

Evaluasi Pengaruh Konfigurasi GLCM pada Citra ALOS-2 PALSAR-2 untuk Karakteristik Tekstur Perkebunan Kelapa Sawit

Simon Kevin Halomoan¹, Rika Hernawati^{1*}, Soni Darmawan¹, Dhimas Wiratmoko²,
Josaphat Tetuko Sri Sumantyo³

¹Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

²Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), Medan, Indonesia

³Pusat Penginderaan Jauh Lingkungan, Universitas Chiba, Jepang

*Koresponden email: rikah@itenas.ac.id

Diterima: 31 Juli 2026

Disetujui: 08 Agustus 2026

Abstract

The Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM) is a widely used texture extraction method for Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery, although its visual representation is highly dependent on parameter configuration. This study evaluates the sensitivity of GLCM configurations for representing oil palm plantation characteristics using ALOS-2 PALSAR-2 imagery in PTPN III Sei Dadap, Asahan Regency, North Sumatra, Indonesia. After radiometric calibration, speckle filtering, and terrain correction, four GLCM texture measures (contrast, entropy, homogeneity, and variance) were extracted using three moving window sizes (5×5 , 7×7 , and 9×9 pixels), three quantization levels (8, 32, and 128 gray levels), and two polarization channels (HH and HV), producing 72 texture configurations. Visual interpretation was performed by comparing the texture images with high-resolution optical imagery. Each texture measure produced distinct visual characteristics of oil palm plantations. Among the evaluated measures, variance most clearly delineated plantation blocks, road networks, and intra-canopy variation, while HH polarization consistently provided more informative texture patterns than HV. These findings demonstrate that GLCM parameter configuration significantly influences the visual characterization of oil palm plantations in SAR imagery.

Keywords: *alos-2 palsar-2, grey-level co-occurrence matrix, l-band synthetic aperture radar, oil palm, texture analysis*

Abstrak

Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM) merupakan metode ekstraksi tekstur yang banyak diterapkan pada citra *Synthetic Aperture Radar* (SAR), namun karakteristik visual yang dihasilkan dipengaruhi oleh konfigurasi parameter yang digunakan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi sensitivitas konfigurasi GLCM pada citra ALOS-2 PALSAR-2 dalam merepresentasikan karakteristik visual perkebunan kelapa sawit di PTPN III Sei Dadap, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara. Citra ALOS-2 PALSAR-2 *Fine Beam Dual* (FBD) diproses melalui tahapan *radiometric calibration*, *speckle filtering*, dan *terrain correction*, kemudian dilakukan ekstraksi empat parameter tekstur, yaitu *contrast*, *entropy*, *homogeneity*, dan *variance*. Evaluasi dilakukan pada tiga ukuran *window* (5×5 , 7×7 , dan 9×9 piksel), tiga tingkat kuantisasi (8, 32, dan 128 level keabuan), serta dua polarisasi (HH dan HV), sehingga diperoleh 72 konfigurasi tekstur. Interpretasi visual dilakukan dengan membandingkan pola tekstur terhadap citra optik resolusi tinggi sebagai referensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap parameter GLCM menghasilkan representasi visual yang berbeda terhadap karakteristik perkebunan kelapa sawit. Parameter *variance* menampilkan pola blok tanam, jaringan jalan, dan variasi internal tajuk paling jelas, sedangkan polarisasi HH secara umum memberikan representasi tekstur yang lebih informatif dibandingkan HV. Temuan ini menunjukkan bahwa pemilihan konfigurasi GLCM berpengaruh terhadap kualitas interpretasi visual tekstur perkebunan kelapa sawit pada citra SAR.

Kata Kunci: *alos-2 palsar-2, grey-level co-occurrence matrix, l-band radar aperture sintetis, kelapa sawit, analisis tekstur*

1. Pendahuluan

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan utama di Indonesia yang memiliki peran penting dalam mendukung perekonomian nasional melalui produksi minyak sawit mentah (*crude palm oil*). Luas perkebunan kelapa sawit yang terus meningkat menyebabkan kebutuhan informasi spasial mengenai kondisi tanaman menjadi semakin penting sebagai dasar pengelolaan

perkebunan yang efektif. Penginderaan jauh telah berkembang sebagai salah satu pendekatan yang mampu menyediakan informasi spasial secara cepat, konsisten, dan mencakup wilayah yang luas dibandingkan metode survei lapangan konvensional [1] [2].

Di antara berbagai teknologi penginderaan jauh, *Synthetic Aperture Radar* (SAR) memiliki keunggulan karena mampu merekam informasi permukaan bumi tanpa dipengaruhi oleh kondisi cuaca maupun pencahayaan matahari. Sensor ALOS-2 PALSAR-2 yang beroperasi pada panjang gelombang *L-band* (23,8 cm) memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik ke dalam tajuk vegetasi dibandingkan sensor SAR dengan panjang gelombang yang lebih pendek, sehingga lebih sensitif terhadap struktur vegetasi dan karakteristik biofisik tanaman [3] [4]. Karakteristik tersebut menjadikan ALOS-2 PALSAR-2 banyak dimanfaatkan dalam penelitian vegetasi dan perkebunan, termasuk untuk identifikasi karakteristik tanaman kelapa sawit.

Selain informasi intensitas hamburan balik (*backscatter*), citra SAR juga mengandung informasi tekstur yang merepresentasikan variasi spasial antar piksel. Salah satu metode ekstraksi tekstur yang paling banyak digunakan adalah *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) yang diperkenalkan oleh [5]. Metode ini menghasilkan sejumlah parameter statistik, seperti *contrast*, *entropy*, *homogeneity*, dan *variance*, yang mampu menggambarkan tingkat heterogenitas, keteraturan, serta kompleksitas suatu objek berdasarkan hubungan spasial antar nilai keabuan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa parameter tekstur GLCM efektif digunakan untuk analisis vegetasi, klasifikasi penutup lahan, serta karakterisasi objek pada citra SAR [6] [7].

