



Analisis Pengaruh Perubahan Kerapatan Vegetasi Terhadap Suhu Permukaan Karena Kegiatan Pertambangan Menggunakan Citra Satelit Multiwaktu (Studi Kasus: PT. AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA)

Analysis the Effect of Vegetation Density Changes on Surface Temperature due to Mining Activities Using Multitemporal Satellite Imagery (Case Study: PT. Amman Mineral Nusa Tenggara)

Bayu Wisnu Putra¹, Djurdjani²

¹Alumni Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, Indonesia

² Staf Pengajar Departemen Teknik Geodesi FT-UGM, Indonesia

Penulis Korespondensi: Djurdjani | Email: djurdjani@ugm.ac.id

Diterima (Received): 13/Feb/2020 Direvisi (Revised): 31/May/2020 Diterima untuk Publikasi (Accepted): 1/Jun/2020

ABSTRAK

PT. Amman Mineral Nusa Tenggara (PT. AMNT) merupakan perusahaan pertambangan di Indonesia yang mengoperasikan tambang Batu Hijau. Kegiatan pertambangan dapat menyebabkan perubahan tutupan vegetasi dan dapat berpengaruh pada suhu permukaan. Studi ini bertujuan untuk menentukan seberapa jauh pengaruh kegiatan pertambangan terhadap kerapatan vegetasi dan suhu permukaan. Perubahan kerapatan vegetasi dan suhu permukaan di daerah pertambangan dapat dideteksi menggunakan pemrosesan citra satelit dengan waktu perekaman yang berbeda. Data yang digunakan adalah 5 citra satelit yang direkam pada tahun 1998, 2004, 2008, 2014 dan 2018. Penyadapan indeks vegetasi dilakukan dengan menggunakan rumus NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Sementara itu perhitungan suhu permukaan menggunakan metoda Mono-window Brightness Temperature. Hasil pemrosesan digunakan untuk analisis perubahan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa kerapatan vegetasi di daerah pertambangan telah berkurang dan rata rata suhu telah meningkat. Berdasarkan analisis korelasi diperoleh bahwa pengurangan kerapatan vegetasi menyebabkan peningkatan suhu permukaan di daerah pertambangan PT. AMNT.

Kata Kunci: Remote Sensing, Tambang, Citra Satelit Landsat, Suhu permukaan, Indeks vegetasi

ABSTRACT

PT. Amman Mineral Nusa Tenggara (PT. AMNT) is an Indonesian mining company that operates the Batu Hijau mine. Mining activities can cause changes in vegetation cover and can have an impact on surface temperature. This study aims to determine how the impact of mining activities on vegetation density and surface temperature. The change in vegetation density and surface temperature in the mining area can be detected by processing of remote sensing satellite imagery with different data recording times. The data used are five Landsat satellite imagery in 1998, 2004, 2008, 2014 and 2018. Vegetation index extraction process is carried out using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) formula. While surface temperature extraction process is carried out using the Mono-window Brightness Temperature method. The results of the extraction process are then used to analyze the effect of vegetation density changes on surface temperature. The results of this study indicate that the vegetation density in the mining area has decreased and the average surface temperature has increased. The results of the correlation analysis showed that the decrease in the level of vegetation density caused the increase in surface temperature in the mining area of PT. AMNT.

Keywords: Remote Sensing, Mining, Landsat Satellite Imagery, Surface Temperature, Vegetation Index

© Author(s) 2020. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Kegiatan pertambangan di Indonesia berupa eksplorasi dan eksploitasi bahan galian mineral dan batubara telah berlangsung sejak lama. Hal tersebut disebabkan karena Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya

alam yang sangat melimpah, salah satunya berupa logam emas. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), jumlah cadangan logam emas di Indonesia pada tahun 2017 adalah sebesar 2357,28 ton. Seiring dengan kemajuan teknologi, kegiatan pertambangan sumber daya mineral dan batubara

menjadi semakin intensif dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti menurunnya produktivitas tanah, terjadinya erosi, dan menurunnya biodiversitas flora dan fauna (Kementerian ESDM, 2017).

Salah satu perusahaan pertambangan yang masih aktif beroperasi di Indonesia yaitu PT.Amman Mineral Nusa Tenggara (PT.AMNT). PT.AMNT adalah perusahaan tambang Indonesia yang mengoperasikan tambang Batu Hijau. Tambang Batu Hijau terletak di Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Tambang Batu Hijau merupakan tambang tembaga dan emas terbesar kedua di Indonesia dan merupakan tambang yang beroperasi dengan metode tambang terbuka. Kegiatan operasi pertambangan di tambang Batu Hijau telah dilakukan sejak tahun 2000 dan telah memproduksi sekitar 3,6 juta ton tembaga serta 8 juta ons emas (PT. Amman Mineral Nusa Tenggara, 2018).

Tambang terbuka secara umum didefinisikan sebagai kegiatan penambangan bahan galian yang berhubungan langsung dengan udara luar. Terdapat beberapa tahapan umum dalam kegiatan penambangan terbuka salah satunya yaitu pembersihan lahan (*land clearing*) (Indmira, 2015). Pembersihan lahan (*land clearing*) merupakan kegiatan yang dilakukan untuk membersihkan daerah yang akan ditambang dari semak belukar hingga pepohonan. Apabila area kegiatan penambangan semakin meluas, maka semakin bertambah pula lahan yang harus dibersihkan dan kemudian berdampak pada semakin berkurangnya vegetasi di lokasi pertambangan. Berkurangnya vegetasi dan pembersihan lahan akan menimbulkan perubahan ekosistem, perubahan habitat dan keanekaragaman hayati yang merupakan isu lingkungan utama akibat pertambangan (Balkau dan Parsons, 1999). Disamping itu berkurangnya lahan bervegetasi akan berpengaruh terhadap suhu permukaan (Rhee dkk, 2014). Hal tersebut disebabkan karena vegetasi mampu menyerap panas dari sinar matahari sehingga menurunkan suhu dan iklim mikro (Susanto, 2013).

Banyak penelitian yang menganalisis pengaruh tutupan lahan dengan suhu permukaan tanah. Sebagian besar penelitian menggunakan lokasi studi daerah urban/perkotaan. Beberapa peneliti menggunakan sensor pengukur suhu yang diletakkan di mobil bergerak menyusuri jalan jalan (Yamashita 1996 dalam Mallick dkk, 2008). Namun teknik ini memerlukan waktu yang lama dan ada problem ketika dilakukan interpolasi. Perkembangan teknologi satelit sumberdaya alam membuka alternatif analisis perubahan suhu permukaan akibat perubahan tutupan lahan dengan menggunakan citra satelit (Jianga dan Tiana, 2010; Lilly dkk, 2009). Penggunaan citra satelit resolusi menengah seperti *Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* untuk menganalisis hubungan suhu permukaan dengan tutupan lahan dilakukan oleh Qihao dkk (2004) ; Jianga dan Tiana (2010); Lilly dkk (2009); Mallick dkk (2008); Tarrick dkk (2020); Bobrinskaya (2012) dan Sun dkk (2012). Secara umum hasil yang diperoleh adalah kejarangan pepohonan di

perkotaan akan berpengaruh terhadap suhu permukaan (Jianga dan Tiana, 2010), berkurangnya daerah terbuka, tutupan vegetasi dan bertambahnya lahan terbangun akan meningkatkan fenomena suhu permukaan (Lilly dkk., 2009), tutupan vegetasi yang tidak bercampur akan memiliki korelasi negatif terhadap suhu permukaan (Qihao dkk., 2004), ada korelasi antara indeks vegetasi dengan suhu permukaan (Mallick dkk, 2008 dan Tarrick dkk, 2020), daerah perkotaan yang padat cenderung memiliki suhu lebih tinggi dibanding daerah pertanian (Bobrinskaya, 2012) dan daerah perkotaan yang padat serta daerah terbuka memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang tertutup vegetasi (Sun dk, 2012). Penggunaan citra satelit dengan resolusi yang lebih tinggi untuk analisis suhu permukaan dilakukan oleh Connors dkk (2013). Ia menggunakan citra ASTER yang beresolusi 2,5 m untuk menganalisa hubungan antara suhu permukaan dengan 3 macam pola spatial penggunaan lahan untuk pemukiman. Rhee dkk (2014) disamping menggunakan data Landsat juga menambahkan data LIDAR untuk menganalisis hubungan antara pola tutupan lahan dengan suhu permukaan. Hasil yang diperoleh adalah bahwa pola spatial tutupan lahan akan mempengaruhi suhu permukaan (Connors dkk., 2013 dan Rhee dkk., 2014).

