

PEMBENTUKAN MODEL LEAF AREA INDEX (LAI) TANAMAN PADI PADA CITRA HYPERSPECTRAL BERBASIS SPEKTRAL IN SITU UNTUK PEMANTAUAN FASE TUMBUH PADI

Abdi Sukmono¹, Nurhadi Bashit

¹Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang-50277 Telp./Faks: (024) 76480788,
e-mail: sukmono35@gmail.com

(Diterima 23 Oktober 2019, Disetujui 11 November 2019)

ABSTRAK

Leaf Area Index (LAI) atau indeks kerapatan daun pada tanaman padi sangat erat kaitannya dengan fase pertumbuhan tanaman. Dalam manajemen pertanian pemantauan fase pertumbuhan ini sangat penting untuk mengetahui luas lahan siap panen pada beberapa waktu ke depan. Teknologi penginderaan jauh dengan sensor hyperspectral dapat membantu untuk melakukan pemetaan distribusi kerapatan daun tanaman padi dalam wilayah yang luas secara efektif dan efisien. Dalam estimasi indeks kerapatan daun tanaman padi dengan citra hyperspectral diperlukan algoritma khusus untuk mendapatkan akurasi yang baik.

Dalam penelitian ini digunakan beberapa indeks vegetasi seperti Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI), Multiple Simple Ratio (MSR), Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) dan bentuk modifikasi dari Triangle Vegetation Index (MTVI 1 dan MTVI 2) untuk estimasi kerapatan daun tanaman padi. Pemodelan dilakukan menggunakan metode regresi dari data pengukuran spectral in situ dan kerapatan daun in situ. Selain itu dalam penelitian ini juga digunakan metode pendekatan model dengan Multiple Linear Regression (MLR) dan Partial Least Square Regression (PLSR).

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa RDVI, MTVI 1 dan PLSR 44 Band pada PC no 07 cukup efektif untuk estimasi kerapatan daun tanaman padi. Model hubungan korelasi RDVI dengan kerapatan daun mempunyai Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.903 dan RMSE 0.62 LAI unit. Untuk MTVI 1 mempunyai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.886 dan RMSE 0.68 SPAD unit. Kemudian untuk PLSR 44 band mempunyai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.938 dan RMSE sebesar 0.29 LAI unit. Hasil Validasi model dengan citra Airborne HyMap menghasilkan R^2 sebesar 0.905 untuk RDVI, 0.89 untuk MTVI 1 dan 0.97 untuk PLSR 44 band.

Kata kunci : Fase Tumbuh, Hiperspektral, LAI, Padi

ABSTRACT

Leaf Area Index (LAI) or leaf density index in rice plants is very closely related to the phase of plant growth. In agricultural management, monitoring the growth phase is very important to know the area of land ready for harvest in the future. Remote sensing technology with hyperspectral sensors can help to map the density distribution of leaves of rice plants in large areas effectively and efficiently. In estimating the density index of rice leaves with hyperspectral images a special algorithm is needed to get good accuracy.

In this research, several vegetation indices are used such as Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI), Multiple Simple Ratio (MSR), Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) and modified forms of Triangle Vegetation Index (MTVI 1 and MTVI 2) to estimate plant leaf density rice. Modeling is done using a regression method of in situ spectral measurement data and in situ leaf density. In addition, this research also uses a model approach method with Multiple Linear Regression (MLR) and Partial Least Square Regression (PLSR).

The results of this study indicate that RDVI, MTVI 1 and PLSR 44 Band on PC no 07 are quite effective for estimating leaf density of rice plants. The correlation model of RDVI with leaf density has a coefficient of determination (R^2) of 0.903 and RMSE of 0.62 LAI units. For MTVI 1 it has a coefficient of determination (R^2) of 0.886 and RMSE of 0.68 SPAD units. Then for the 44 band PLSR it has a coefficient of determination (R^2) of 0.938 and an RMSE of 0.29 LAI units. The results of the model validation with the Airborne HyMap image resulted in R^2 of 0.905 for RDVI, 0.89 for MTVI 1 and 0.97 for PLSR 44 band.

Keywords : Growth Stage, Hyperspectral, LAI, Rice

1. PENDAHULUAN

Padi merupakan tanaman yang strategis bagi ketahanan pangan Indonesia. Berdasarkan data BPS tahun 2012, 95% dari 236 juta jiwa penduduk Indonesia mengkonsumsi beras sebagai makanan pokoknya. Pertumbuhan penduduk Indonesia yang cukup tinggi mengakibatkan tingkat konsumsi beras Indonesia mengalami kenaikan 3 % pertahun hingga mencapai 34 juta ton pada tahun 2013. Untuk memenuhi kebutuhan beras nasional ini diperlukan usaha manajemen pengelolaan beras secara baik.

