandingkan dengan umurnya. Semakin jauh dari kubah itu, efek tersebut semakin berkurang
- Untuk meningkatkan kenampakan informasi geologi pertambangan batubara yang lebih detail seperti misalnya deteksi struktur permukaan lahan dan patahan atau kelurusan (*lineament*) dapat dilakukan operasi-operasi pengolahan citra yang spesifik seperti menggunakan algoritma deteksi tepi pada citra uji pertama citra hasil fusi komponen utama yang secara visual memiliki kontras dan kecerahan yang relatif lebih baik dari IHS dan CN.
- Citra hasil fusi yang diperoleh masih perlu diperbaiki lagi kualitas radiometrianya, dengan melakukan operasi reduksi *speckle noise* terlebih dahulu sebelum operasi fusi dilakukan, sehingga dapat diperoleh citra hasil fusi yang tidak mengandung *speckle noise* untuk meningkatkan ketelitian identifikasi atau ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara yang maksimal.

DAFTAR RUJUKAN

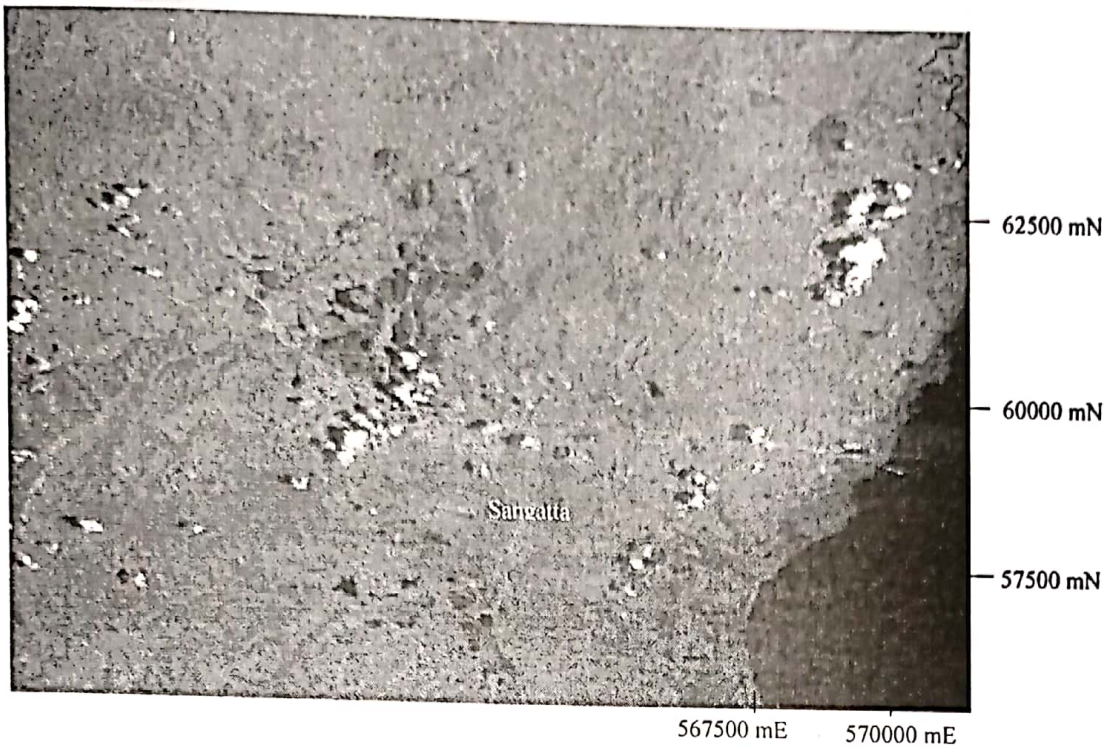
- Ali Hussin, Y. 1997. *Radar Data Principles & Interpretation*, Departement of Land Resources and Urban Scienses, Forestry Division, ITC.
- Dallemand, J.F., Raney, R.K., dan Schumann, R. 1993. *Radar Imagery, Theory and Interpretation*, Lecture Notes, Remote Sensing Center, Research and Technology Development Division, Agriculture Organization of the United Nations, Rome