Penelitian ini akan mengevaluasi seberapa besar perubahan suhu permukaan akibat kegiatan pertambangan PT.AMNT. Kegiatan pembersihan lahan akibat perluasan kegiatan pertambangan akan mengakibatkan berkurangnya tutupan lahan berupa vegetasi. Untuk itu pendekatan yang dilakukan adalah menganalisis kerapatan vegetasi terhadap perubahan suhu permukaan. Analisis menggunakan citra Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS pada waktu perekaman yang berbeda yaitu tahun 1998, 2004, 2008, 2014 dan 2018.

2. Data dan Metodologi

2.1. Data dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada area proyek tambang Batu Hijau PT.AMNT yang ditandai dengan batas bukaan lahan berdasarkan data pada bulan Juli 2019. Daerah tersebut berlokasi di Kecamatan Jereweh dan Kecamatan Sekongkang, Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Data yang digunakan pada penelitian yaitu lima data citra satelit Landsat *path 115 row 66*. Adapun data citra Landsat yang digunakan tersebut antara lain citra Landsat 5 TM tanggal perekaman 27 Mei 1998, citra Landsat 7 ETM+ tanggal perekaman 20 Juni 2004 dan tanggal 12 April 2008 dan citra Landsat OLI TIRS tanggal perekaman 7 Mei 2014 dan tanggal 2 Mei 2018. Kemudian digunakan pula data batas bukaan lahan tambang Batu Hijau PT. AMNT pada bulan Juli 2019 untuk pemotongan citra satelit dan data laporan iklim harian Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin Sumbawa pada bulan April, Mei dan Juni tahun 1998, 2004, 2008, 2014 dan 2018 untuk validasi perbedaan waktu perekaman

data citra terhadap suhu udara. Adapun gambaran posisi stasiun meteorologi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1.

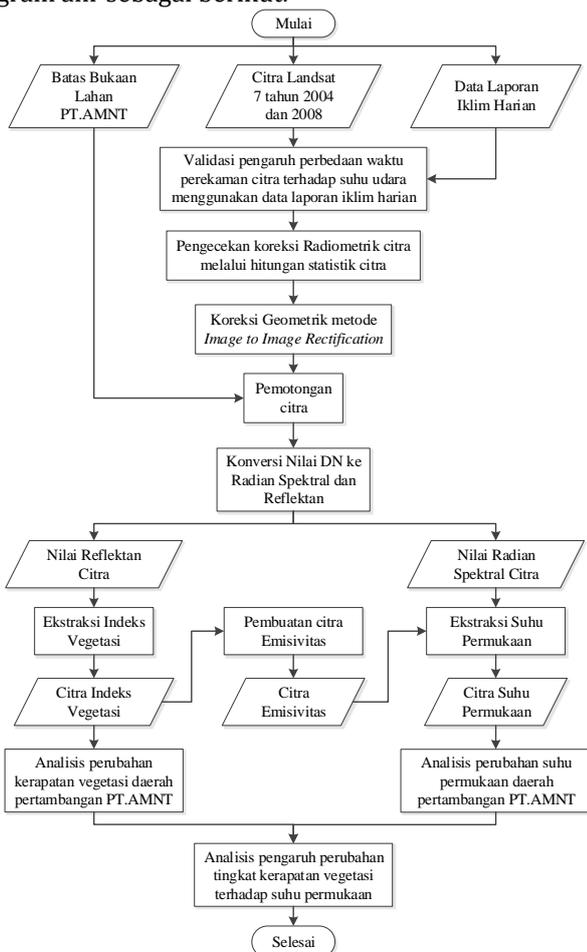
Perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data antara lain perangkat lunak ENVI 5.1 untuk ekstraksi indeks vegetasi dan suhu permukaan dari data citra satelit dan ArcGIS 10.3 untuk penghitungan luasan area hasil ekstraksi dan penyajian peta.



Gambar 2.1. Gambaran lokasi tambang PT. AMNT dan Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin

2.2. Metodologi

Tahap pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 2.2. Diagram alir penelitian

2.2.1. Persiapan

Adapun kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan antara lain meliputi penentuan lokasi penelitian, studi literature, persiapan bahan dan persiapan alat yang digunakan dalam penelitian.

2.2.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah lima scene data citra satelit Landsat *path* 115 row 66 yang antara lain terdiri atas satu data citra satelit Landsat 5 dengan tanggal perekaman 27 Mei 1998, dua data citra satelit Landsat 7 ETM+ dengan tanggal perekaman 20 Juni 2004 dan 12 April 2008 dan data citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS 7 Mei 2014 dan 2 Mei 2018. Citra satelit Landsat tersebut diperoleh dari *U.S. Geological Survey* dengan cara mengunduhnya melalui *website earthexplorer.usgs.gov*.

2.2.3. Validasi Pengaruh Perbedaan Waktu Perekaman Citra Terhadap Suhu Udara

Dari lima scene data citra satelit yang digunakan, diketahui bahwa terdapat perbedaan pada bulan perekaman data citra yaitu bulan April, Mei dan Juni. Untuk memastikan bahwa perbedaan bulan perekaman data tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap data hasil ekstraksi suhu permukaan, maka dilakukan validasi menggunakan data pengamatan suhu udara dari stasiun pengamatan suhu yang paling dekat dengan daerah penelitian. Data yang digunakan untuk validasi adalah data laporan iklim harian pada Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin yang berlokasi di Pulau Sumbawa. Data laporan iklim harian tersebut dapat diunduh melalui *website* Data Online-Pusat Database-BMKG (<http://dataonline.bmkg.go.id/>). Berdasarkan data laporan iklim harian tersebut, dapat dilakukan perhitungan nilai suhu rata-rata tiap bulan yang ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Daftar nilai suhu rata-rata tiap bulan perekaman data citra satelit berdasarkan hasil pengolahan data laporan iklim harian

Bulan	Nilai Suhu Rata tiap Tahun (°C)				
	1998	2004	2008	2014	2018
April	27,61	27,56	26,70	27,14	27,90
Mei	27,36	27,18	26,75	27,51	27,70
Juni	26,84	25,38	26,26	27,05	26,98

Berdasarkan Table 2.1 dapat diketahui bahwa selisih nilai rata-rata suhu udara terbesar terdapat pada tahun 2004 antara bulan April dan Juni yang mencapai 2,19 °C. Namun dilihat pada data lainnya, selisih nilai suhu udara antar bulan perekaman data masih berada di bawah 1°C. Maka dari itu, dapat diasumsikan bahwa perbedaan bulan perekaman data pada citra satelit yang digunakan tersebut

tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil ekstraksi suhu permukaan.

2.2.4. Pengecekan Radiometrik Citra

Pada tahap ini dilakukan pengecekan pada nilai radiometrik citra. Pengecekan dapat dilakukan dengan memperhatikan hasil hitungan nilai statistik citra. Proses hitungan nilai statistik citra dilakukan menggunakan perangkat lunak ENVI 5.1. Dari hasil hitungan statistik tersebut dapat dilihat bahwa nilai minimum hasil hitungan statistik seluruh band citra yang digunakan adalah 0 (nol). Hal ini menunjukkan bahwa citra yang digunakan telah memiliki nilai radiometrik yang baik.

2.2.5. Koreksi Geometrik Citra

Citra Landsat yang digunakan pada penelitian ini memiliki tipe data L1TP yang berarti pada data citra tersebut telah dilakukan koreksi geometrik. Hal tersebut dapat dibuktikan dari pengecekan metadata citra bahwa tiap data citra telah memiliki sistem proyeksi peta. Namun tetap diperlukan tahapan untuk memastikan bahwa objek-objek pada citra berada pada posisi yang sama. Penyamaan posisi antara citra yang satu dengan citra lainnya dapat dilakukan melalui proses *image to image rectification* atau dikenal juga dengan proses registrasi. Pada proses registrasi, data citra yang digunakan sebagai acuan untuk mengoreksi 4 data citra lainnya adalah citra dengan tanggal perekaman 2 Mei 2018.

Proses registrasi dilakukan menggunakan fungsi *Registration* pada perangkat lunak ENVI 5.1 mode *Classic*. Pada proses registrasi, digunakan titik kontrol atau GCP sebanyak 5 titik. Jumlah titik kontrol tersebut telah memenuhi minimal titik kontrol untuk menyelesaikan persamaan transformasi yang digunakan yaitu transformasi Affine dengan minimal titik kontrol sebanyak 3 titik. Hasil dari proses penentuan titik kontrol untuk transformasi harus memenuhi syarat nilai RMSE (Root Mean Square Error) ≤ 1 piksel (Purwadhi, 2001 dalam Parmadi dan Sukojo, 2016).