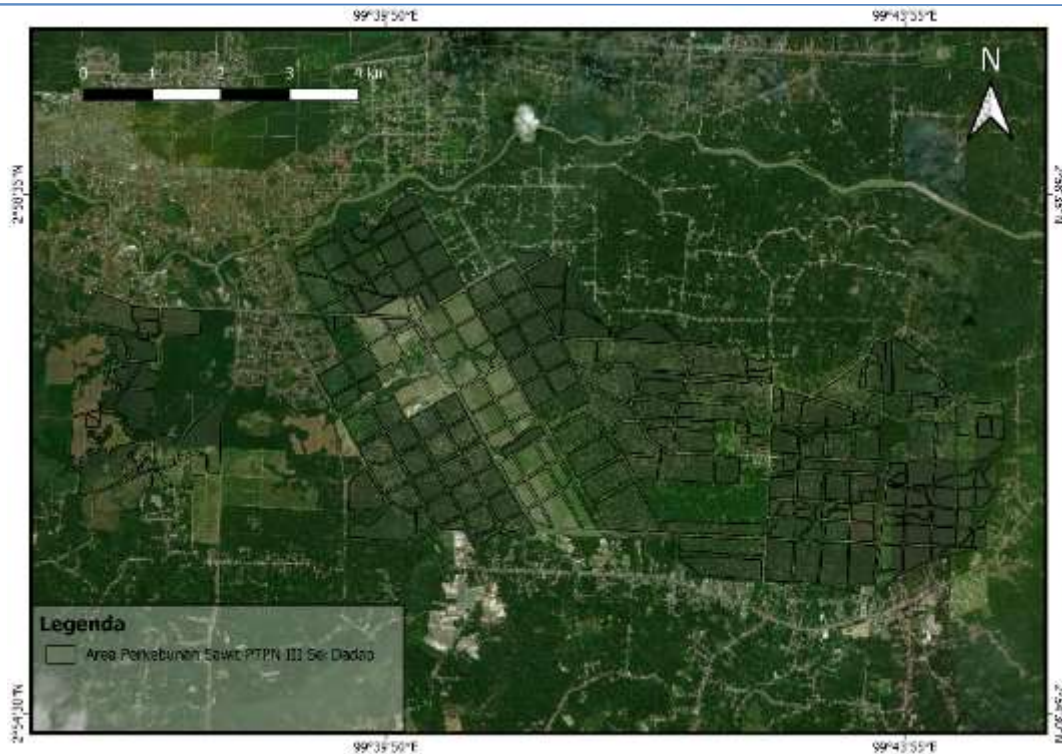
Pemanfaatan GLCM pada penelitian kelapa sawit umumnya difokuskan pada analisis kuantitatif, seperti klasifikasi penutup lahan, estimasi biomassa, maupun pemodelan umur tanaman menggunakan pendekatan statistik atau regresi [8][9][10]. Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi GLCM, seperti ukuran *moving window* dan tingkat kuantisasi (*quantization level*), memengaruhi performa parameter tekstur yang dihasilkan. Namun, evaluasi yang dilakukan sebagian besar masih berorientasi pada nilai statistik, seperti akurasi klasifikasi atau koefisien determinasi model, sedangkan karakter visual yang dihasilkan oleh setiap parameter tekstur pada berbagai konfigurasi GLCM belum banyak dibahas secara sistematis.

Sedangkan, pemahaman terhadap karakteristik visual masing-masing parameter tekstur merupakan tahapan penting dalam interpretasi citra SAR karena dapat membantu menjelaskan mengapa suatu konfigurasi menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan konfigurasi lainnya. Informasi tersebut juga dapat menjadi dasar dalam pemilihan konfigurasi GLCM sebelum diterapkan pada analisis kuantitatif yang lebih kompleks. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi sensitivitas konfigurasi GLCM pada citra ALOS-2 PALSAR-2 dalam memvisualisasikan karakteristik tekstur perkebunan kelapa sawit melalui interpretasi visual terhadap empat parameter tekstur (*contrast*, *entropy*, *homogeneity*, dan *variance*) pada berbagai kombinasi ukuran *moving window*, tingkat kuantisasi, dan polarisasi radar. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai karakter visual masing-masing parameter tekstur sebagai acuan dalam pemilihan konfigurasi GLCM untuk penelitian penginderaan jauh berbasis citra SAR.

2. Metode Penelitian

Wilayah Studi

Penelitian ini dilaksanakan di area perkebunan kelapa sawit PTPN III Sei Dadap, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara, Indonesia. Perkebunan ini melingkupi luasan sekitar 6.075 hektare. Kawasan ini didominasi oleh perkebunan kelapa sawit dengan pola blok tanam yang relatif teratur, disertai jaringan jalan kebun dan saluran drainase yang berkembang mengikuti tata kelola perkebunan. Wilayah penelitian berada pada dataran rendah dengan topografi relatif datar hingga landai, sehingga pengaruh distorsi geometrik akibat relief terhadap citra SAR relatif kecil. Kondisi tersebut mendukung proses interpretasi tekstur dan memungkinkan perbedaan pola spasial yang muncul pada hasil ekstraksi GLCM lebih merefleksikan variasi struktur tajuk dan pengelolaan perkebunan dibandingkan pengaruh morfologi medan. PTPN III Sei Dadap dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki areal perkebunan kelapa sawit yang luas dan homogen, sehingga sesuai untuk mengevaluasi bagaimana berbagai konfigurasi *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) memvisualisasikan karakteristik tekstur perkebunan kelapa sawit pada citra ALOS-2 PALSAR-2. Selain itu, keberadaan citra optik resolusi tinggi pada wilayah yang sama memungkinkan dilakukan interpretasi visual dan perbandingan pola spasial antara citra referensi dan hasil ekstraksi tekstur GLCM.



Gambar 1: Area perkebunan kelapa sawit PTPN III Sei Dadap

Gambar 1 menunjukkan lokasi penelitian di area perkebunan kelapa sawit PTPN III Sei Dadap, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara. Batas area perkebunan ditampilkan sebagai wilayah yang menjadi fokus analisis karakteristik tekstur pada citra ALOS-2 PALSAR-2.

Pengambilan Data

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra ALOS-2 PALSAR-2 *Fine Beam Dual* (FBD) Level 1,1 yang diakuisisi pada 2 Agustus 2022 pada lintasan *ascending*. Citra tersebut mencakup seluruh area perkebunan kelapa sawit PTPN III Sei Dadap serta menyediakan dua kanal polarisasi, yaitu *Horizontal-Horizontal* (HH) dan *Horizontal-Vertical* (HV). Kedua polarisasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses ekstraksi tekstur *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) untuk mengevaluasi karakteristik visual tekstur perkebunan kelapa sawit. Spesifikasi teknis citra ALOS-2 PALSAR-2 yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada **Tabel 1**.

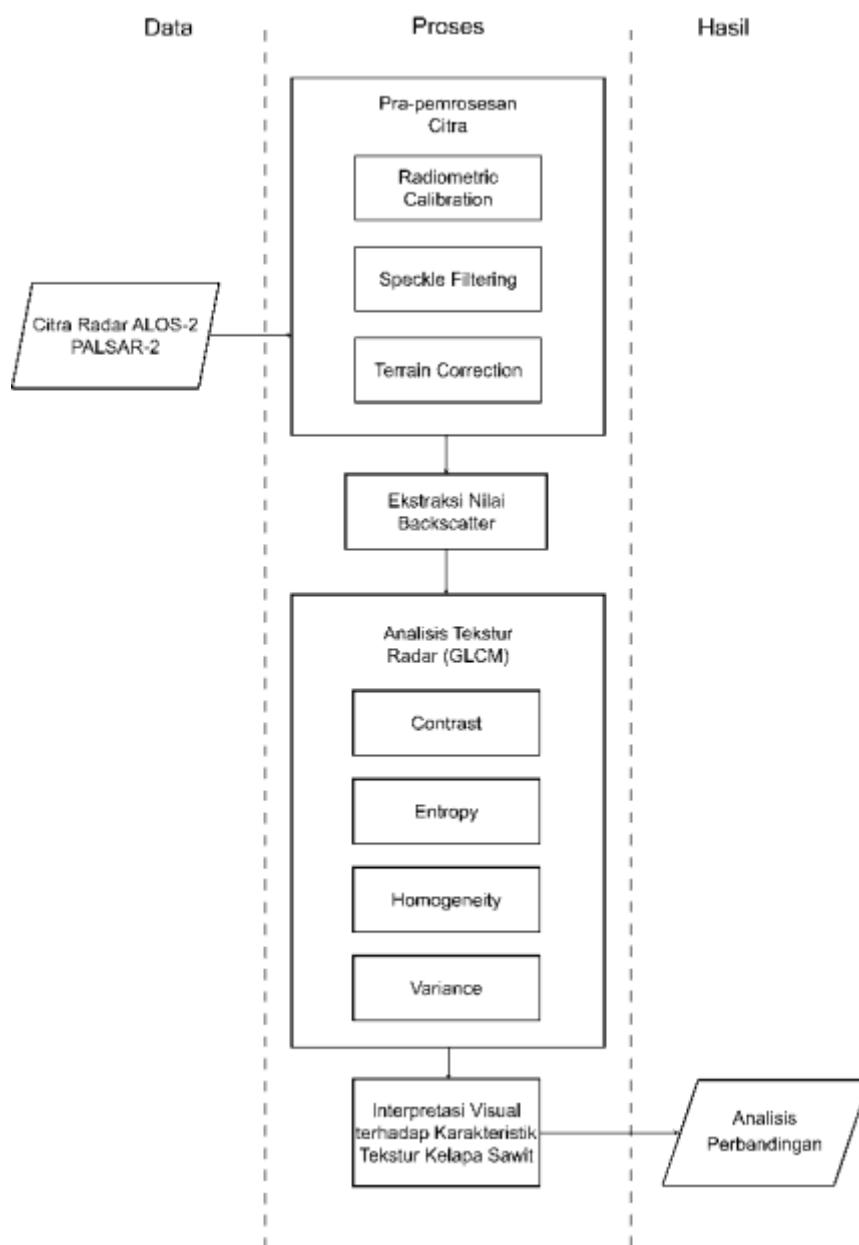
Tabel 1. Karakteristik Data ALOS-2 PALSAR-2