- Gonzalez, R.C and R.E. Woods. 1992. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, Reading Massachussetts.
- Harris, J., C. Bowie, A. Rencz and D. Graham. 1994. *Computer-Enhancement Techniques for the Integration of Remotely Sensed Data*. Geophysical and Thematic Data for the Geosciences, Canadian Journal of Remote Sensing, 20 (3), p210-221.
- Manore, M. and M. D' Iorio. 1996. *SAR Data Fusion*. Proceedings of the First Latino-American Seminar on Radar Remote Sensing-Image Processing Techniques, Buenos Aires, Argentina, p.91-96.
- Murni, A. 1996. *Klasifikasi Uniform Data Penginderaan Jauh*. Fakultas Elektro UI. Jakarta.
- Robert, A.S. 1983. *Tecniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*, Academic Press, Inc, London.
- Richards, J.A. 1986. *Remote Sensing Digital Image Analyssis, And Introduction* Springer Verlag .New York.
- Schowengerdt, R. A. 1997. *Remote Sensing : Model and Methods for Image Processing*, Second Addition, Academic Press, San Diego, CA.522p.
- Sitanggang, G. 1998, *Faktor-Faktor yang mempengaruhi Ketelitian Analisis Data Citra Digital Inderaja Satelit dan Beberapa Contoh Studi Kasus Aplikasi Darat*, Bahan Diklat Penginderaan Jauh Bagi Kepentingan Pertahanan Keamanan Negara Staff BPPIT-Hankam, Pusfatja-LAPAN, Jakarta.
- Sitanggang, G. ,Surlan, I. Carolita. D. Dirgahayu. 1999, *Verifikasi model Aplikasi Data Inderaja RADAR SAR JERS-1 untuk Identifikasi dan Pemantauan Umur dan Luas Area Tanaman Padi*, Majalah LAPAN Edisi Penginderaan Jauh No. 02 Vol 01, April 1999, ISSN 0216-0480, Jakarta.
- Sitanggang, G., I. Carolita, dan H. Noviar. 2000. *Pengembangan Model Fusi Data SAR JERS-1 dengan Landsat-TM untuk Pemantauan Umur dan Luas Areal Tanaman Padi Sawah*

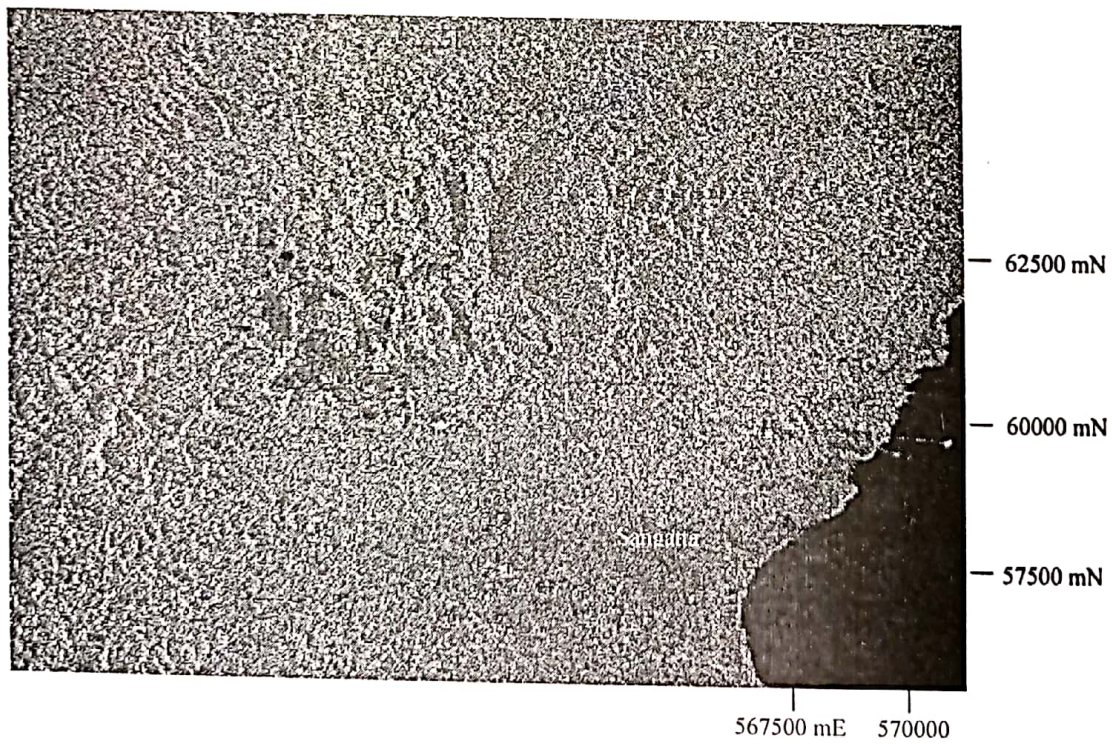
- Irigasi, Majalah LAPAN Edisi Penginderaan Jauh Vol. 02 No. 01 Hal. 33-46, Maret 2000, ISSN 0126-0480. Jakarta.
- Sitanggang, G., 1992, *Metoda dan Teknik Pemecahan Pixel Citra Landsat menjadi Ukuran Pixel Citra Lain di dalam Pengolahan/Analisa Data Multisensor (Multimisi)*. Prosiding Hasil-Hasil Penelitian Proyek Tele-deteksi Sumber Alam TELSA-Pusat Teknologi Penginderaan Jauh, Tahun Anggaran 1991/1992, Maret 1992, Nomor: D1/ 08-91/92
- Trisasongko, B.H. 2002. *Land Use Discrimination based on Textural Characteristics*, Thesis, Graduate Program, Bogor Agricultural University, Bogor.
- Vincent, R.K .1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*, Prentice Hall, Upper Saddle River,NJ. 366p.
- Vrabel, J. 1996. *Multispectral Imagery Band Sharpening Study*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing , 62 (9), p1075-1083.
- Vrabel, J. 2000. *Multispectral Imagery Advanced Band Sharppening Study*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 66 (1), p73-79.