2.2.6. Pemotongan Citra Daerah Penelitian

Pemotongan citra dimaksudkan agar penelitian lebih terfokus pada daerah tertentu sesuai dengan tujuan penelitian. Daerah yang dimaksud pada penelitian ini yaitu area proyek tambang Batu Hijau PT. AMNT yang ditandai dengan batas bukaan lahan berdasarkan data pada bulan Juli 2019. Area tersebut merupakan daerah yang dibatasi oleh garis merah seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.3.

Proses pemotongan citra menggunakan data vektor batas bukaan lahan tambang Batu Hijau PT. AMNT yang meliputi area lubang tambang, area disposal, area pengelolaan air asam tambang dan area *concentrator* atau area pengolahan bijih. Proses pemotongan citra dilakukan

menggunakan perangkat lunak ENVI 5.1 menggunakan fungsi *masking*.



Gambar 2.3. Batas area tambang Batu Hijau PT. AMNT

2.2.7. Konversi Nilai Digital Number (DN) ke Radian Spektral dan Reflektan

Pada tahap ini dilakukan pengolahan untuk mengubah nilai *digital number (DN)* pada citra menjadi nilai radian spektral dan nilai reflektan. Proses ini hanya dilakukan pada band citra yang dibutuhkan untuk proses ekstraksi indeks vegetasi dan suhu permukaan.

Untuk ekstraksi indeks vegetasi, dibutuhkan proses konversi dari nilai DN ke nilai reflektan terhadap band merah dan band *near infrared*. Band yang digunakan untuk proses ekstraksi indeks vegetasi yaitu band 3 dan band 4 untuk citra Landsat 5 dan Landsat 7. Sementara untuk citra Landsat 8 dilakukan terhadap band 4 dan band 5. Untuk ekstraksi suhu permukaan, dibutuhkan konversi nilai DN ke nilai radian spektral terhadap band termal citra. Band termal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu band 6 untuk citra Landsat 5, band 6.1 untuk citra Landsat 7 dan band 10 untuk citra Landsat 8.

2.2.7.1. Konversi Nilai DN ke Radian Spektral

Pada proses konversi nilai DN ke nilai radian spektral, terdapat perbedaan dalam hal formula yang digunakan untuk tiap produk citra Landsat. Untuk citra Landsat 5 dan Landsat 7, konversi DN ke nilai radian spektral dilakukan dengan menggunakan formula sebagai berikut (U.S. Geological Survey, 2018a):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad (1)$$

Keterangan :

L_{λ} = Nilai radian spektral ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)

$QCAL$ = Nilai piksel (DN)

$LMIN_{\lambda}$ = Nilai minimum radian spektral ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)
($RADIANCE_MINIMUM_BAND_X$, dimana X adalah band yang digunakan)

$LMAX_{\lambda}$ = Nilai maksimum radian spektral ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)

(RADIANCE_MAXIMUM_BAND_ X, dimana X adalah band yang digunakan)
 $QCALMIN$ = Nilai minimum piksel (DN)
 (QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_ X, dimana X adalah band yang digunakan)
 $QCALMAX$ = Nilai maksimum piksel (DN)
 (QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_ X, dimana X adalah band yang digunakan)

Untuk citra Landsat 8, konversi DN ke nilai radian spektral dilakukan dengan menggunakan formula sebagai berikut (U.S. Geological Survey, 2019):

$$L_{\lambda} = ML * QCAL + AL \quad (2)$$

Keterangan :

L_{λ} = Radian spektral pada sensor ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)
 $QCAL$ = Nilai piksel (DN)
 ML = Konstanta *rescaling* (RADIANCE_MULT_BAND_X, dimana X adalah band yang digunakan)
 AL = Konstanta penambah (RADIANCE_ADD_BAND_X, dimana X adalah band yang digunakan)

2.2.7.2. Konversi Nilai DN ke Reflektan

Dalam proses konversi nilai DN ke nilai reflektan juga terdapat perbedaan dalam hal formula yang digunakan untuk tiap produk citra Landsat. Untuk citra Landsat 5 dan Landsat 7, nilai reflektan didapatkan dari hasil konversi nilai DN ke nilai radian spektral dan dikonversi lagi menjadi nilai reflektan dengan menggunakan formula sebagai berikut (U.S. Geological Survey, 2018a):

$$\rho_p = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos\theta_{sz}} \quad (3)$$

Keterangan :

ρ_p = Nilai reflektan (tanpa unit)
 π = Konstanta matematika (~3,14159)
 L_{λ} = Nilai radian spektral ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)
 d = Jarak bumi-matahari dalam unit astronomi (EARTH_SUN_DISTANCE)
 $ESUN_{\lambda}$ = Nilai rata-rata *solar exo-atmospheric irradiance* ($W/(m^2 * \mu m)$).
 θ_{sz} = Sudut zenith matahari; $\theta_{sz} = 90^{\circ} - \theta_{se}$
 θ_{se} = Sudut elevasi matahari ketika perekaman, diperoleh dari metadata

Untuk citra Landsat 8, konversi DN ke nilai reflektan dilakukan langsung dengan menggunakan formula sebagai berikut (U.S. Geological Survey, 2019):

$$\rho_{\lambda}' = M_p * QCAL + A_p \quad (4)$$

Keterangan:

ρ_{λ}' = Nilai reflektan citra, tanpa koreksi untuk sudut Matahari

$QCAL$ = Nilai piksel (DN)
 M_p = konstanta *rescaling* (REFLECTANCE_MULT_BAND_X, dimana X adalah band yang digunakan)
 A_p = konstanta penambah (REFLECTANCE_ADD_BAND_X, dimana X adalah band yang digunakan)
 Kemudian dilakukan koreksi sudut matahari terhadap nilai reflektan citra Landsat 8 dengan menggunakan formula sebagai berikut (U.S. Geological Survey, 2019):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\cos(\theta_{sz})} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\sin(\theta_{se})} \quad (5)$$

Keterangan :

ρ_{λ} = TOA *planetary reflectance* (tanpa unit)
 ρ_{λ}' = Nilai reflektan citra, tanpa koreksi untuk sudut Matahari
 θ_{se} = Sudut elevasi matahari ketika perekaman, diperoleh dari metadata
 θ_{sz} = Sudut zenith matahari; $\theta_{sz} = 90^{\circ} - \theta_{se}$

2.2.8. Ekstraksi Nilai Indeks Vegetasi

Pada proses ini dilakukan ekstraksi nilai indeks vegetasi menggunakan nilai reflektan band merah dan band *near infrared*. Ekstraksi nilai indeks vegetasi menggunakan formula NDVI yang secara matematis dituliskan sebagai berikut:

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

dimana NIR merupakan radiasi pantulan sinar *near infrared* dan R merupakan radiasi pantulan sinar tampak band merah.

2.2.9. Pengolahan Citra Emisivitas

Salah satu cara untuk mendapatkan nilai emisivitas permukaan adalah melalui pengolahan nilai indeks vegetasi. Adapun formula yang digunakan untuk mencari nilai emisivitas permukaan dari nilai indeks vegetasi adalah sebagai berikut (Valor dan Caselles, 1996) :

$$\varepsilon = 0,985 P_v + 0,960 (1 - P_v) + 0,06 P_v(1 - P_v) \quad (7)$$

Keterangan:

ε = Emisivitas permukaan (tanpa unit)
 P_v = Fraksi Vegetasi

Fraksi vegetasi (P_v) memiliki nilai yang bervariasi dari 0 sampai dengan 1. Nilai P_v dapat diperoleh dengan cara menskalakan nilai NDVI untuk meminimalkan gangguan dari kondisi yang lembab dan fluks energi permukaan. Nilai tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Fawzi, 2014) :

$$P_V = \left[\frac{[NDVI] - NDVI_S}{NDVI_V - NDVI_S} \right]^2 \quad (8)$$

Keterangan:

P_V = Fraksi Vegetasi

$NDVI$ = Nilai indeks vegetasi (NDVI)

$NDVI_S$ = Nilai NDVI tanah kosong atau NDVI minimum

$NDVI_V$ = Nilai NDVI vegetasi atau NDVI maksimum

2.2.9. Ekstraksi Suhu Permukaan

Salah satu metode untuk melakukan estimasi suhu permukaan yaitu metode *mono-window brightness temperature*. *Mono-window brightness temperature* merupakan metode estimasi suhu permukaan dengan melibatkan satu saluran termal pada tiap data citra satelit. Adapun tahapan dalam melakukan estimasi suhu permukaan menggunakan data citra satelit Landsat adalah sebagai berikut:

2.2.9.1. Konversi Nilai Radian Spektral ke Suhu Kecerahan

Nilai radian spektral yang telah terkoreksi atmosfer (L_{TOA}) dapat dikonversi menjadi nilai suhu kecerahan pada sensor dengan menggunakan persamaan Planck sebagai berikut (U.S. Geological Survey, 2019):