Parameter	Spesifikasi
Satelit	ALOS-2
Sensor	PALSAR-2
Tanggal Akuisisi	2 Agustus 2022
Mode Akuisisi	<i>Fine Beam Dual</i> (FBD)
Level Produk	Level 1,1
Polarisasi	Polarisasi Ganda (HH/HV)
Arah Orbit	<i>Ascending</i> (Naik)
Frekuensi	1,257 GHz
Panjang Gelombang	23,8 cm (L-band)
Resolusi Spasial	6 m
Spasi Piksel Range	4,29 m
Spasi Piksel Azimuth	3,42 m
Sudut Datang (Incidence Angle)	38,37° - 42,55°
Wilayah Cakupan	PTPN III Sei Dadap, Asahan, North Sumatra

Langkah Penelitian

Metode penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu pra-pemrosesan citra SAR, ekstraksi nilai hamburan balik (*backscatter*), analisis tekstur menggunakan *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM), serta evaluasi sensitivitas visual terhadap hasil ekstraksi tekstur. Tahap pra-pemrosesan meliputi

radiometric calibration, *speckle filtering*, dan *terrain correction* untuk menghasilkan citra yang siap dianalisis. Selanjutnya, nilai hamburan balik diekstraksi sebagai dasar dalam proses perhitungan tekstur GLCM. Analisis tekstur dilakukan menggunakan empat parameter GLCM, yaitu *contrast*, *entropy*, *homogeneity* dan *variance*, dengan berbagai kombinasi ukuran *moving window*, tingkat kuantisasi (*quantization level*), serta polarisasi HH dan HV. Hasil ekstraksi tekstur kemudian dievaluasi melalui interpretasi visual dengan membandingkan karakteristik yang ditampilkan terhadap citra referensi sehingga diperoleh informasi mengenai sensitivitas masing-masing konfigurasi GLCM dalam memvisualisasikan karakteristik tekstur perkebunan kelapa sawit. Rangkaian metodologi penelitian disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2: Langkah Penelitian

Prapemrosesan Citra

Citra ALOS-2 PALSAR-2 *Fine Beam Dual* (FBD) Level 1,1 dipraproses untuk menghasilkan citra hamburan balik (*backscatter*) yang telah terkalibrasi secara radiometrik dan terkoreksi secara geometrik sebelum dilakukan ekstraksi tekstur menggunakan metode *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM). Tahapan ini bertujuan menghasilkan citra dengan kualitas radiometrik dan geometrik yang memadai sehingga karakteristik tekstur yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi objek secara lebih akurat. Tahap pertama berupa kalibrasi radiometrik (*radiometric calibration*) menggunakan operator kalibrasi pada perangkat lunak SNAP untuk mengonversi nilai *digital number* (DN) menjadi koefisien hamburan balik *sigma nought* (σ^0) pada polarisasi HH dan HV [3]. Proses ini menghasilkan nilai hamburan balik yang

telah terkalibrasi secara fisik sehingga dapat digunakan sebagai dasar analisis tekstur. Selanjutnya, nilai σ^0 ditransformasikan ke dalam satuan desibel (dB) menggunakan Persamaan (1) [3]:

$$\sigma_{dB} = 10 \log_{10}(\sigma^0) \quad (1)$$

dimana σ_{dB}^0 merupakan nilai koefisien hamburan balik dalam satuan desibel and σ^0 adalah koefisien hamburan balik terskala linier yang telah terkalibrasi. Tahap berikutnya adalah *speckle filtering* menggunakan *Refined Lee filter*. *Speckle* merupakan *multiplicative noise* yang secara inheren terdapat pada citra SAR akibat interferensi koheren gelombang radar yang dipantulkan oleh banyak scatterer di dalam satu sel resolusi [11]. *Refined Lee filter* dipilih karena mampu mereduksi *speckle* secara efektif dengan tetap mempertahankan batas objek (*edge preservation*) serta variasi tekstur lokal, sehingga informasi spasial yang diperlukan dalam ekstraksi parameter GLCM tetap terjaga [10].

Selanjutnya dilakukan *terrain correction* menggunakan algoritma *Range-Doppler Terrain Correction* dengan memanfaatkan *ASTER Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM) sebagai data elevasi. Tahapan ini bertujuan mengoreksi distorsi geometrik akibat geometri pencitraan radar dan pengaruh topografi, seperti *foreshortening*, *layover*, dan *terrain displacement*. Citra hasil koreksi kemudian direferensikan ke datum *World Geodetic System 1984* (WGS 84) dan diproyeksikan ke sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) Zona 47 Utara (EPSG:32647) sesuai dengan lokasi penelitian di Sumatera Utara. Produk citra hamburan balik yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai masukan dalam proses ekstraksi parameter tekstur GLCM pada berbagai kombinasi ukuran *moving window*, tingkat kuantisasi, dan polarisasi radar.

Analisis Tekstur Radar (GLCM)

Analisis tekstur menggunakan metode *Grey-Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) diterapkan untuk mengkarakterisasi pola spasial hamburan balik radar pada area perkebunan kelapa sawit. Citra hamburan balik hasil prapemrosesan dalam satuan desibel (dB) pada polarisasi HH dan HV digunakan sebagai data masukan dalam proses ekstraksi tekstur. Metode GLCM membangun matriks ko-okurensi yang merepresentasikan frekuensi kemunculan pasangan nilai tingkat keabuan (*grey level*) pada hubungan spasial tertentu di dalam suatu *moving window*. Melalui pendekatan ini, karakteristik tekstur seperti heterogenitas, keseragaman, kompleksitas, dan penyebaran nilai hamburan balik dapat dideskripsikan secara kuantitatif sehingga memberikan informasi mengenai pola spasial objek yang diamati [12].

Pada penelitian ini, ekstraksi tekstur dilakukan secara independen pada citra polarisasi HH dan HV menggunakan empat parameter tekstur utama, yaitu *contrast*, *homogeneity*, *entropy*, dan *variance*. Parameter *contrast* menggambarkan tingkat variasi nilai keabuan antar piksel bertetangga sehingga berkaitan dengan heterogenitas tekstur [12]. *Homogeneity* menunjukkan tingkat keseragaman nilai keabuan pada suatu area dan merepresentasikan homogenitas spasial lokal [13]. *Entropy* mengukur tingkat kompleksitas atau ketidakaturan pola tekstur, sedangkan *variance* merepresentasikan penyebaran nilai tingkat keabuan terhadap nilai rata-ratanya sehingga menggambarkan variabilitas tekstur [14].

Untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi ekstraksi tekstur terhadap representasi visual karakteristik perkebunan kelapa sawit, digunakan tiga ukuran *moving window*, yaitu 5×5 , 7×7 , dan 9×9 piksel [12]. Setiap ukuran jendela dikombinasikan dengan tiga tingkat kuantisasi (*grey level quantization*), yaitu 8, 32, dan 128 tingkat keabuan.

Parameter GLCM lainnya mengikuti pengaturan bawaan (*default*) pada operator GLCM di perangkat lunak SNAP. Proses kuantisasi menggunakan *Probabilistic Quantizer*, sedangkan parameter pixel displacement ditetapkan sebesar empat piksel sehingga hubungan ko-okurensi dihitung pada pasangan piksel yang dipisahkan oleh jarak empat piksel. Selain itu, ekstraksi tekstur dilakukan menggunakan konfigurasi *All-directional*, yaitu mempertimbangkan empat orientasi (0° , 45° , 90° , dan 135°), sehingga karakteristik tekstur yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh satu arah pengamatan tertentu dan mampu merepresentasikan pola tajuk kelapa sawit secara lebih menyeluruh [15].

Seluruh lapisan tekstur yang dihasilkan kemudian dianalisis secara visual melalui interpretasi komparatif untuk mengidentifikasi kemampuan masing-masing parameter tekstur dalam memvisualisasikan karakteristik spasial perkebunan kelapa sawit. Interpretasi dilakukan dengan membandingkan tingkat kontras, keseragaman, kompleksitas tekstur, serta kejelasan batas antarblok tanaman pada berbagai konfigurasi parameter GLCM sehingga dapat diidentifikasi parameter yang paling representatif dalam menggambarkan karakteristik visual perkebunan kelapa sawit.

Untuk elemen GLCM yang telah dinormalisasi, $P(i,j)$ menyatakan probabilitas bersama (*joint probability*) dari pasangan tingkat keabuan tertentu. Persamaan normalisasi matriks ko-okurensi ditunjukkan pada Persamaan (2) [14]:

$$\sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i,j) \quad (2)$$

dimana N_g adalah jumlah kuantisasi tingkat keabuan.

Parameter *contrast* mengukur variasi intensitas antar piksel bertetangga dan umum digunakan sebagai indikator heterogenitas tekstur lokal. Semakin tinggi nilai *contrast*, semakin besar variasi lokal pada nilai hamburan balik SAR. Persamaan parameter *contrast* diberikan pada Persamaan (3) [14]:

$$Contrast = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i-j)^2 P(i,j) \quad (3)$$

Parameter *homogeneity* menggambarkan tingkat kemiripan nilai keabuan antar piksel yang berdekatan. Nilai *homogeneity* yang tinggi menunjukkan tekstur yang lebih seragam. Persamaan matematisnya ditunjukkan pada Persamaan (4) [14]:

$$Homogeneity = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{P(i,j)}{1 + |i-j|} \quad (4)$$

Parameter *entropy* merepresentasikan tingkat ketidakaturan atau kompleksitas tekstur. Nilai *entropy* yang tinggi mengindikasikan pola spasial yang semakin kompleks dan acak. Persamaan parameter *entropy* diberikan pada Persamaan (5) [14]:

$$Entropy = - \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i,j) \log_2 [P(i,j) + \varepsilon] \quad (5)$$

di mana nilai ε merupakan konstanta positif bernilai kecil yang ditambahkan untuk menghindari kondisi logaritma tidak terdefinisi ketika nilai $P(i,j) = 0$.

Parameter *variance* menunjukkan besarnya penyebaran nilai tingkat keabuan terhadap nilai rata-ratanya (*mean*) sehingga menggambarkan tingkat variabilitas tekstur. Persamaan matematis parameter tersebut disajikan pada Persamaan (6) [14]:

$$Variance = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i-\mu)^2 P(i,j) \quad (6)$$

dimana μ merupakan rata-rata tingkat keabuan yang dikalkulasikan melalui persamaan (7) [14]:

$$\mu = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} iP(i,j) \quad (7)$$

di mana i dan j masing-masing merupakan indeks baris dan kolom dari matriks GLCM; $P(i,j)$ melambangkan probabilitas ko-okurensi yang dinormalisasi dari pasangan tingkat keabuan yang bersesuaian; dan N_g menyatakan tingkat kuantisasi yang digunakan.

Interpretasi Visual Karakteristik

Interpretasi visual dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan masing-masing parameter tekstur *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) dalam merepresentasikan karakteristik spasial perkebunan kelapa sawit pada citra ALOS-2 PALSAR-2. Interpretasi visual pada penelitian ini difokuskan pada pengamatan terhadap pola tonal, tingkat kontras, keteraturan tekstur, serta kemudahan dalam membedakan objek perkebunan kelapa sawit dari kenampakan di sekitarnya. Pendekatan ini umum digunakan dalam analisis penginderaan jauh ketika tujuan penelitian adalah mengevaluasi kemampuan suatu transformasi citra dalam meningkatkan keterbacaan informasi spasial [16] [17].

Setiap kombinasi parameter tekstur dihasilkan dari dua polarisasi radar (HH dan HV), tiga ukuran *moving window* (5×5, 7×7, dan 9×9 piksel), serta tiga tingkat kuantisasi (*quantization level*) yaitu 8, 32, dan 128 tingkat keabuan. Seluruh hasil ekstraksi tekstur kemudian dibandingkan secara visual untuk mengidentifikasi konfigurasi yang mampu menampilkan karakteristik perkebunan kelapa sawit secara paling jelas. Proses interpretasi dilakukan dengan memperhatikan konsistensi pola tekstur pada area perkebunan, keterbacaan batas antarblok, tingkat homogenitas di dalam blok tanaman, serta kemampuan citra dalam menampilkan jaringan jalan dan objek non-perkebunan sebagai pembanding visual [5] [6].

Penilaian dilakukan secara deskriptif melalui perbandingan visual antar parameter tekstur tanpa menggunakan sistem pembobotan maupun klasifikasi numerik. Interpretasi difokuskan pada karakteristik visual yang dihasilkan oleh setiap parameter, sehingga diperoleh informasi mengenai kecenderungan masing-masing parameter dalam menggambarkan heterogenitas, keseragaman, kompleksitas, maupun variasi spasial tajuk kelapa sawit. Hasil interpretasi tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam menyusun pembahasan mengenai karakteristik visual parameter *contrast*, *entropy*, *homogeneity*, dan *variance* pada citra radar ALOS-2 PALSAR-2.

Analisis Komparatif Parameter Tekstur

Setelah lapisan tekstur GLCM dihasilkan untuk setiap kombinasi parameter, dilakukan analisis komparatif guna mengevaluasi kemampuan visual masing - masing parameter tekstur dalam merepresentasikan karakteristik spasial perkebunan kelapa sawit. Analisis ini tidak dimaksudkan untuk menghasilkan peringkat kuantitatif ataupun menentukan parameter terbaik berdasarkan ukuran statistik, melainkan untuk mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan setiap parameter dalam menampilkan pola tekstur yang terbentuk pada citra radar.