Kebutuhan konsumsi beras harus dapat diimbangi dengan ketersediaan pasokan beras yang ada. Estimasi tingkat konsumsi dan tingkat ketersediaan beras kedepan harus dapat dihitung secara cepat. Hal ini diperlukan untuk dapat mengantisipasi permasalahan kekurangan pangan sehingga kebijakan terkait pangan ini dapat dilakukan secara cepat dan tepat tanpa menimbulkan permasalahan lain.

Produktivitas beras pada waktu yang akan datang berhubungan dengan luas lahan siap panen yang dapat dihitung dari data pengamatan fase pertumbuhan tanaman padi. Data fase pertumbuhan memberikan waktu siap panen pada masing-masing luasan fase tumbuh. Data waktu dan luasan ini dapat dikombinasikan dengan data produktivitas tiap luasan sehingga diperoleh produktivitas pada waktu tertentu.

Menurut Haboudane (2004) kerapatan daun (Leaf Area Index) sangat erat hubungannya dengan fase pertumbuhan tanaman padi. Semakin rapat tanaman padi akan menunjukkan peningkatan fase pertumbuhan (vegetatif, reproduktif dan ripening). Pemantauan fase pertumbuhan ini sangat penting untuk mengetahui luas lahan siap panen pada N bulan ke depan.

Pendeteksian kerapatan daun secara konvensional pada area yang luas membutuhkan waktu yang cukup lama dan tenaga yang memadai. Padahal kebutuhan data kerapatan daun ini diperlukan cepat untuk analisa dari tingkat fase tumbuh dan hasil produksi tanaman tersebut. Untuk itu diperlukan suatu teknologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi kandungan klorofil daun secara cepat dan efisien.

Penginderaan jauh dapat memberikan solusi untuk pendeteksian kerapatan daun ini secara cepat. Apalagi perkembangan teknologi penginderaan jauh sekarang telah berkembang cukup pesat. Penginderaan jauh umumnya sangat berkaitan erat dengan radiasi matahari yang dipantulkan. Para ilmuwan dan pengguna citra penginderaan jauh (fotografi atau citra satelit) menggunakan informasi panjang gelombang tersebut dalam menganalisis suatu objek yang kemudian disebut sebagai spectral signatures.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh yang saat ini sedang berkembang yaitu teknologi airborne

hyperspectral yang merupakan pengembangan dari teknologi multispektral, yang memiliki ratusan kanal yang sempit sehingga mampu menyajikan spektral yang continue pada setiap objek yang diamati. Dengan memiliki ratusan bahkan ribuan kanal yang sempit, data hiperspektral mampu menyajikan informasi jauh lebih detil daripada data kanal lebar dalam menghitung variabel-variabel biofisik tanaman sehingga data estimasinya lebih mendekati nilai sesungguhnya. Akan tetapi untuk penerapan teknologi airborne hyperspectral pada kerapatan daun jenis tanaman yang spesifik masih memerlukan studi terkait spectral signature/model yang paling baik untuk menentukan estimasi yang terbaik.

Tujuan penelitian ini adalah Mendapatkan panjang gelombang optimal untuk perhitungan Klorofil dengan menggunakan data ground spectrometer/FieldSpec.” Serta mendapatkan model untuk perhitungan kerapatan daun tanaman padi pada citra hyperspectral sensor hmap.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Interpretasi Hibrida

Interpretasi visual digunakan untuk deliniasi satuan pemetaan yang berupa blok bangunan. Menurut Suharyadi (2011) satuan pemetaan lahan terbangun (bangunan) merupakan penutup lahan yang berupa blok bangunan yang dibatasi oleh perbedaan karakteristik spektral pada citra, dan dibatasi oleh kenampakan alamiah (sungai, jalan raya, dan selokan). Interpretasi visual menggunakan unsur-unsur interpretasi seperti rona/warna, bentuk, tekstur, dan letak/asosiasi. Sedangkan interpretasi hibrida Merupakan interpretasi yang menggabungkan interpretasi visual untuk deliniasi objek/satuan pemetaan berupa blok bangunan dan analisis digital untuk identifikasi kepadatan bangunan (Suharyadi, 2011).