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{TOA}} + 1\right)} \quad (9)$$

Keterangan:

TB = Suhu kecerahan (K)

L_{TOA} = Radian spektral ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)

K_2 = Konstanta kalibrasi 1 (K) ($K1_CONSTANT_BAND_x$, dimana x merupakan nomor band termal)

K_1 = Konstanta kalibrasi 2 (K) ($K2_CONSTANT_BAND_x$, dimana x merupakan nomor band termal)

2.2.9.2. Konversi Suhu Kecerahan ke Suhu Permukaan

Suhu permukaan yang kemudian dilakukan koreksi nilai emisivitas dapat diestimasi menggunakan persamaan sebagai berikut (Rongali dkk, 2018):

$$LST = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda T_B}{\rho}\right) \ln(\epsilon)} \quad (10)$$

Keterangan:

LST = Suhu permukaan (K)

T_B = Suhu kecerahan (K)

λ = Panjang gelombang band termal (μm)

ρ = $h \times (c/\sigma) = 1,438 \times 10^{-2} (mK) = 14380 \mu mK$

h = Konstanta Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ (JS)

c = Kecepatan cahaya = $2,998 \times 10^8$ m/s

σ = Konstanta Stephan Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

ϵ = Emisivitas permukaan (tanpa unit)

2.2.10. Klasifikasi Hasil Ekstraksi Indeks Vegetasi dan Suhu Permukaan

Pada tahapan ini dilakukan klasifikasi rentang nilai indeks vegetasi dan suhu permukaan. Proses klasifikasi ini dilakukan menggunakan fungsi *symbology* pada perangkat lunak ArcGIS 10.3. Dengan melakukan proses klasifikasi, perbedaan tingkat kerapatan vegetasi dan suhu permukaan dapat diamati dengan jelas secara visual dan memudahkan proses interpretasi. Hasil dari proses tersebut kemudian digunakan untuk melakukan penghitungan luasan area tiap kelas tingkat kerapatan vegetasi dan interval suhu permukaan untuk keperluan analisis korelasi.

2.2.11. Analisis Korelasi

Pada tahapan ini dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui bagaimana hubungan antara perubahan tingkat kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan pada area penelitian. Korelasi merupakan angka yang menunjukkan arah dan kuatnya hubungan antar dua variabel atau lebih. Arah dinyatakan dalam bentuk hubungan positif (berbanding lurus) atau negatif (berlawanan), sedangkan kuatnya hubungan dinyatakan dalam besarnya koefisien korelasi (Sugiyono, 2007). Adapun persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung nilai korelasi adalah sebagai berikut (Sugiyono, 2007):

$$r_{xy} = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{\Sigma x^2 \Sigma y^2}} = \frac{\Sigma (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma (x_i - \bar{x})^2 \Sigma (y_i - \bar{y})^2}} \quad (11)$$

Keterangan:

r_{xy} = Korelasi antara variabel x dengan y

x_i = Nilai x untuk data ke-i

\bar{x} = Rata-rata nilai x

y_i = Nilai y untuk data ke-i

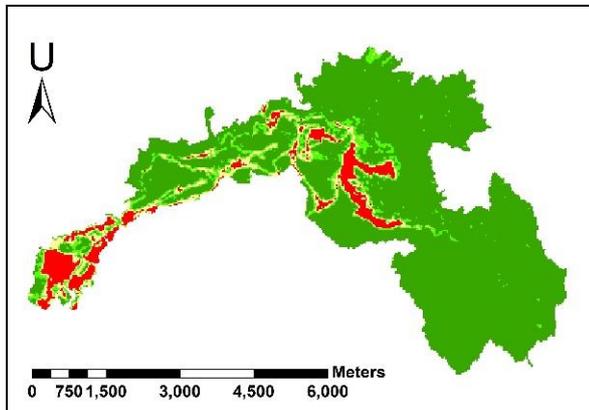
\bar{y} = Rata-rata nilai y

3. Hasil dan Pembahasan

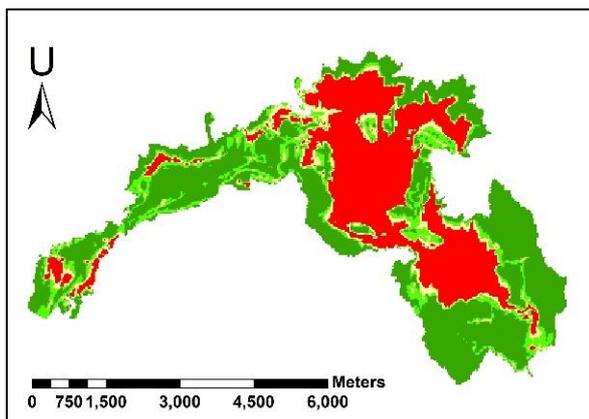
3.1. Analisis Perubahan Tutupan Vegetasi

Pada penelitian ini dilakukan proses ekstraksi indeks vegetasi menggunakan formula NDVI. Proses tersebut menggunakan data nilai reflektan band merah dan band *near infrared* citra Landsat. Hasil dari operasi formula NDVI akan menghasilkan nilai piksel yang berbeda-beda tergantung kenampakan vegetasi yang ada. Nilai piksel sekitar 0,1 atau kurang menggambarkan daerah batuan dan pasir, nilai piksel 0,2 sampai 0,5 menggambarkan daerah dengan vegetasi jarang seperti semak belukar atau padang rumput, dan nilai piksel 0,6 sampai 0,9 menggambarkan daerah dengan vegetasi lebat seperti hutan beriklim tropis (U.S. Geological Survey, 2018b).

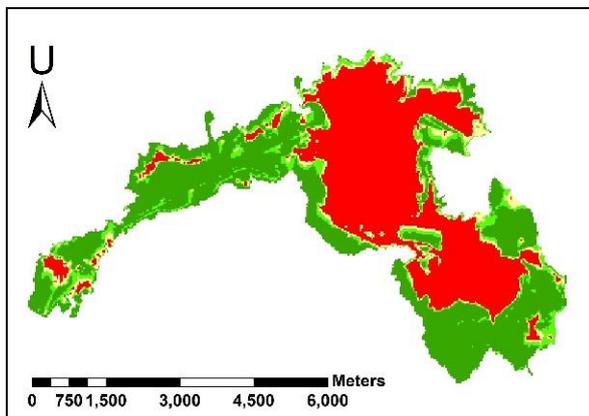
Berdasarkan nilai-nilai piksel tersebut, hasil ekstraksi indeks vegetasi kemudian diklasifikasikan menjadi 4 kelas tingkat kerapatan vegetasi dengan rentang tertentu. Kelas-kelas tingkat kerapatan vegetasi tersebut beserta rentang nilai indeks vegetasinya antara lain yaitu kelas non vegetasi ($NDVI \leq 0,15$), kelas kerapatan vegetasi rendah ($0,15 < NDVI \leq 0,35$), kelas kerapatan vegetasi sedang ($0,35 < NDVI \leq 0,55$) dan kelas kerapatan vegetasi tinggi ($NDVI > 0,55$). Hasil klasifikasi tersebut ditampilkan melalui Gambar 3.1.



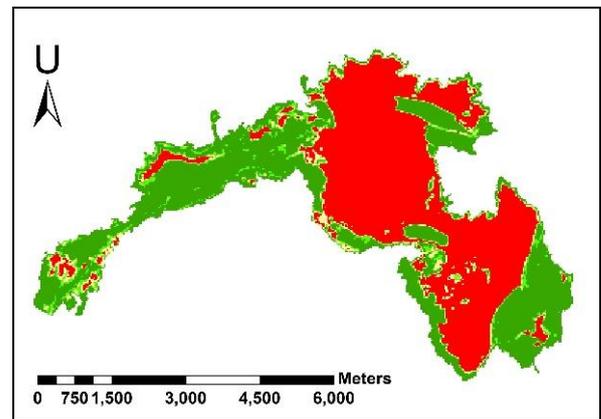
(a)



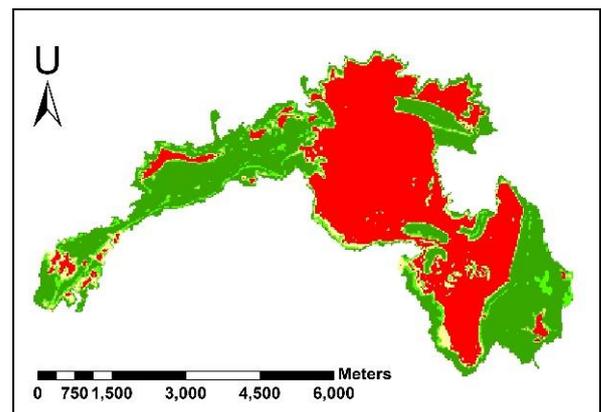
(b)