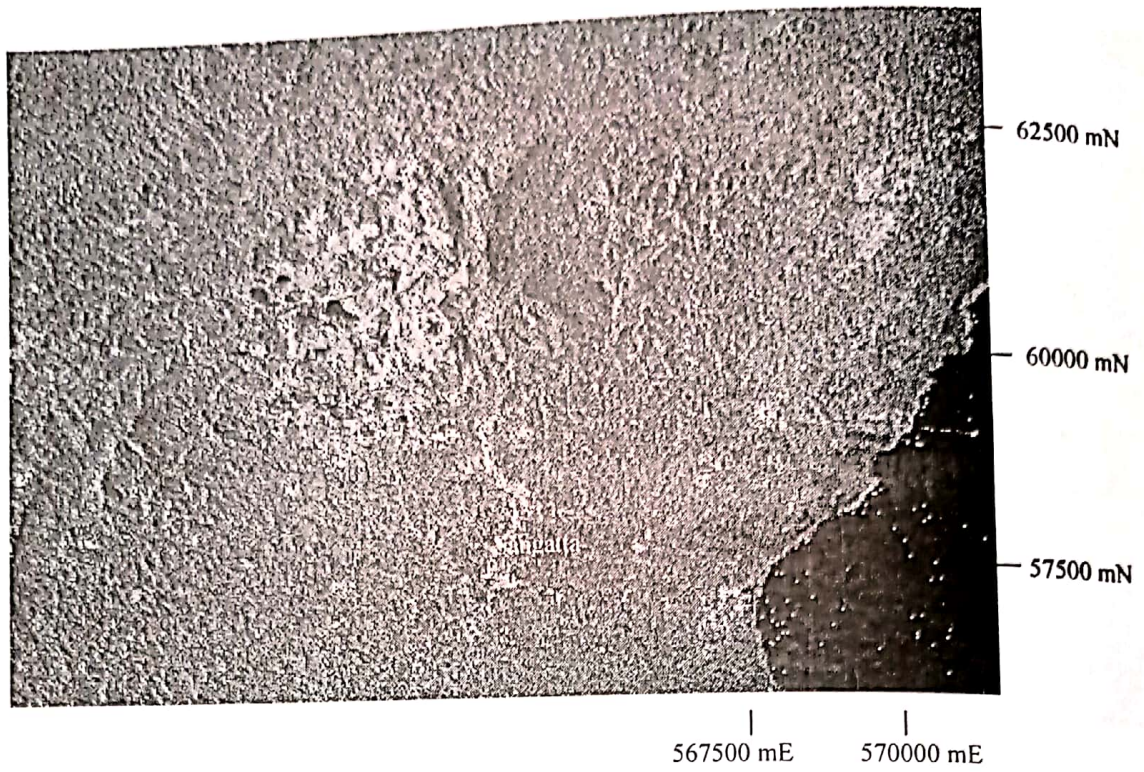
Gambar 3-1: Diagram blok teknik dan metode pengolahan dan analisis fusi data SAR Radarsat dan ETM plus Landsat untuk aplikasi ekstraksi informasi geologi pertambangan batubara