2.2 Kepadatan Bangunan

Menurut UU Nomor 28 Tahun 2002 bangunan gedung didefinisikan sebagai wujud fisik pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus.

Kepadatan bangunan adalah proses pertambahan kepadatan bangunan yang bersifat vertikal dan horizontal. Kepadatan bangunan tidak selamanya berakibat negatif karena bisa dimungkinkan adanya kepadatan bangunan adalah upaya untuk meratakan perkembangan fisik kota namun tetap perlu dikendalikan (Treman, 2012).

2.3 Urban Index (UI) dan Building Coverage Ratio (BCR)

Transformasi UI menggunakan saluran inframerah dekat (VNIR) dan inframerah tengah II (SWIR-2). Algoritma UI pada Landsat 7 ETM+ memanfaatkan saluran 7 dan 4 sedangkan pada Landsat 8 OLI/TIRS memanfaatkan saluran 7 dan 5. Adapun formula transformasi Urban Index adalah sebagai berikut (Danoedoro, 2012).

$$Urban\ Index = \left(\frac{BV\ SWIR\ II - BV\ NIR}{BV\ SWIR\ II + BV\ NIR} + 1 \right) \times 100 \dots (1)$$

$$Urban\ Index = \left(\frac{BV\ SWIR\ II - BV\ NIR}{BV\ SWIR\ II + BV\ NIR} + 1 \right) \times d$$

Keterangan:

- BV = *brightness value*
- SWIR II = saluran *shortwave infrared II*
- NIR = saluran *near infrared*

Klasifikasi kepadatan bangunan menggunakan *Urban Index* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi Kepadatan Bangunan UI (Suharyadi, 2011)

No	Kepadatan Bangunan	Kunci Interpretasi
1	Rendah	r UI < 65
2	Sedang	(r UI 65-80 dan r b5 < 0.14)
3	Tinggi	r UI > 80 atau (r UI 65-80 dan r b5 > 0.14)

Building Coverage Ratio (BCR) adalah metode yang digunakan dalam menentukan kepadatan bangunan di blok bangunan. Peta kepadatan bangunan BCR kemudian dimanfaatkan sebagai peta kepadatan bangunan rujukan (Puspitasari, 2016). Rumus kepadatan bangunan dengan metode ini ditunjukkan oleh rumus (2) dan klasifikasinya ditunjukkan oleh Tabel 2.

$$BCR = \frac{Jumlah\ luas\ tutupan\ atap\ satuan\ pemetaan}{Luas\ satuan\ pemetaan\ (blok\ bangunan)} \times 100\% \dots (2)$$

Tabel 2 Klasifikasi Kepadatan Bangunan BCR (Nugraha, 2014)

No	Kelas Kepadatan	Nilai Kepadatan	Keterangan
1	I	>70%	Padat
2	II	50-70%	Sedang
3	III	10-50%	Jarang
4	IV	<10%	Bukan Bangunan

2.4 Standard Deviation Ellips

Arah distribusi dapat ditentukan menggunakan *Standard Devitional Ellipse*, *Standard Devitional Ellipse* adalah suatu metode untuk menganalisis karakteristik spasial fitur geografis seperti pusat kecondongan, sebaran dan arah pola. *Standard Devitional Ellipse* menghitung jarak standar pada arah x dan y untuk menentukan arah sumbu *elips* pada sebaran fitur (Sa'diyah, 2016).

2.5 Kecepatan Perubahan Luas Kepadatan Bangunan

Yunus (2001) dalam Ratnasari (2016) merumuskan nilai rata-rata penambahan lahan bangunan sebagai berikut:

$$Plt = \frac{St (T2) - St (T1)}{T} \dots (3)$$

Keterangan:

- Plt = rata-rata pertambahan lahan bangunan
- St = *settlement* (Ha)
- T2 = tahun akhir pengamatan
- T1 = tahun awal pengamatan
- T = selisih waktu pengamatan (T2-T1)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Ungaran pada Kecamatan Ungaran Barat dan Ungaran Timur. Kedua kecamatan ini merupakan wilayah yang berkembang pesat di Kabupaten Semarang. Kecamatan Ungaran Barat dan Ungaran Timur merupakan perifer dari Kota Semarang sehingga wilayah ini sangat berkembang.