(c)



(d)



(e)

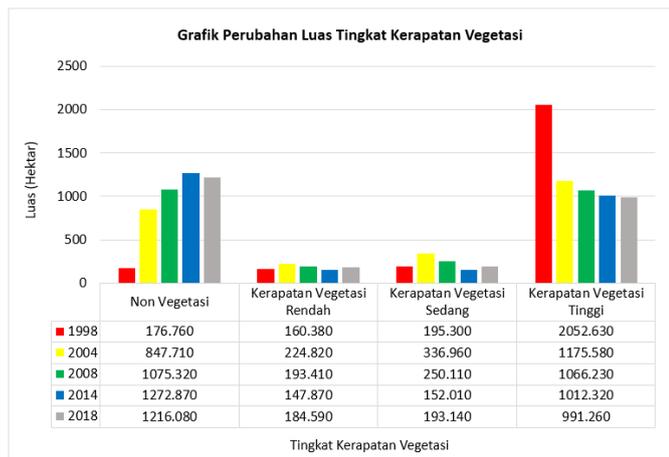
Keterangan :

- Non Vegetasi
- Kerapatan Vegetasi Rendah
- Kerapatan Vegetasi Sedang
- Kerapatan Vegetasi Tinggi

Gambar 3.1. Hasil klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi area pertambangan PT. AMNT. (a) Tanggal 27 Mei 1998; (b) Tanggal 20 Juni 2004; (c) Tanggal 12 April 2008; (d) Tanggal 7 Mei 2014; (e) Tanggal 2 Mei 2018

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat bahwa tingkat kerapatan vegetasi pada area pertambangan PT. AMNT mengalami perubahan tiap tahunnya. Adapun kenampakan tingkat kerapatan vegetasi yang dominan pada gambar tersebut yaitu kelas non vegetasi dan kelas kerapatan vegetasi tinggi. Kelas non vegetasi dari tahun ke tahun terlihat semakin meluas menunjukkan adanya proses pembebasan lahan dari vegetasi penutup yang merupakan tahapan awal kegiatan operasi pertambangan. Kelas non vegetasi tersebut secara umum mewakili kenampakan daerah lubang tambang dan daerah timbunan material batuan. Sebaliknya untuk kelas

kerapatan vegetasi tinggi dari tahun ke tahun semakin berkurang akibat adanya kegiatan operasi pertambangan. Untuk kelas kerapatan vegetasi rendah dan kerapatan vegetasi sedang kenampakan luasnya tidak terlalu dominan dari tahun ke tahun. Kedua kelas tersebut secara umum terdistribusi di antara batas kelas non vegetasi dan kelas kerapatan vegetasi tinggi. Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa kedua kelas tersebut menggambarkan area transisi dari daerah tanpa tutupan vegetasi ke daerah dengan kerapatan vegetasi tinggi. Adapun hasil hitungan luasan tiap kelas kerapatan vegetasi dari tahun ke tahun ditampilkan melalui Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Grafik perubahan luas tingkat kerapatan vegetasi

Dari tampilan grafik pada Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa luasan untuk tiap kelas kerapatan vegetasi selalu mengalami perubahan dari tahun ke tahun. Untuk luasan kelas non vegetasi dari tahun 1998 sampai 2014 selalu mengalami peningkatan. Peningkatan yang paling signifikan terjadi pada tahun 2004. Hal tersebut dapat disebabkan pada rentang tahun 1998 sampai 2004 merupakan awal kegiatan operasi pertambangan yang menyebabkan kegiatan pembebasan lahan dari vegetasi penutup sangat banyak dilakukan. Namun kelas non vegetasi mengalami sedikit penurunan pada tahun 2018. Penurunan ini dapat disebabkan karena adanya sebagian daerah tanpa tutupan vegetasi pada wilayah timbunan batuan yang diubah menjadi daerah yang memiliki tutupan vegetasi melalui kegiatan reklamasi lahan. Kemudian, untuk luasan kelas kerapatan vegetasi rendah dan kerapatan vegetasi sedang dilihat dari tampilan grafik cenderung fluktuatif dari tahun ke tahun. Dapat dilihat pula bahwa kedua kelas kerapatan vegetasi tersebut memiliki porsi luasan yang sangat sedikit jika dibandingkan dengan kelas non vegetasi dan kelas kerapatan vegetasi tinggi. Kemudian, untuk luasan kelas kerapatan vegetasi tinggi selalu mengalami penurunan dari tahun 1998 ke tahun 2018. Penurunan yang paling signifikan terjadi pada tahun 2004. Hal tersebut sebagai

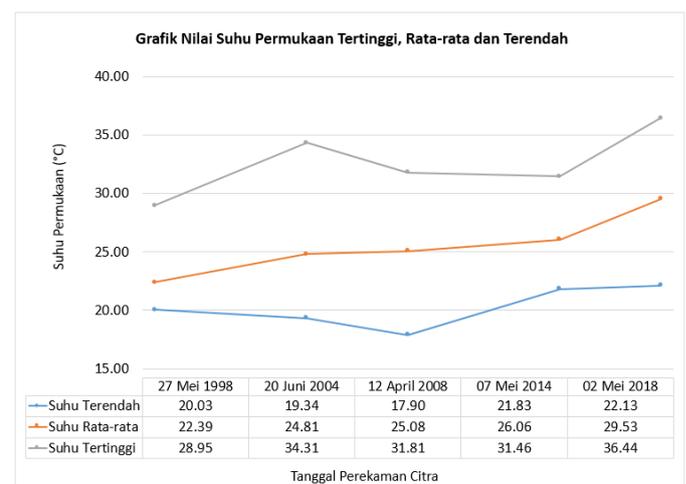
mana kelas non vegetasi, disebabkan karena kegiatan pembebasan lahan dari vegetasi penutup. Namun untuk tahun 2008 ke tahun 2018, penurunan yang terjadi untuk kelas kerapatan vegetasi tinggi tidak terlalu signifikan. Dari data grafik pada kelas non vegetasi yang secara umum semakin meningkat dan data grafik pada kelas kerapatan vegetasi tinggi yang semakin menurun, maka dapat disimpulkan bahwa area dengan tutupan vegetasi pada kawasan pertambangan PT. AMNT mengalami pengurangan dari tahun ke tahun.

3.2. Analisis Perubahan Suhu Permukaan

Proses ekstraksi suhu permukaan dilakukan menggunakan metode *Mono Window Algorithm*. Ekstraksi suhu permukaan dengan metode tersebut menggunakan satu band termal pada tiap citra Landsat. Band termal yang digunakan yaitu band 6 untuk citra Landsat 5, band 6.1 untuk citra Landsat 7, dan band 10 untuk citra Landsat 8. Dalam proses ekstraksi suhu permukaan juga dilakukan pembuatan citra emisivitas. Citra emisivitas diperlukan sebagai salah satu parameter untuk mengoperasikan persamaan ekstraksi suhu permukaan. Dalam penelitian ini, nilai emisivitas didapatkan dari pengolahan nilai indeks vegetasi. Setelah beberapa proses tersebut dilakukan, nilai radian spektral citra kemudian dapat dikonversi menjadi suhu kecerahan. Suhu kecerahan kemudian dikonversi menjadi suhu permukaan dalam satuan Kelvin yang kemudian dikonversi ke satuan derajat Celcius.

Citra suhu permukaan dalam satuan derajat Celcius kemudian dianalisis untuk mengetahui bagaimana perubahan suhu permukaan pada daerah penelitian.