Proses interpretasi dilakukan dengan membandingkan secara visual citra hasil ekstraksi parameter *contrast*, *entropy*, *homogeneity*, dan *variance* terhadap kondisi aktual perkebunan yang diamati pada citra optik beresolusi tinggi. Perbandingan tersebut berfokus pada kemampuan masing-masing parameter dalam memperlihatkan karakteristik spasial yang umum dijumpai pada perkebunan kelapa sawit, seperti keteraturan pola tanam, batas antarblok, jaringan jalan kebun, serta tingkat keseragaman maupun heterogenitas tekstur tajuk tanaman. Pendekatan interpretasi visual semacam ini banyak digunakan pada penelitian penginderaan jauh ketika tujuan utama penelitian adalah mengevaluasi kualitas representasi spasial suatu produk citra dibandingkan melakukan klasifikasi atau pemodelan statistik [17][18].

Dalam penelitian ini, analisis komparatif dilakukan secara konsisten menggunakan hasil ekstraksi tekstur pada citra polarisasi HH dengan konfigurasi *moving window* berukuran 5 × 5 piksel dan tingkat kuantisasi 8, karena konfigurasi tersebut menghasilkan representasi visual yang paling informatif selama proses eksplorasi awal. Konfigurasi lain, termasuk penggunaan polarisasi HV maupun variasi ukuran jendela dan tingkat kuantisasi yang berbeda, tetap menghasilkan karakteristik tekstur yang serupa sehingga tidak ditampilkan untuk menghindari penyajian informasi yang berulang.

Hasil interpretasi selanjutnya digunakan untuk mendeskripsikan karakter visual yang ditampilkan oleh masing-masing parameter tekstur serta mengidentifikasi parameter yang paling mampu memperjelas pola spasial perkebunan kelapa sawit. Dengan pendekatan tersebut, pembahasan difokuskan pada nilai informatif dari setiap parameter tekstur sebagai media visualisasi karakteristik perkebunan, bukan sebagai indikator hubungan statistik terhadap variabel lain.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Visual Parameter Contrast

Parameter *contrast* menghasilkan visualisasi yang menonjolkan perbedaan respons hamburan balik antar area melalui perubahan tingkat keabuan yang relatif tajam seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Pada citra perkebunan kelapa sawit, pola tersebut menyebabkan susunan blok tanaman masih dapat dikenali dengan cukup baik karena batas antara area sawit dan area di sekitarnya tampak lebih kontras dibandingkan parameter tekstur lainnya. Variasi tonal yang muncul di dalam setiap blok juga menunjukkan bahwa

struktur tajuk masih dipertahankan sebagai bagian dari karakter tekstur, sehingga citra tidak mengalami perataan yang berlebihan. Meskipun demikian, perubahan intensitas yang cukup tinggi di dalam blok menyebabkan permukaan perkebunan masih terlihat heterogen dan belum membentuk pola yang benar-benar seragam.

Karakter tersebut berkaitan dengan prinsip dasar *contrast* yang mengukur perbedaan tingkat keabuan antar piksel bertetangga dalam matriks ko-okurensi [5]. Semakin besar variasi lokal yang direkam oleh citra SAR, semakin tinggi nilai *contrast* yang dihasilkan [6]. Pada area perkebunan kelapa sawit, variasi tersebut dipengaruhi oleh perubahan hamburan balik akibat susunan tajuk, orientasi pelepah, dan keberadaan ruang antarbaris tanaman. Oleh karena itu, parameter ini efektif untuk memperlihatkan heterogenitas spasial, namun variasi lokal yang cukup dominan membuat interpretasi karakteristik perkebunan belum sejelas yang diperoleh pada parameter *variance*.

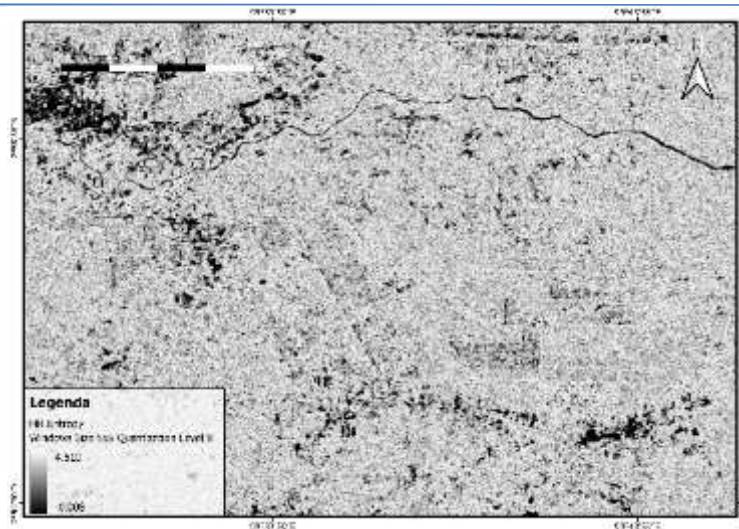


Gambar 3: Layout parameter HH Contrast konfigurasi windows size 5x5 tingkat kuantisasi 8

Karakteristik Visual Parameter Entropy

Berbeda dengan *contrast* yang menonjolkan perbedaan intensitas antar area, parameter *entropy* lebih merepresentasikan tingkat kompleksitas tekstur melalui distribusi nilai keabuan pada citra (**Gambar 4**). Pada area perkebunan kelapa sawit, pola tekstur yang dihasilkan tampak lebih bervariasi dengan perubahan tonal yang tersebar di seluruh blok tanaman. Akibatnya, batas antar blok tidak lagi menjadi karakter visual yang dominan, melainkan digantikan oleh pola tekstur yang relatif kompleks. Kondisi tersebut menyebabkan area perkebunan masih dapat dikenali sebagai satu kesatuan objek, namun identifikasi batas spasial maupun bentuk blok menjadi kurang jelas dibandingkan pada parameter *contrast*.

Karakteristik tersebut sesuai dengan konsep dasar *entropy*, yang mengukur tingkat ketidakaturan atau kompleksitas distribusi probabilitas dalam matriks *Grey Level Co-occurrence Matrix* [5]. Semakin beragam pasangan nilai tingkat keabuan yang terbentuk, semakin tinggi nilai *entropy* yang dihasilkan [6]. Pada citra SAR perkebunan kelapa sawit, respons tersebut mencerminkan variasi hamburan balik yang dipengaruhi oleh struktur tajuk, orientasi pelepah, serta interaksi gelombang radar dengan elemen vegetasi di dalam blok tanaman. Oleh karena itu, parameter *entropy* lebih efektif dalam menggambarkan kompleksitas tekstur dibandingkan memperjelas bentuk spasial suatu objek. Meskipun demikian, tingginya variasi tonal yang dihasilkan menyebabkan interpretasi visual karakteristik perkebunan kelapa sawit menjadi kurang intuitif apabila dibandingkan dengan parameter *variance* yang menghasilkan pola tekstur lebih konsisten.