3.2 Metodologi

3.2.1 Preprocessing Citra Landsat

a) Landsat Gap Fill

Dilakukan pada data Landsat 7 akibat adanya kesalahan sensor sehingga mengakibatkan gap-gap piksel pada citra. Landsat *gap fill* dilakukan dengan

menggunakan *plugin* khusus Landsat *Gap Fill* di *software* ENVI Classic 5.1.

b) Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik dilakukan dengan mengkonversi nilai *digital number* (DN) menjadi nilai reflektan *top of atmosphere* (TOA).

c) Koreksi Geometri

Koreksi geometri dilakukan dengan *image to map* terhadap citra WorldView tahun 2015 yang sudah terortorektifikasi.

d) Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan dengan menggunakan data batas administrasi Kecamatan Ungaran Barat dan Ungaran Timur yang berbentuk vektor untuk memfokuskan penelitian ini pada daerah tersebut.

e) Uji Geometri

Uji geometri dilakukan untuk mengecek kualitas citra Worldview karena citra Worldview didapatkan dalam penelitian sudah terortorektifikasi. Pengecekan kualitas berguna untuk menentukan layak tidaknya citra Worldview digunakan dalam penelitian ini. Uji geometri dalam penelitian ini menggunakan perbandingan data ukuran di lapangan dengan data ukuran pada citra Worldview.

3.2.1 Pengolahan Data

a) Interpretasi Visual Landsat

Interpretasi satuan pemetaan pada citra Landsat menggunakan teknik interpretasi visual untuk membedakan antara lahan terbangun berupa blok bangunan dan bukan lahan terbangun. Blok bangunan diinterpretasi berdasarkan perbedaan spektral dan kenampakan alamiah seperti jalan atau sungai serta memperhitungkan skala keluaran. Perbedaan spektral didapatkan dari penggunaan komposit warna. Komposit warna yang utama digunakan yaitu saluran 4, 3, 2 pada Landsat 7 dan 5, 4, 3 pada Landsat 8. Selain komposit tersebut penelitian ini juga menggunakan komposit lainnya sebagai bantuan yaitu 7, 5, 3 pada Landsat 7 dan 7, 6, 4 pada Landsat 8. Penggunaan komposit tersebut bertujuan untuk mempermudah interpretasi lahan terbangun di daerah sub urban dan untuk membedakan antara sawah dengan lahan terbangun.

b) Transformasi Urban Index

Transformasi ini menggunakan rumus (1) dimana sebagai *input* menggunakan *band* inframerah dekat (NIR) dan inframerah jauh II (SWIR II).

c) Interpretasi Hibrida

Interpretasi hibrida dilakukan dengan meratakan nilai hasil *urban index* pada setiap satuan

pemetaan dengan menggunakan *tool zonal statistics*. Klasifikasi hasil interpretasi hibrida menggunakan Tabel 1.

d) Interpretasi Visual Citra WorldView

Penggunaan citra WorldView yang memiliki resolusi tinggi ini agar diperoleh peta kepadatan bangunan rujukan yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Informasi kepadatan bangunan dengan citra WorldView didapatkan dari metode digitasi *on screen*. Digitasi tetap dilakukan dengan membuat blok-blok bangunan yang dibatasi oleh kenampakan alamiah seperti jalan dan sungai serta kenampakan spektral.

e) Building Coverage Ratio

Building Coverage Ratio (BCR) dilakukan pada hasil interpretasi visual citra Worldview. Tujuan dilakukannya BCR ini adalah untuk mengetahui tingkat kepadatan bangunan di satuan pemetaan. Perhitungan BCR menggunakan rumus (II.2) yang membandingkan antara luasan bangunan di blok bangunan tersebut dengan luasan blok itu sendiri. Klasifikasi kepadatan bangunannya menggunakan klasifikasi pada Tabel 2.

f) Validasi Building Coverage Ratio

Validasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel yang diharapkan dapat mewakili seluruh populasi dalam area penelitian. Pengambilan sampel menggunakan teknik non probabilitas yaitu tidak semua anggota populasi mempunyai kesempatan untuk menjadi sampel, hanya blok-blok kecil yang berisi sedikit rumah saja yang bisa menjadi sampel. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat pengukuran luasan sehingga hanya dapat mengukur untuk blok yang kecil. Jumlah sampel yang diambil yaitu 30 sampel menurut Gay dan Diehl (1992) dalam Amirullah (2015). Validasi dilakukan dengan mengukur luas bangunan di suatu blok bangunan lalu dihitung tingkat kepadatan bangunannya dan dibandingkan dengan kepadatan bangunan di citra WorldView. Perhitungan akurasi menggunakan rumus seperti yang dipakai oleh (Puspitasari, 2016).

$$Kp = \left| \frac{x}{x'} \right| * 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