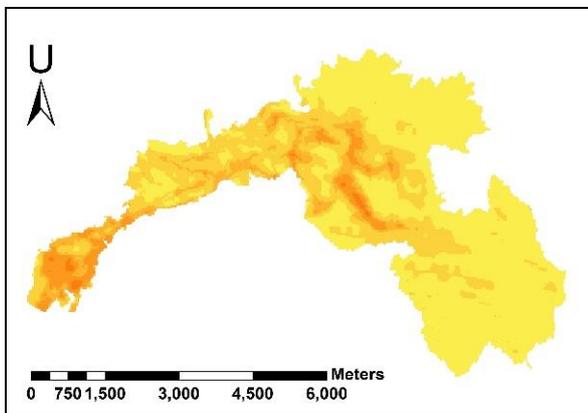
Analisis ini diawali dengan mengamati nilai statistik tiap citra suhu permukaan. Nilai statistik yang diamati dalam tahap ini antara lain nilai suhu tertinggi, suhu terendah dan suhu rata-rata pada tiap data citra suhu permukaan. Nilai-nilai tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



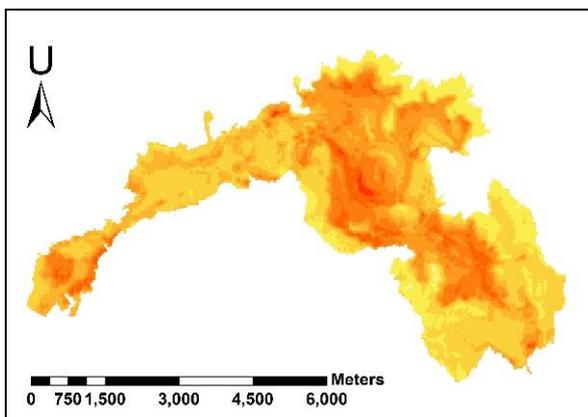
Gambar 3.3. Grafik nilai suhu permukaan tertinggi, rata-rata dan terendah

Berdasarkan tampilan grafik pada Gambar 3.3 tersebut dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan untuk nilai suhu tertinggi, suhu terendah dan suhu rata-rata pada tiap tahun perekaman citra. Pada tampilan grafik dapat dilihat pula bahwa nilai suhu tertinggi dan suhu terendah mengalami peningkatan dan penurunan dari tahun ke tahun. Namun untuk nilai suhu rata-rata terlihat selalu mengalami peningkatan. Hal ini dapat menjadi salah satu acuan untuk menyimpulkan bahwa telah terjadi peningkatan suhu permukaan pada daerah penelitian.

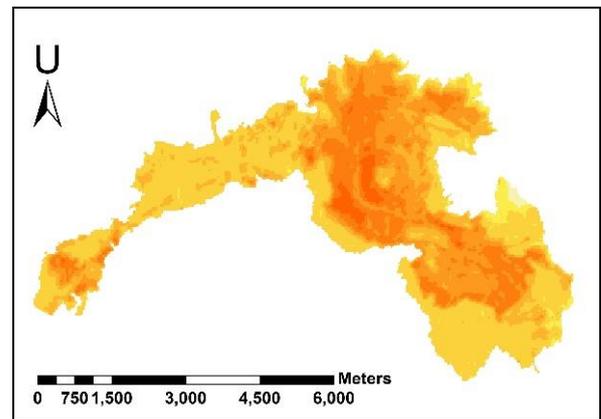
Kemudian tahap analisis dilanjutkan dengan melakukan proses klasifikasi terhadap citra suhu permukaan. Proses klasifikasi ini bertujuan untuk menampilkan citra suhu permukaan ke dalam beberapa interval suhu tertentu. Dalam penelitian ini, tiap citra suhu permukaan dalam satuan derajat Celcius diklasifikasikan menjadi 8 kelas menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.3. Adapun tampilan hasil klasifikasi citra suhu permukaan ditampilkan melalui Gambar 3.4.



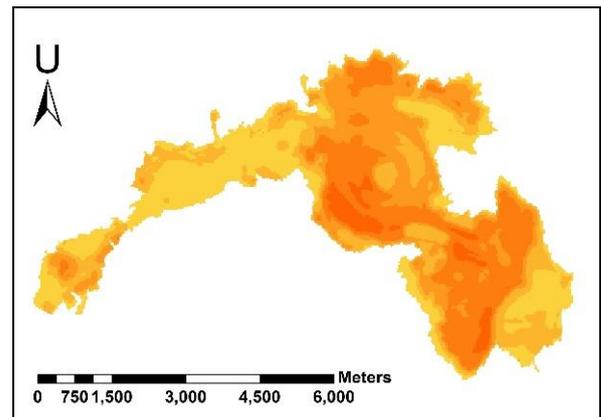
(a)



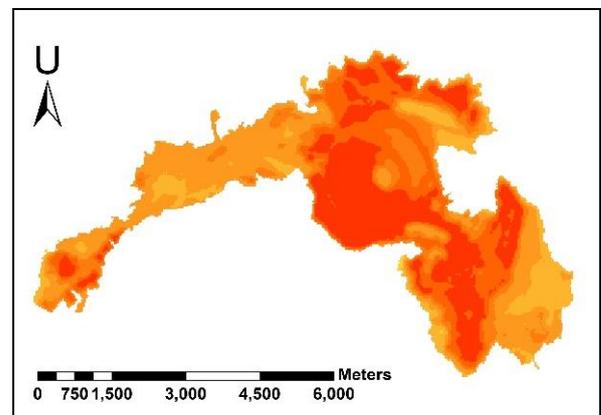
(b)



(c)



(d)



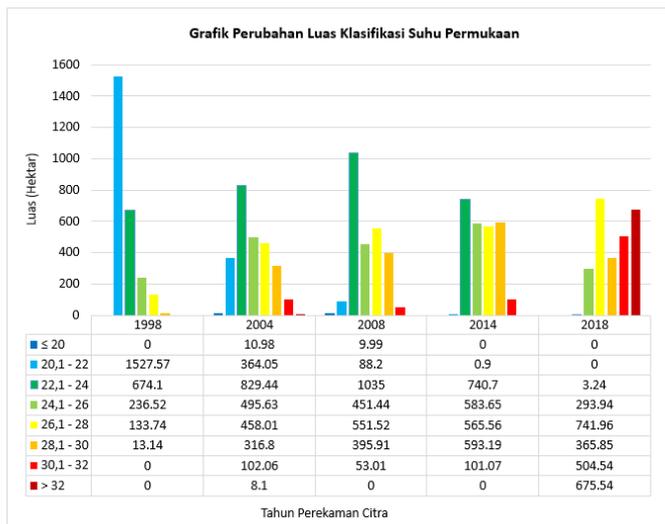
(e)

Keterangan :

- > 32°C
- 30,1°C - 32°C
- 28,1°C - 30°C
- 26,1°C - 28°C
- 24,1°C - 26°C
- 22,1°C - 24°C
- 20,1°C - 22°C
- ≤ 20°C

Gambar 3.4. Hasil klasifikasi suhu permukaan pada area pertambangan PT. AMNT. (a) Tanggal 27 Mei 1998; (b) Tanggal 20 Juni 2004; (c) Tanggal 12 April 2008; (d) Tanggal 7 Mei 2014; (e) Tanggal 2 Mei 2018

Dari tampilan Gambar 3.4 dapat dilihat bahwa kenampakan suhu permukaan mengalami perubahan dari tahun ke tahun. Apabila dilihat dari kenampakan hasil klasifikasi, tampilan citra suhu permukaan yang didominasi oleh interval suhu tertinggi berada di tahun 2018, sedangkan tampilan suhu permukaan yang didominasi oleh interval suhu terendah berada di tahun 1998. Kemudian dapat dilihat pula bahwa sepanjang tahun pengamatan, distribusi suhu permukaan dengan interval suhu yang lebih rendah semakin berkurang dari tahun ke tahun. Sebaliknya distribusi suhu permukaan dengan interval yang lebih tinggi semakin meningkat dari tahun ke tahun. Untuk memperjelas bagaimana perubahan distribusi tiap interval suhu permukaan, maka dilakukan perhitungan luasan area dari tampilan hasil klasifikasi suhu permukaan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.3. Hasil perhitungan tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.5 yang memuat data tentang perubahan luasan tiap interval suhu permukaan.



Gambar 3.5. Grafik perubahan luasan tiap interval suhu permukaan

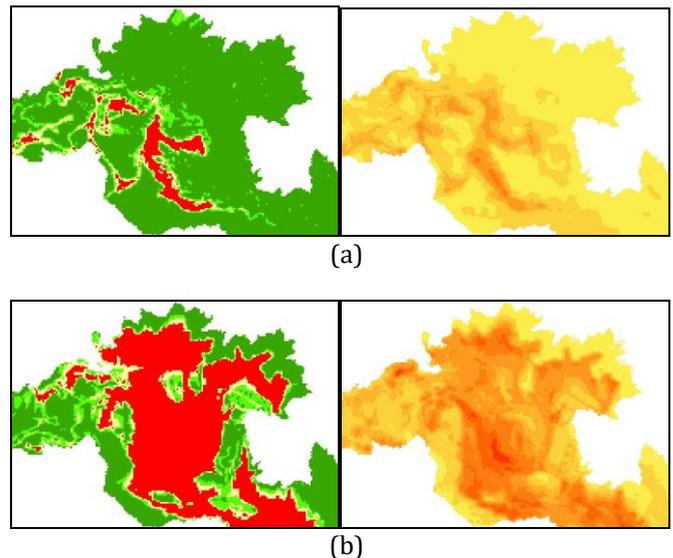
Berdasarkan Gambar 3.5, dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan luasan untuk area dengan interval suhu yang lebih rendah seperti interval 20,1°C - 22°C dan 22,1°C - 24°C. Sebaliknya, untuk area dengan interval suhu yang lebih tinggi seperti interval 26,1°C - 28°C; 28,1°C - 30°C dan 30,1°C - 32°C terus mengalami peningkatan luasan. Kondisi tersebut menandakan adanya peningkatan suhu permukaan pada daerah penelitian. Peningkatan suhu ditandai dengan semakin berkurangnya luasan area untuk suhu yang lebih rendah dan meningkatnya luasan area untuk suhu yang lebih tinggi. Oleh karena itu, dapat

disimpulkan bahwa terjadi peningkatan suhu permukaan pada area penelitian akibat kegiatan pertambangan PT. AMNT.