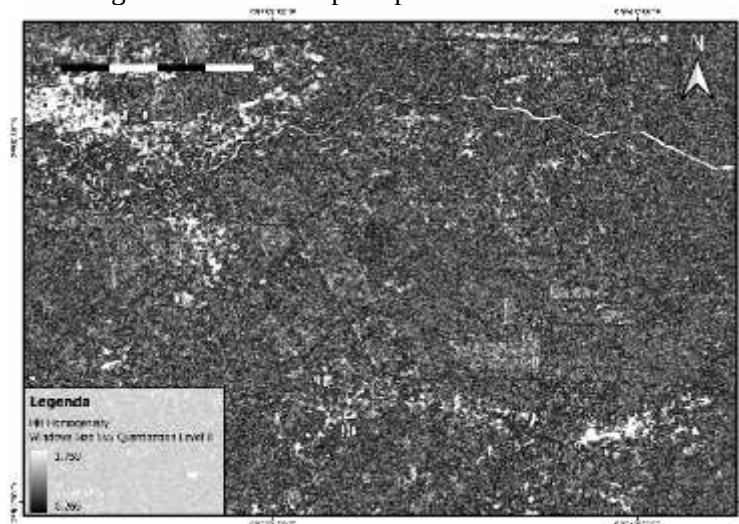


Gambar 4: Layout parameter HH Entropy konfigurasi windows size 5x5 tingkat kuantisasi 8

Karakteristik Visual Parameter Homogeneity

Berbeda dengan parameter *contrast* dan *entropy* yang masih mempertahankan variasi tonal di dalam blok perkebunan, *homogeneity* menghasilkan tekstur yang lebih halus sehingga area kelapa sawit tampak lebih seragam seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 5**. Perubahan intensitas antar piksel menjadi lebih kecil, menyebabkan distribusi tingkat keabuan di dalam setiap blok terlihat lebih merata. Dampaknya, pola umum perkebunan masih dapat dikenali, tetapi batas antarblok maupun transisi menuju area non-sawit menjadi kurang menonjol. Efek visual tersebut memberikan kesan bahwa objek memiliki tekstur yang lebih homogen, meskipun beberapa detail lokal yang sebenarnya merepresentasikan karakter struktur tajuk tidak lagi terlihat secara jelas.

Fenomena tersebut sesuai dengan karakteristik dasar *homogeneity*, yaitu memberikan nilai yang lebih tinggi pada pasangan piksel yang memiliki tingkat keabuan serupa dalam matriks *Grey Level Co-occurrence Matrix* [5]. Akibatnya, variasi lokal pada citra SAR cenderung direduksi sehingga tekstur menjadi lebih seragam [6]. Pada perkebunan kelapa sawit, kondisi ini mampu menggambarkan keteraturan pola tanam dalam satu hamparan, namun pada saat yang sama mengurangi kemampuan parameter untuk mempertegas batas spasial antar objek. Oleh karena itu, meskipun *homogeneity* efektif dalam merepresentasikan keseragaman tekstur, informasi mengenai variasi struktur tajuk yang menjadi ciri visual perkebunan kelapa sawit tidak tergambarkan sebaik pada parameter *variance*.



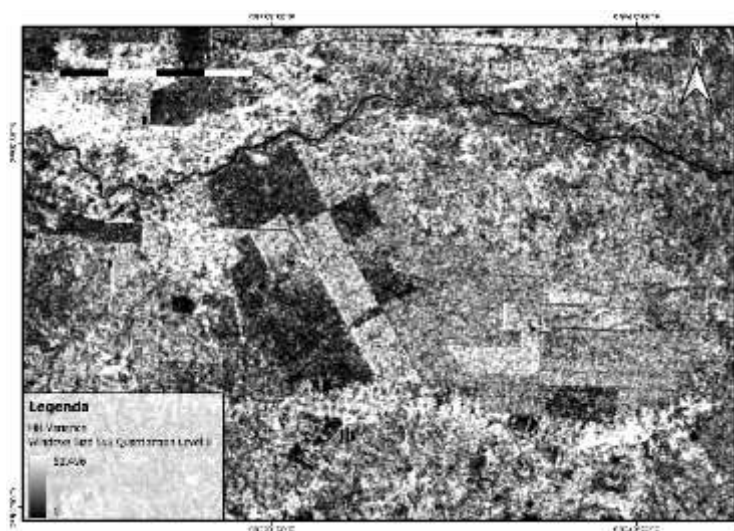
Gambar 5: Layout parameter HH Homogeneity konfigurasi windows size 5x5 tingkat kuantisasi 8

Karakteristik Visual Parameter Variance

Di antara seluruh parameter tekstur yang dievaluasi, *variance* menghasilkan representasi visual yang paling mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. **Gambar 6** memperlihatkan tekstur perkebunan kelapa sawit tampak jelas melalui kombinasi variasi tonal yang tetap terjaga tanpa mengurangi keteraturan pola blok tanaman. Area sawit membentuk pola yang konsisten dan mudah dibedakan dari area non-sawit,

sementara batas spasial antar objek masih dapat diamati dengan baik. Karakteristik tersebut membuat susunan blok perkebunan serta distribusi tajuk lebih mudah dikenali secara visual dibandingkan hasil yang diperoleh menggunakan parameter *contrast*, *entropy*, maupun *homogeneity*.

Secara konseptual, *variance* mengukur besarnya penyebaran nilai tingkat keabuan terhadap nilai rata-ratanya sehingga mampu mempertahankan informasi mengenai variasi lokal tanpa menghilangkan pola spasial utama [5]. Pada citra SAR, variasi tersebut berkaitan dengan perubahan respons hamburan balik yang dipengaruhi oleh struktur vegetasi, orientasi pelepah, dan interaksi gelombang radar dengan tajuk tanaman [6]. Hasil interpretasi pada penelitian ini menunjukkan bahwa keseimbangan antara detail lokal dan keseragaman pola menjadikan *variance* sebagai parameter yang paling representatif untuk menggambarkan karakteristik visual perkebunan kelapa sawit. Perbandingan dengan citra optik resolusi tinggi juga memperlihatkan bahwa bentuk blok dan distribusi area sawit pada hasil *variance* memiliki kesesuaian visual yang lebih baik dibandingkan area non-sawit, sehingga parameter ini dinilai paling efektif sebagai dasar interpretasi tekstur pada citra ALOS-2 PALSAR-2.



Gambar 6: Layout parameter HH Variance konfigurasi windows size 5x5 tingkat kuantisasi 8

Perbandingan Visual Parameter GLCM

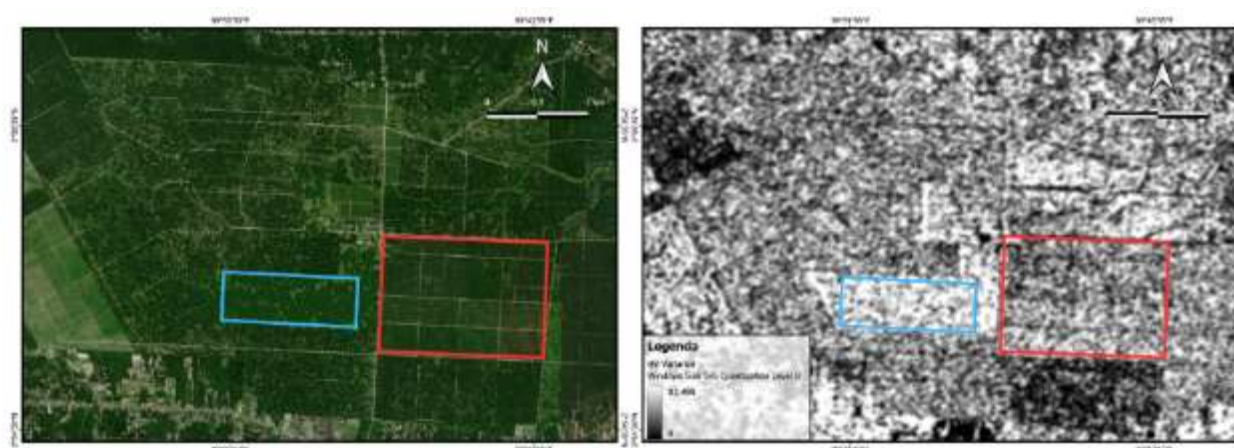
Untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai karakteristik tekstur perkebunan kelapa sawit pada citra ALOS-2 PALSAR-2, dilakukan analisis komparatif terhadap empat parameter tekstur *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM), yaitu *contrast*, *entropy*, *homogeneity*, dan *variance*. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakter visual yang ditampilkan oleh masing-masing parameter serta mengevaluasi bagaimana setiap parameter merepresentasikan pola spasial perkebunan kelapa sawit. Pada bagian ini seluruh parameter dibandingkan secara langsung untuk menyoroti perbedaan karakteristik visual yang dihasilkan. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa keempat parameter GLCM merepresentasikan informasi tekstur yang berbeda meskipun diekstraksi dari data hamburan balik SAR yang sama. Perbedaan tersebut muncul karena setiap parameter dihitung menggunakan statistik yang berbeda pada matriks ko-okurensi sehingga menghasilkan penekanan terhadap karakter tekstur yang berlainan [5]. Dengan demikian, tidak terdapat satu parameter yang sepenuhnya menggantikan parameter lainnya, melainkan masing-masing memberikan informasi yang saling melengkapi dalam mendeskripsikan karakteristik spasial perkebunan kelapa sawit.