Kp = Ketelitian Pemetaan

X = rerata kepadatan bangunan objek A pada citra

X' = rerata kepadatan bangunan objek A di lapangan

e) Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan menggunakan matrik konfusi. Matrik konfusi yang terbentuk antara citra WorldView tahun 2015 sebagai peta referensi

dengan hasil interpretasi hibrida sebagai hasil klasifikasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kalibrasi Radiometrik

Pada Landsat 7 rentang nilai piksel asli adalah 0 – 255. Setelah dilakukan kalibrasi radiometrik menjadi kurang dari 1. Sedangkan pada Landsat 8 nilai piksel asli berada pada rentang 0 – 65535. Setelah dilakukan kalibrasi radiometrik menjadi kurang dari 1.

4.2 Hasil Koreksi Geometri

Nilai RMSE pada citra Landsat tahun 2009 sebesar 0,19544, tahun 2012 sebesar 0,21107, tahun 2015 sebesar 0,20520 dan tahun 2018 sebesar 0,20025. Nilai RMSE pada masing-masing citra Landsat sudah memenuhi syarat kurang dari 1 piksel.

4.3 Uji Geometri

Uji geometri dilakukan dengan membandingkan data ukuran yang ada pada citra dengan data ukuran di lapangan. Data sampel yang diambil adalah 30 sampel tersebar di seluruh wilayah Ungaran Barat dan Ungaran Timur. Penentuan titik sampel dilakukan dengan acak namun tetap memperhatikan jarak dan letak antar sampel. Sampel yang diuji berupa lebar jalan, jembatan, dan lapangan karena ketiga objek tersebut yang dapat terlihat jelas di citra dan dapat diukur di lapangan. Nilai RMSE yang didapat dalam uji geometri ini adalah 1,801 m. Untuk uji ketelitian peta mengacu pada PERKA BIG Nomor 15 Tahun 2014 masuk pada peta skala 1:5.000 kelas 3.

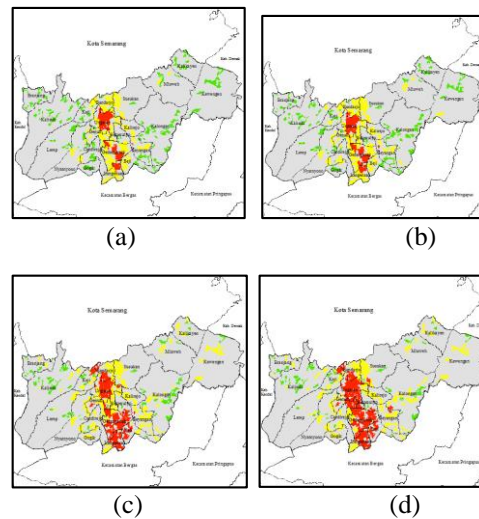
4.4 Hasil Transformasi Urban Index

Hasil *urban index* pada tahun 2009 dan 2012 menunjukkan rentang -9,20818 sampai 140,038 dan -29,2395 sampai 135,98. Terdapat nilai negatif karena ada beberapa piksel hasil Landsat *gap fill* yang tidak sempurna sehingga mengakibatkan piksel tersebut menjadi bernilai negatif. Sedangkan pada tahun 2015 dan 2018. hasil *urban index* menunjukkan rentang nilai 17,6407 sampai 138,102 dan 14,8073 sampai 141,392. Hasil *urban index* tersebut kemudian akan digunakan sebagai penentu tingkat kepadatan bangunan.

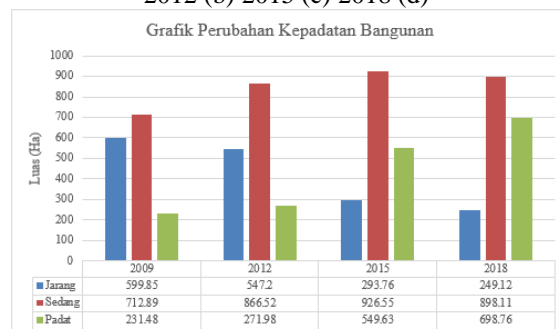
4.5 Hasil Interpretasi Hibrida

Hasil interpretasi hibrida didapatkan dari hasil rata-rata nilai *urban index* pada setiap satuan pemetaan yang dibagi menjadi 4 kelas yaitu bukan

bangunan yang ditunjukkan oleh warna abu-abu, jarang berwarna hijau, sedang berwarna kuning, dan padat berwarna merah. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *tool zonal statistics*. Hasil nilai rata-rata pada setiap blok pemetaan diklasifikasikan ke kelas kepadatan yang merujuk kepada Suharyadi (2011) seperti pada Tabel 1. Kelas kepadatan jarang mendominasi di daerah pedesaan, kelas kepadatan sedang banyak ditemui di daerah sub urban atau pinggiran perkotaan, dan kelas kepadatan padat mendominasi di pusat perkotaan dan sepanjang jalan utama Ungaran. Berikut adalah hasil interpretasi hibrida di Kecamatan Ungaran Timur dan Barat pada tahun 2009-2018.