3.3. Analisis Pengaruh Perubahan Kerapatan Vegetasi Terhadap Suhu Permukaan

Berdasarkan hasil ekstraksi dan pengolahan nilai indeks vegetasi dan suhu permukaan, dapat diketahui bahwa dari tahun ke tahun terjadi perubahan luasan area pada kelas-kelas tingkat kerapatan vegetasi dan suhu permukaan di daerah penelitian. Sesuai dengan tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh perubahan kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan akibat aktivitas pertambangan, maka dilakukan analisis secara visual dan analisis korelasi untuk mengetahui hubungan antara dua variabel tersebut.

Analisis secara visual dilakukan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara perubahan tingkat kerapatan vegetasi dan suhu permukaan secara visual dari tampilan citra hasil pengolahan. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan tampilan dari citra tingkat kerapatan vegetasi dan suhu permukaan hasil klasifikasi pada tiap tahun pengamatan. Adapun tampilan hasil perbandingan antara citra tingkat kerapatan vegetasi dan suhu permukaan ditampilkan melalui Gambar 3.6.



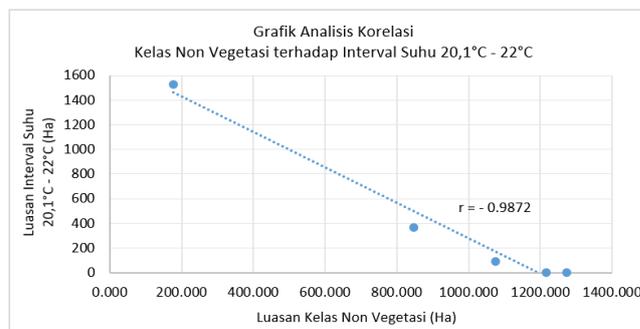
Gambar 3.6. Perbandingan tampilan citra indeks vegetasi dan suhu permukaan pada area pertambangan PT. AMNT. (a) Tanggal 27 Mei 1998; (b) Tanggal 20 Juni 2004

Dari tampilan Gambar 3.6 dapat dilihat bahwa terdapat kesamaan pola antara citra hasil klasifikasi tingkat kerapatan vegetasi dan suhu permukaan pada daerah penelitian. Hal tersebut dapat dilihat terutama pada area yang berwarna merah pada citra tingkat kerapatan vegetasi. Area yang menandakan daerah tanpa tutupan vegetasi tersebut memiliki kesamaan pola dengan area berwarna lebih gelap pada citra suhu permukaan yaitu daerah dengan interval suhu yang lebih tinggi. Pada

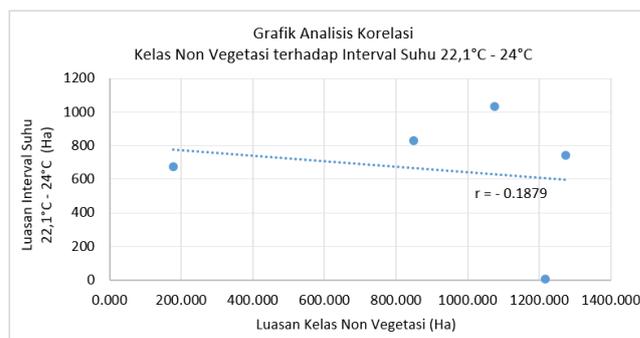
tampilan data tahun 1998, sebaran daerah tanpa tutupan vegetasi terlihat memiliki pola yang hampir sama dengan sebaran interval suhu yang lebih tinggi. Hal tersebut juga terjadi pada tampilan data tahun 2004, dimana sebaran daerah tanpa tutupan vegetasi yang semakin meluas diikuti dengan sebaran interval suhu lebih tinggi yang semakin meluas pula. Dari perbandingan tampilan hasil klasifikasi indeks vegetasi dan suhu permukaan pada dua tahun pengamatan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa perubahan tingkat kerapatan vegetasi berdampak pula pada sebaran suhu permukaan pada daerah penelitian. Ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Jianga dan Tiana (2010) bahwa kerapatan vegetasi akan berbanding terbalik dengan suhu permukaan. Disamping itu dari Gambar 3.6 dapat dilihat bahwa pola indeks vegetasi dapat menggambarkan pola suhu permukaan. Ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mallick (2008) dan Tarrick dkk (2020) bahwa ada korelasi antara indeks vegetasi dengan suhu permukaan.

Untuk memperjelas bagaimana pengaruh kegiatan pertambangan PT. AMNT terhadap kerapatan vegetasi dan suhu permukaan, maka dilakukan analisis melalui penghitungan nilai korelasi. Variabel yang digunakan untuk perhitungan korelasi adalah nilai luasan area tingkat kerapatan vegetasi dan interval suhu permukaan. Dalam proses penghitungan korelasi, nilai yang dipilih untuk menggambarkan aspek perubahan tingkat kerapatan vegetasi adalah nilai luasan kelas non vegetasi. Kelas tersebut dipilih karena dapat menggambarkan perubahan kondisi vegetasi pada daerah penelitian di sepanjang tahun pengamatan. Kemudian untuk menggambarkan aspek perubahan suhu permukaan, variabel yang dipilih adalah nilai luasan suhu permukaan dengan interval 20,1°C - 22°C, interval 22,1°C - 24°C, interval 24,1°C - 26°C dan interval 26,1°C - 28°C. Keempat interval suhu tersebut dipilih karena memiliki total nilai luasan tertinggi di sepanjang tahun pengamatan. Dalam penelitian ini, proses penghitungan dan penggambaran hasil analisis nilai korelasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Penghitungan koefisien korelasi dilakukan melalui pengoperasian formula *Pearson*. Sementara untuk proses penggambaran grafik hasil analisis korelasi dilakukan menggunakan fungsi *Scatter (X, Y) chart*. Adapun tampilan hasil analisis korelasi antara kelas non vegetasi dan beberapa kelas interval suhu ditampilkan pada Gambar 3.7.

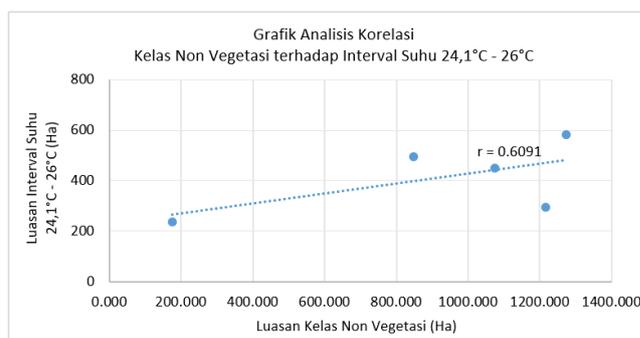
Pada Gambar 3.7 ditampilkan grafik hasil uji korelasi antara variabel luasan kelas non vegetasi dan empat variabel luasan interval suhu permukaan dari tahun 1998 sampai tahun 2018. Dari gambar tersebut juga dapat diketahui nilai hasil hitungan koefisien korelasi (r) untuk tiap grafik yang terbentuk.



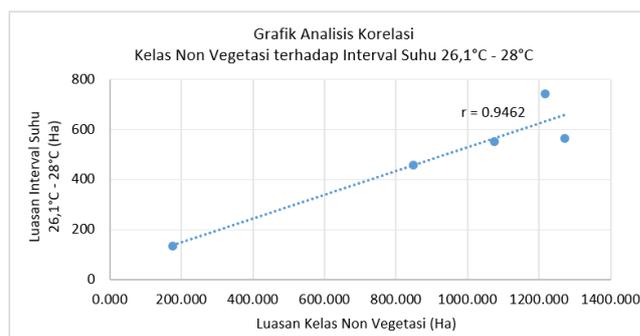
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.7. Grafik analisis korelasi perubahan tingkat kerapatan vegetasi terhadap suhu permukaan.