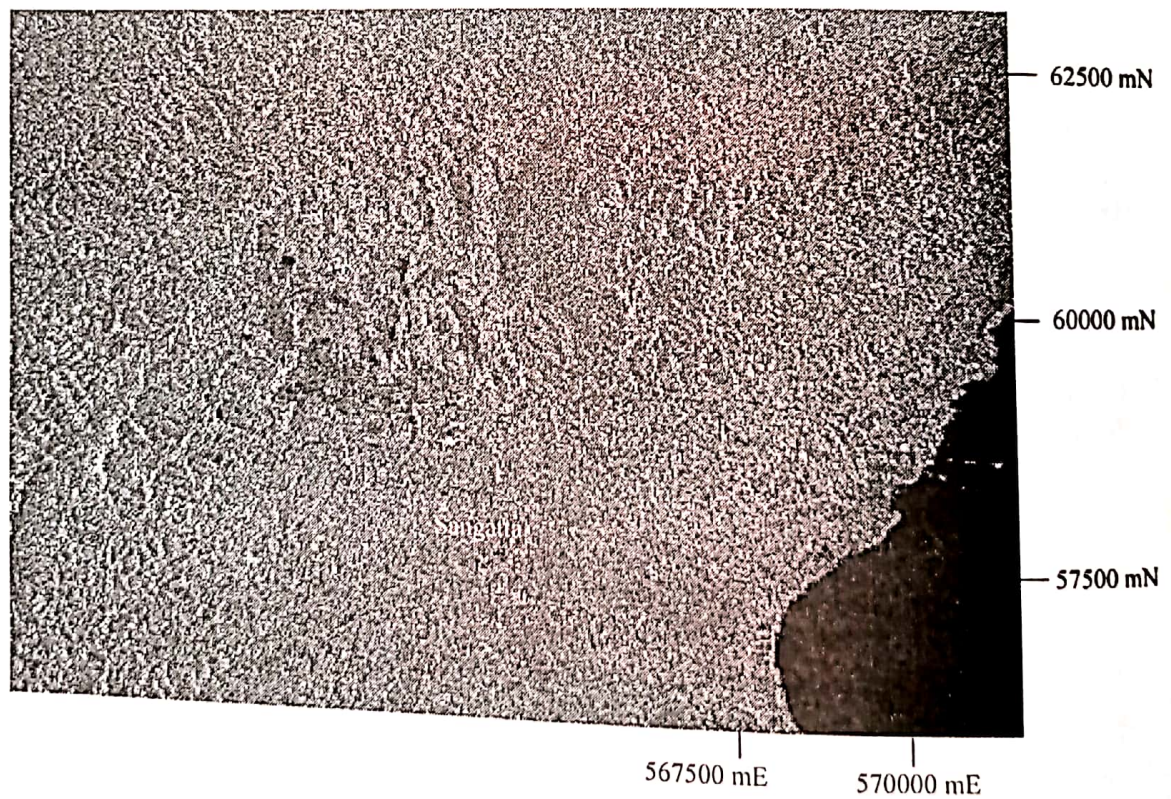
Gambar 3-2 : ETM-plus Landsat RGB 541



Gambar 3-3 : Citra SAR Radarsat



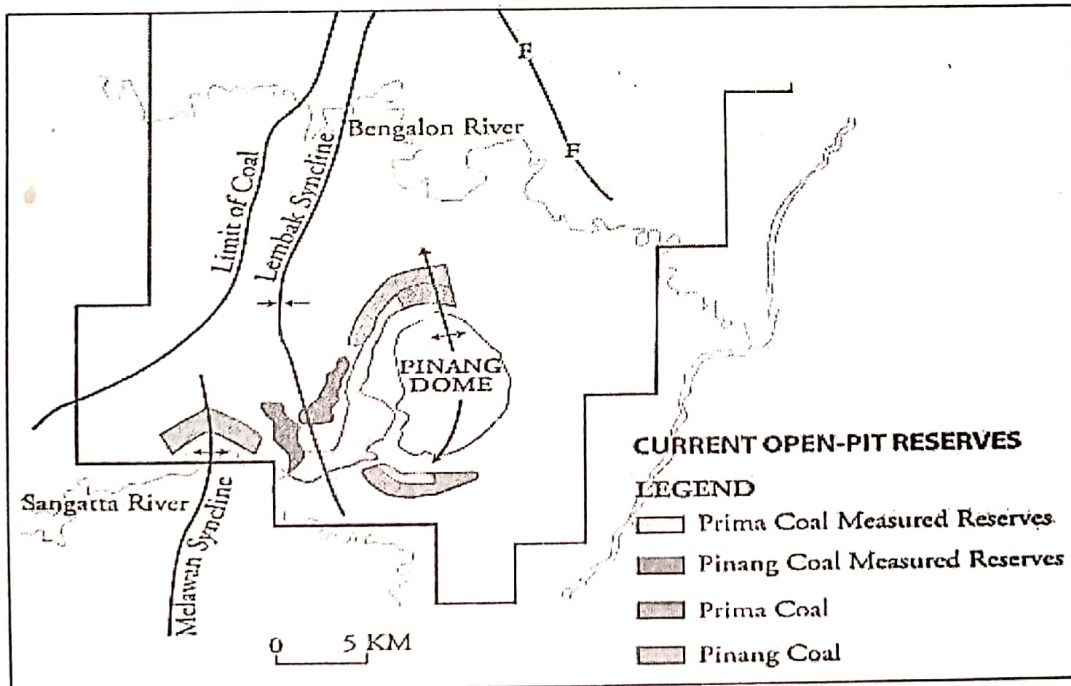
Gambar 4-1 : Hasil fusi HIS



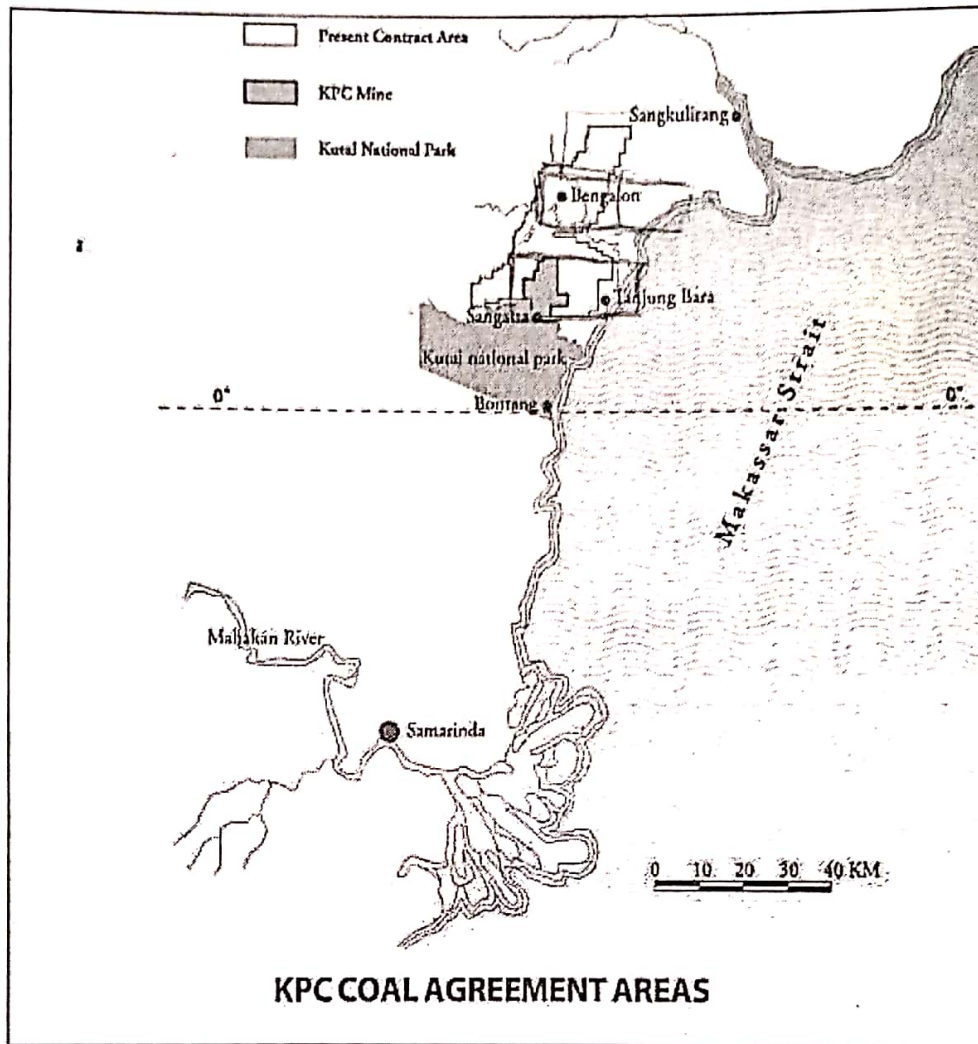
Gambar 4-2 : Hasil fusi color normalization



Gambar 4-3 : Hasil fusi komponen utama



Gambar 4-4: Struktur geologi global di kawasan pertambangan



Gambar 4-5: Area PT KPC di Kalimantan Timur