Gambar 1 Hasil interpretasi hibrida tahun 2009 (a) 2012 (b) 2015 (c) 2018 (d)

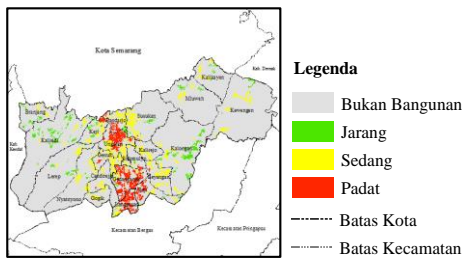


Gambar 2 Grafik Kepadatan Bangunan tahun 2009-2018

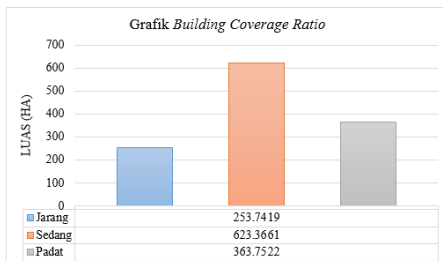
4.6 Hasil Building Coverage Ratio

Perolehan nilai kepadatan bangunan dilakukan dengan metode *Building Coverage Ratio* (BCR). Untuk mengetahui tingkat kepadatan bangunan dilakukan digitasi blok bangunan dan digitasi bangunan untuk mengetahui luasan dari blok bangunan dan bangunan di blok tersebut. BCR yaitu perbandingan antara luas bangunan di suatu blok terhadap luas blok bangunan seperti pada rumus (2),

maka akan didapatkan tingkat kepadatan bangunan pada setiap blok bangunan. Kelas kepadatan bangunan merujuk Nugraha (2014) seperti pada Tabel 2.



Gambar 3 Hasil *building coverage ratio*



Gambar 4 Grafik hasil *building coverage ratio*

4.7 Validasi Building Coverage Ratio

Validasi dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan menggunakan pita ukur. Pengambilan sampel menggunakan teknik non probabilitas yaitu hanya blok-blok kecil yang berisi sedikit rumah saja yang bisa menjadi sampel karena keterbatasan alat. Jumlah sampel yang diambil yaitu 30 sampel menurut Gay dan Diehl (1992) dalam Amirullah (2015). Hasil validasi *building coverage ratio* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil validasi lapangan

Nomor Sampel	Kepadatan Bangunan (%)		Ketelitian Pemetaan (%)
	Interpretasi	Lapangan	
1	73,113	51,244	70,089
2	39,393	40,863	96,404
3	63,003	64,455	97,747
4	84,369	77,166	91,463
5	57,303	56,248	98,159
6	19,985	20,996	95,182
7	67,124	63,491	94,588
8	39,227	34,596	88,196
9	49,130	51,853	94,748
10	44,520	49,986	89,065
11	44,299	41,902	94,588
12	37,365	41,757	89,483
13	38,977	36,547	93,766
14	79,397	98,837	80,331

15	54,114	58,158	93,047
16	84,636	95,455	88,666
17	91,920	83,897	91,272
18	71,204	73,965	96,267
19	69,729	51,498	73,854
20	79,008	88,646	89,127
21	65,526	58,643	89,496
22	62,633	60,846	97,146
23	71,298	72,512	98,325
24	84,051	87,081	96,521
25	92,851	82,235	88,567
26	65,255	97,817	66,711
27	66,234	52,021	78,541
28	56,292	60,911	92,417
29	18,293	21,771	84,027
30	56,537	53,976	95,470
Rata-rata			89,775

4.8 Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan peta kepadatan bangunan hasil interpretasi hibrida dengan peta kepadatan bangunan rujukan yaitu hasil BCR. Congalton dan Green (2009) mengungkapkan bahwa *overall accuracy* yang dapat diterima adalah 85%. *Overall accuracy* pada penelitian ini adalah 89,7035% yang mana melebihi batas *overall accuracy* yang dapat diterima. Sehingga dapat dikatakan perolehan informasi tingkat kepadatan bangunan dengan citra Landsat memenuhi ambang batas akurasi yang dapat diterima. *Kappa accuracy* menunjukkan angka 0,6188 termasuk dalam kelas *moderate agreement*.