Parameter *contrast* terutama menonjolkan perbedaan intensitas antarwilayah yang berdekatan sehingga batas antarblok perkebunan maupun perubahan tekstur lokal tampak lebih jelas. Karakteristik ini memudahkan pengamatan terhadap heterogenitas spasial yang dihasilkan oleh perubahan struktur tajuk, pola penanaman, maupun variasi hamburan balik pada permukaan lahan. Sebaliknya, parameter *entropy* lebih menekankan tingkat kompleksitas distribusi tekstur. Area yang memiliki variasi tekstur tinggi ditampilkan dengan pola tonal yang lebih beragam sehingga citra tampak lebih dinamis. Namun, meningkatnya kompleksitas visual tersebut menyebabkan batas antarobjek pada beberapa konfigurasi menjadi kurang tegas dibandingkan *contrast*. Parameter *homogeneity* memperlihatkan karakter yang berbeda karena lebih menonjolkan tingkat keseragaman nilai tingkat keabuan. Area dengan tekstur yang relatif seragam ditampilkan secara lebih homogen sehingga variasi internal objek tampak lebih halus. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa parameter *homogeneity* merupakan parameter yang paling responsif

terhadap perubahan tingkat kuantisasi. Peningkatan jumlah level keabuan menghasilkan perubahan distribusi tonal yang lebih nyata dibandingkan perubahan ukuran *moving window*. Fenomena ini menunjukkan bahwa parameter tersebut memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan distribusi probabilitas pada matriks ko-okurensi, sebagaimana dijelaskan oleh Hall-Beyer [7].

Sementara itu, parameter *variance* menghasilkan representasi visual yang memperlihatkan keseimbangan antara detail lokal dan kontinuitas spasial. Variasi tekstur di dalam blok perkebunan masih dapat diamati dengan jelas, sedangkan batas antarblok tetap terdefinisi dengan baik. Dibandingkan ketiga parameter lainnya, *variance* menghasilkan pola visual yang paling mudah diinterpretasikan karena mampu mempertahankan detail tekstur tanpa menghasilkan kompleksitas visual yang berlebihan. Dalam konteks interpretasi visual pada penelitian ini, karakteristik tersebut menjadikan *variance* sebagai parameter yang paling representatif untuk menggambarkan pola tekstur perkebunan kelapa sawit. Hasil komparasi juga memperlihatkan bahwa pengaruh ukuran *moving window* relatif konsisten pada seluruh parameter tekstur. Peningkatan ukuran jendela dari 5×5 menjadi 9×9 piksel terutama menghasilkan efek penghalusan (*spatial smoothing*) sehingga detail-detail berukuran kecil berangsur berkurang tanpa mengubah pola spasial utama objek. Sebaliknya, perubahan tingkat kuantisasi memberikan dampak visual yang lebih besar, terutama pada parameter *entropy* dan *homogeneity*, sedangkan *contrast* dan *variance* menunjukkan perubahan yang relatif lebih moderat. Temuan ini menunjukkan bahwa tingkat kuantisasi merupakan faktor konfigurasi yang lebih berpengaruh terhadap karakter visual tekstur dibandingkan ukuran *moving window* pada data ALOS-2 PALSAR-2 yang digunakan.

Tekstur pada polarisasi HH cenderung memperlihatkan kontras visual yang lebih kuat sehingga karakteristik perkebunan kelapa sawit lebih mudah dikenali. Sebaliknya, polarisasi HV menghasilkan tampilan yang lebih halus dengan perbedaan tonal yang tidak sekuat HH. Karakteristik tersebut sejalan dengan prinsip hamburan radar, di mana polarisasi HH umumnya lebih sensitif terhadap variasi struktur permukaan dan tajuk vegetasi dibandingkan polarisasi HV, meskipun respons aktual tetap dipengaruhi oleh karakteristik vegetasi, geometri akuisisi, dan panjang gelombang sensor [19][20]. Secara keseluruhan, hasil analisis komparatif menunjukkan bahwa setiap parameter GLCM memiliki karakter visual yang khas dalam merepresentasikan tekstur perkebunan kelapa sawit. Parameter *contrast* lebih efektif menonjolkan heterogenitas lokal, *entropy* menggambarkan kompleksitas tekstur, *homogeneity* menampilkan tingkat keseragaman spasial, sedangkan *variance* memberikan representasi yang paling seimbang antara variasi internal dan kontinuitas spasial. Oleh karena itu, keempat parameter tersebut tidak bersifat saling menggantikan, melainkan memberikan perspektif yang berbeda terhadap karakteristik tekstur perkebunan kelapa sawit. Dalam konteks interpretasi visual penelitian ini, parameter *variance* memberikan visualisasi yang paling informatif untuk mendeskripsikan karakteristik tekstur perkebunan kelapa sawit pada citra ALOS-2 PALSAR-2, sementara *contrast*, *entropy*, dan *homogeneity* berperan sebagai informasi pelengkap yang memperkaya pemahaman terhadap variasi tekstur yang diamati.



Gambar 7: Perbandingan citra resolusi tinggi Google Earth dan hasil ekstraksi parameter *variance* GLCM yang menunjukkan perbedaan karakteristik tekstur antara area perkebunan kelapa sawit (merah) dan area non-sawit (biru).

Berdasarkan interpretasi visual terhadap seluruh konfigurasi GLCM yang dievaluasi, parameter *variance* memberikan representasi tekstur yang paling informatif dalam konteks penelitian ini karena mampu mempertahankan keseimbangan antara detail lokal dan kontinuitas spasial sehingga pola internal maupun batas blok perkebunan tetap dapat dikenali dengan baik. Untuk memperjelas kemampuan parameter tekstur

yang dipilih dalam merepresentasikan karakteristik spasial vegetasi, dilakukan perbandingan visual antara citra resolusi tinggi Google Earth dengan hasil ekstraksi tekstur GLCM. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, area perkebunan kelapa sawit memperlihatkan pola tekstur yang relatif berbeda dibandingkan area non-sawit pada citra referensi Google Earth. Perbedaan tersebut tetap dapat diamati pada citra hasil ekstraksi parameter *variance*, di mana area kelapa sawit membentuk pola tekstur yang lebih konsisten dan mudah dikenali, sedangkan area non-sawit menunjukkan distribusi nilai tekstur yang berbeda sehingga menghasilkan kontras spasial yang jelas. Meskipun parameter tekstur GLCM tidak mempertahankan informasi spektral maupun bentuk objek secara langsung, pola distribusi nilai tekstur yang dihasilkan masih mampu merepresentasikan perbedaan karakteristik permukaan secara visual. Hasil ini mengindikasikan bahwa parameter *variance* memiliki kemampuan yang baik dalam mempertahankan informasi heterogenitas spasial sehingga memberikan representasi visual yang paling informatif untuk membedakan area kelapa sawit dan non-sawit. Temuan tersebut sejalan dengan konsep dasar GLCM yang menyatakan bahwa parameter tekstur mampu menangkap variasi lokal berdasarkan distribusi hubungan antar tingkat keabuan sehingga efektif digunakan mengkarakterisasi tutupan lahan yang memiliki pola spasial berbeda [5] [6].