Pada Gambar 3.7.a, nilai korelasi yang dihasilkan adalah $-0,9872$. Hasil tersebut menunjukkan adanya

korelasi negatif dengan tingkat hubungan yang sangat kuat antara perubahan luasan kelas non vegetasi dan perubahan luasan suhu permukaan pada interval 20,1°C - 22°C. Pada Gambar 3.7.b, nilai korelasi yang dihasilkan adalah -0,1879. Hasil tersebut juga menunjukkan adanya korelasi negatif dengan tingkat hubungan yang sangat rendah antara perubahan luasan kelas non vegetasi dan perubahan luasan suhu permukaan pada interval 22,1°C - 24°C. Kemudian pada Gambar 3.7.c, nilai korelasi yang dihasilkan adalah 0,6091. Hasil tersebut menunjukkan adanya korelasi positif dengan tingkat hubungan yang kuat antara perubahan luasan kelas non vegetasi dan perubahan luasan suhu permukaan pada interval 24,1°C - 26°C. Kemudian pada Gambar 3.7.d, nilai korelasi yang dihasilkan yaitu 0,9462. Hasil tersebut juga menunjukkan adanya korelasi positif dengan tingkat hubungan yang sangat kuat antara perubahan luasan kelas non vegetasi dan perubahan luasan suhu permukaan pada interval 26,1°C - 28°C.

Dari hasil analisis korelasi dapat diketahui bahwa perubahan luasan kelas non vegetasi memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap keempat luasan interval suhu permukaan tersebut. Kemudian dapat diketahui pula bahwa terdapat nilai korelasi yang memiliki tingkat hubungan yang sangat kuat yaitu antara kelas non vegetasi dan suhu permukaan pada interval 20,1°C - 22°C dan 26,1°C - 28°C dan nilai korelasi yang memiliki tingkat hubungan yang kuat yaitu antara kelas non vegetasi dan suhu permukaan pada interval 24,1°C - 26°C. Untuk interval suhu permukaan 20,1°C - 22°C, peningkatan luasan kelas non vegetasi menyebabkan luasan interval suhu permukaan tersebut berkurang. Hal tersebut dapat diketahui dari hasil hitungan korelasi yang menunjukkan adanya korelasi negatif atau berlawanan. Kemudian untuk interval suhu permukaan 24,1°C - 26°C dan 26,1°C - 28°C, peningkatan luasan kelas non vegetasi berdampak pada peningkatan luasan interval suhu permukaan tersebut. Hal tersebut diketahui dari hasil hitungan korelasi yang menunjukkan adanya korelasi positif atau berbanding lurus.

Dari pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa peningkatan luasan daerah tanpa tutupan vegetasi menyebabkan penurunan luasan pada suhu permukaan dengan interval suhu yang lebih rendah dan menyebabkan peningkatan luasan pada suhu permukaan dengan interval suhu yang lebih tinggi. Kemudian apabila dikaitkan dengan kondisi kerapatan vegetasi pada kawasan pertambangan yang semakin menurun dari tahun ke tahun, maka dapat disimpulkan bahwa menurunnya kerapatan vegetasi menyebabkan peningkatan suhu permukaan pada area pertambangan PT. AMNT.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diperoleh, maka kesimpulan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Distribusi tingkat kerapatan vegetasi pada area pertambangan PT. AMNT selalu mengalami perubahan dari tahun 1998 hingga tahun 2018. Luasan area tanpa vegetasi yang secara umum selalu mengalami peningkatan dan luasan area dengan tutupan vegetasi rapat mengalami pengurangan.
2. Suhu permukaan pada kawasan pertambangan PT. AMNT secara umum mengalami peningkatan dari 1998 hingga tahun 2018. Hal tersebut dapat terlihat dari semakin berkurang luasan area dengan interval suhu permukaan yang lebih rendah dan semakin bertambahnya luasan area dengan interval suhu yang lebih tinggi. Peningkatan suhu permukaan juga dapat diketahui dari nilai rata-rata suhu permukaan yang semakin meningkat dari 22,39°C pada tahun 1998 hingga mencapai 29,53°C pada tahun 2018.
3. Perubahan tingkat kerapatan vegetasi memiliki pengaruh terhadap perubahan suhu pada kawasan pertambangan PT. AMNT. Hal itu ditunjukkan oleh nilai korelasi negatif antara kerapatan vegetasi dengan suhu permukaan.

5. Referensi

- Balkau, F. dan Parsons, A. (1999). *Emerging Environmental Issues For Mining In The PECC Region*. Lima. "doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Bobrinskaya M. (2012). Remote Sensing for Analysis of Relationships between Land Cover and Land Surface Temperature in Ten Megacities. *Thesis in Geoinformatics*. School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology (KTH) Stockholm, Sweden.
- Connors J.P., Christopher S. Galletti, Winston T. L., Chow. (2013). Landscape configuration and urban heat island effects: Assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 2013, vol. 28, pp. 271–283.
- Fawzi, N. I. (2014). Pemetaan Emisivitas Menggunakan Indeks Vegetasi (Surface Emissivity Mapping Using Vegetation Indices). *Majalah Ilmiah Globë*, 16(2), hal. 133–140.
- Indmira. (2015). *Tahapan-Tahapan Kegiatan Usaha Pertambangan*. Tersedia pada: <http://indmira.com/id/tahapan-tahapan-reklamasi-usaha-pertambangan/> (Diakses: 27 November 2018).
- Jianga J dan Tiana G. (2010). Analysis of the impact of Land use/Land cover change on Land Surface Temperature with Remote Sensing. *Procedia Environmental Sciences* 2 (2010) 571–575.
- Kementerian ESDM. (2017). *Laporan Kinerja Kementerian*

- ESDM 2017. Jakarta.
- Lilly R. A, Monsingh D. Devadas. (2009). Analysis Of Land Surface Temperature And Land Use / Land Cover Types Using Remote Sensing Imagery - A Case In Chennai City, India. *The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.*
- Mallick J., Yogesh Kant, B.D.Bharath. (2008). Estimation of land surface temperature over Delhi using Landsat-7 ETM+. *J. Ind. Geophys. Union (July 2008)* Vol.12, No.3, hal.131-140.
- Parmadi, W. T. dan Sukojo, B. M. (2016). Analisa Ketelitian Geometric Citra Pleiades Sebagai Penunjang Peta Dasar RDTR (Studi Kasus: Wilayah Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur). 5(2).
- PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. (2018). *TENTANG KAMI*. Tersedia pada: <http://www.amnt.co.id/id/tentang-kami> (Diakses: 26 November 2018).
- Qihao W., Dengsheng L., Jacquelyn S. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89 (2004), hal. 467–483.
- Rhee J., Seonyoung P., Zhenyu L. (2014). Relationship between Land Cover Patterns and Surface Temperature in Urban Areas. *GIScience and Remote Sensing* 51(5), hal. 521-536.
- Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., dan Kosha, R. (2018). A mono-window algorithm for land surface temperature estimation from landsat 8 thermal infrared sensor data: A case study of the beas river basin, India. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 26(2), hal. 829–840.
- Sugiyono. (2007). *Statistika Untuk Penelitian. Diedit oleh E. Mulyatiningsih*. Bandung: ALFABETA.
- Sun Q., Zhifeng Wu., Jianjun Tan. (2012). The relationship between land surface temperature and land use/land cover in Guangzhou, China. *Environ Earth Sci* (2012) 65:1687–1694
- Susanto, A. (2013). Pengaruh Modifikasi Iklim Mikro dengan Vegetasi Ruang Terbuka Hijau (RTH) dalam Pengendalian Penyakit Malaria. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 5(1), hal. 01-11. doi: 10.20885/jstl.vol5.iss1.art1.
- Tariq A., Iqra R. Zulfiqar A., Bisheng Y., Muhammad A., Rukhsana K., Shaista A., Muhammad A.F., Muhammad R. (2020). Land surface temperature relation with normalized satellite indices for the estimation of spatio-temporal trends in temperature among various land use land cover classes of an arid Potohar region using Landsat data. *Environmental Earth Sciences* (2020) 79:40
- U.S. Geological Survey. (2018a). *LANDSAT 7 (L7) DATA USERS HANDBOOK. 1.0. South Dakota: Department of the Interior U.S. Geological Survey. Tersedia pada: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/LSDS-1927_L7_Data_Users_Handbook.pdf*
- U.S. Geological Survey. (2018b). *NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology. Tersedia pada: <https://www.usgs.gov/land-resources/eros/phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology> (Diakses: 6 Januari 2020).*
- U.S. Geological Survey. (2019). *LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK Version 4.0. South Dakota: Department of the Interior U.S. Geological Survey. Tersedia pada: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook>*
- Valor, E. dan Caselles, V. (1996). Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57(3), hal. 167–184.