Tabel 4 Matrik konfusi

Kelas	Bukan Bangunan	Jarang	Sedang	Padat	Total
Bukan Bangunan	89085	783	1165	305	91338
Jarang	1420	1715	108	10	3253
Sedang	4551	247	5297	186	10281
Padat	2201	21	429	3447	6098
Total	97257	2766	6999	3948	110970
Overall Accuracy					89,7035 %
Kappa Accuracy					0,6188

4.8 Kecepatan Perubahan Luasan Kepadatan Bangunan

Kecepatan perubahan luasan kepadatan bangunan dihitung dari lahan yang mengalami perubahan luasan dengan tahun pengamatan seperti rumus (3).

$$\begin{aligned}
 Plt\ 2009 - 2012 &= \frac{St(T2) - St(T1)}{T} \\
 &= \frac{1685,70 - 1554,22}{2012 - 2009} \\
 &= 43,8267\ Ha/tahun
 \end{aligned}$$

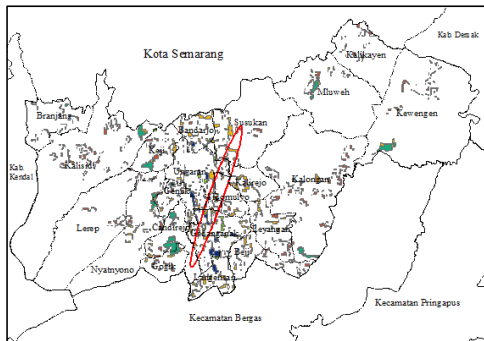
$$\begin{aligned}
 Plt\ 2012 - 2015 &= \frac{St(T2) - St(T1)}{T} \\
 &= \frac{1769,94 - 1685,70}{2015 - 2012} \\
 &= 26,4133\ Ha/tahun
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Plt\ 2015 - 2018 &= \frac{St(T2) - St(T1)}{T} \\
 &= \frac{1845,99 - 1769,94}{2018 - 2015} \\
 &= 25,350\ Ha/tahun
 \end{aligned}$$

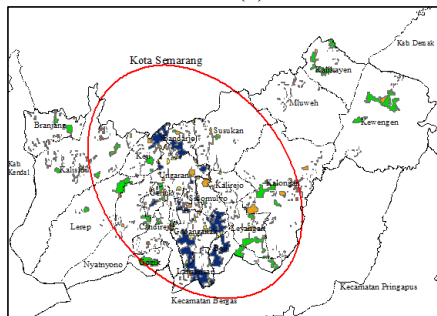
$$\begin{aligned}
 Rerata\ 2009 - 2018 &= \frac{43,8267 + 26,4133 + 25,350}{3} \\
 &= 31,863\ Ha/tahun
 \end{aligned}$$

Rata-rata perubahan luasan bangunan pertahun pada periode 2009-2018 adalah 31,863 Ha/tahun. Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa pada tahun 2009-2012 mengalami perubahan luasan bangunan yang paling signifikan sedangkan pada tahun 2012-2015 dan 2015-2018 cenderung memiliki perubahan luasan bangunan yang stabil.

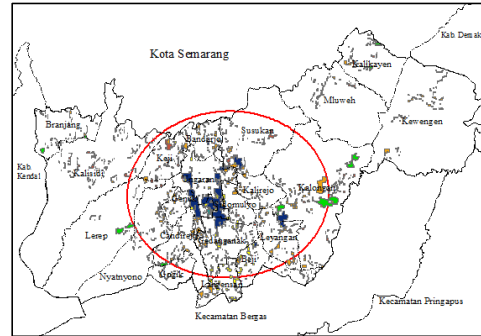
4.9 Arah Perubahan Kepadatan Bangunan



(a)



(b)



(c)

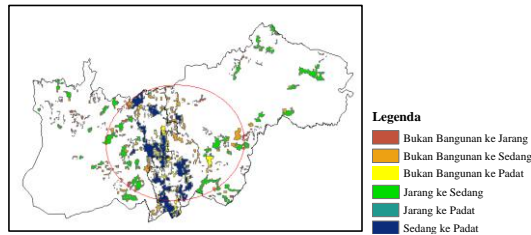
Gambar 5 Arah perubahan kepadatan bangunan tahun 2009-2012 (a), 2012-2015 (b), dan 2015-2018 (c)