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa konfigurasi parameter *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) sangat memengaruhi kualitas interpretasi visual karakteristik perkebunan kelapa sawit pada citra ALOS-2 PALSAR-2. Setiap parameter menghasilkan representasi spasial yang berbeda; parameter *variance* teridentifikasi sebagai parameter yang paling representatif dan informatif karena mampu mempertahankan keseimbangan antara detail lokal dan kontinuitas batas blok perkebunan. Sementara itu, parameter *contrast* lebih efektif menonjolkan heterogenitas lokal dan batas antararea, *entropy* menggambarkan kompleksitas pola tekstur, dan *homogeneity* memperlihatkan tingkat keseragaman tekstur.

Terkait sensitivitas konfigurasi, perubahan tingkat kuantisasi memberikan dampak visual yang lebih signifikan (terutama pada *entropy* dan *homogeneity*) dibandingkan variasi ukuran *moving window* yang umumnya hanya menghasilkan efek penghalusan spasial (*spatial smoothing*). Selain itu, penggunaan polarisasi HH secara konsisten memberikan kontras visual yang lebih kuat dan informatif dibandingkan polarisasi HV dalam mengidentifikasi tekstur kelapa sawit.

Mengingat penelitian ini berbasis interpretasi visual secara deskriptif pada satu wilayah studi, penelitian mendatang disarankan untuk melakukan evaluasi secara kuantitatif (seperti *multi-observer assessment*), membandingkan karakteristik visual tekstur pada sistem sensor radar dengan panjang gelombang yang berbeda (seperti *band-C* atau *band-X*), serta menguji konsistensi metode pada wilayah dengan kondisi perkebunan yang lebih beragam.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada JAXA atas penyediaan citra ALOS-2 PALSAR-2 yang digunakan dalam penelitian ini. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemendikti Saintek) atas dukungan pendanaan yang diberikan dalam penelitian ini. Apresiasi tinggi juga disampaikan kepada LP2M Itenas Bandung, Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Bandung, serta *Center for Environmental Remote Sensing* (CEReS), Chiba University, Jepang, atas fasilitas dan dukungan akademik yang disediakan. Lebih lanjut, penulis berterima kasih kepada PT Perkebunan Nusantara III (PTPN III) Sei Dadap, Asahan, Sumatera Utara.

6. Singkatan

GLCM	Grey Level Co-occurrence Matrix
%	Persentase
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
ALOS-2	Advanced Land Observing Satellite-2
PALSAR-2	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar-2

7. Referensi

- [1] Corley, R. and Tinker, P. (2015) *The Oil Palm*. Fifth Edition, John Wiley and Sons, Oxford, 239. <https://doi.org/10.1002/9781118953297>
- [2] Chong, K. L., Kanniah, K. D., Pohl, C., & Tan, K. P. (2017). A review of remote sensing applications for oil palm studies. *Geo-Spatial Information Science*, 20(2), 184–200. <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1337317>

- [3] Shimada, M., Isoguchi, O., Tadono, T., & Isono, K. (2009). PALSAR radiometric and geometric calibration. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(12), 3915–3932. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2023909>
- [4] Darmawan, S., Carolita, I., Hernawati, R., Dirgahayu, D., Agustan, Permadi, D. A., Sari, D. K., Suryadini, W., Wiratmoko, D., & Kunto, Y. (2021). The Potential Scattering Model for Oil Palm Phenology Based on Spaceborne X-, C-, and L-Band Polarimetric SAR Imaging. *Journal of Sensors*, 2021(March), 1–14. <https://doi.org/10.1155/2021/6625774>
- [5] Haralick, Robert M., Shanmugam, K. A., & Dinstein, I. (1973). Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-3, No., 610–621. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>
- [6] Clausi, D. A. (2002). An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28(1), 45–62. <https://doi.org/10.5589/m02-004>
- [7] Hall-Beyer, M. (2017). Practical guidelines for choosing GLCM textures to use in landscape classification tasks over a range of moderate spatial scales. *International Journal of Remote Sensing*, 38(5), 1312–1338. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1278314>
- [8] Attarchi, S., & Gloaguen, R. (2014). Improving the estimation of above ground biomass using dual polarimetric PALSAR and ETM+ data in the Hyrcanian mountain forest (Iran). *Remote Sensing*, 6(5), 3693–3715. <https://doi.org/10.3390/rs6053693>
- [9] Darmawan, S., Takeuchi, W., Haryati, A., Najib, R. A. M. A. M., & Na'Aim, M. (2016). An investigation of age and yield of fresh fruit bunches of oil palm based on ALOS PALSAR 2. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 37(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012037>
- [10] Hernawati, R., Wikantika, K., Darmawan, S., Harto, A. B., Sri Sumantyo, J. T., & Safitri, S. (2024). Phenology Model of Oil Palm Plantation Based on Biophysical Parameter on Sentinel-1A Using Multiple Linear Regression (MLR) [Springer India]. In *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1007/s12524-024-01973-4>
- [11] Lee, J. Sen, & Pottier, E. (2009). *Polarimetric Radar Imaging: From Basic To Application*. Taylor & Francis Group.
- [12] Kuplich, T. M., Curran, P. J., & Atkinson, P. M. (2003). Relating SAR image texture and backscatter to tropical forest biomass. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 4(C), 2872–2874. <https://doi.org/10.1109/igarss.2003.1294615>
- [13] Champion, I., Dubois-Fernandez, P., Guyon, D., & Cottrel, M. (2008). Radar image texture as a function of forest stand age. *International Journal of Remote Sensing*, 29(6), 1795–1800. <https://doi.org/10.1080/01431160701730128>
- [14] Champion, I., Germain, C., Da Costa, J. P., Alborini, A., & Dubois-Fernandez, P. (2014). Retrieval of forest stand age from SAR image texture for varying distance and orientation values of the gray level Co-Occurrence matrix. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(1), 5–9. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2013.2244060>
- [15] Chen, L., Wang, Y., Ren, C., Zhang, B., & Wang, Z. (2019). Assessment of multi-wavelength SAR and multispectral instrument data for forest aboveground biomass mapping using random forest kriging. *Forest Ecology and Management*, 447(May), 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.057>
- [16] Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis: An introduction* (4th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>
- [17] Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- [18] Jensen, J. R. (2016). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective* (4th ed.). Pearson.
- [19] Henderson, F. M., & Lewis, A. J. (Eds.). (1998). *Principles and applications of imaging radar* (Manual of Remote Sensing, 3rd ed., Vol. 2). John Wiley & Sons.
- [20] Richards, J. A. (2009). *Remote sensing with imaging radar*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02020-9>