Tabel 5 Atribut ellips arah perubahan kepadatan bangunan

Tahun	Center X (m)	Center Y (m)	Standar Deviasi X	Standar Deviasi Y	Rotasi
2009-2012	435255,48901	9210984,3464	265,13966	2812,89525	19,63862°
2012-2015	435167,83242	9211656,7060	5272,8039	3845,73953	143,07756°
2015-2018	435430,27655	9211353,1938	3142,07337	3810,83936	88,058897°

Arah perubahan kepadatan bangunan dari timur laut ke barat daya pada tahun 2009-2012. Pada tahun 2012-2015, perubahan kepadatan bangunan mengarah dari tenggara ke barat laut dan pada tahun 2015-2018 perubahan kepadatan bangunan mengarah dari timur ke barat dengan pada tahun 2015-2018. Arah perubahan bersifat vertikal terhadap pusat ellips atau lebih mengarah ke sumbu Y menunjukkan bahwa arah perubahan kepadatan bangunan di Kecamatan Ungaran Timur dan Ungaran Barat ke daerah sub urban atau pinggiran kota sepanjang jalan utama.

Berikut adalah hasil analisis arah perubahan kepadatan bangunan dari tahun 2009 hingga 2018.



Gambar 6 Arah perubahan kepadatan bangunan tahun 2009-2018

Tabel 6 Atribut ellips arah perubahan kepadatan bangunan tahun 2009-2018

Tahun	Center X (m)	Center Y (m)	Standar Deviasi X	Standar Deviasi Y	Rotasi
2009-2018	435644,750184	9211263,30783	3068,845105	3677,953725	85,108747°

Dari ellips diatas dapat dilihat bahwa perubahan kepadatan bangunan banyak terjadi di daerah pusat kota sepanjang jalan utama dan daerah pinggiran perkotaan. Pada daerah pusat perkotaan sepanjang jalan utama didominasi oleh perubahan dari sedang ke padat yang mengindikasikan adanya penambahan bangunan dengan luasan area yang tetap sehingga terjadi pemadatan bangunan. Selain itu di daerah tersebut juga terdapat perubahan dari bukan bangunan ke sedang dan bukan bangunan ke padat yang berarti adanya pembukaan lahan baru untuk pembangunan bangunan. Untuk daerah pedesaan di wilayah sebelah barat dan timur, perubahan di dominasi oleh perubahan dari jarang ke sedang yang berarti adanya penambahan bangunan luasan lahan yang tetap misalnya jika di pedesaan pada awalnya terdapat jarak antar rumah yang agak jauh lalu lahan diantara rumah tersebut dimanfaatkan untuk membangun rumah baru karena penambahan penduduk.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal untuk menjawab rumusan masalah. Berikut adalah hal—hal yang dapat disimpulkan dalam penelitian ini:

1. Kepadatan bangunan hasil interpretasi hibrida di Kecamatan Ungaran Timur dan Ungaran Barat memiliki tingkat akurasi sebesar 89,7035%. Dalam penelitian ini kelas kepadatan bangunan terbagi menjadi tiga kelas yaitu Jarang, Sedang, dan Padat. Kelas kepadatan bangunan jarang mendominasi di wilayah pedesaan yang jauh dari pusat kota. Kelas kepadatan sedang banyak berada di wilayah sub urban atau pinggiran kota

sedangkan kelas kepadatan bangunan padat mendominasi wilayah pusat kota yang merupakan pusat pemerintahan, perkantoran, perekonomian, dan industri. Terjadi peningkatan luasan kepadatan bangunan di kedua kecamatan tersebut. Pada tahun 2009, luas total bangunan adalah 1554,22 Ha meningkat menjadi 1685,70 Ha pada tahun 2012, Perubahan pada tahun 2009-2012 didominasi oleh kelas jarang menjadi sedang. Pada tahun 2012-2015, perubahan kepadatan bangunan didominasi oleh kelas jarang menjadi sedang, dan sedang menjadi padat. Luas bangunan pada tahun 2015 total luasan menjadi 1769,94 Ha dan meningkat lagi pada tahun 2018 menjadi 1845,99 Ha. Perubahan kepadatan bangunan pada tahun 2015-2018 didominasi oleh kelas sedang menjadi padat.

2. Rata-rata kecepatan perubahan kepadatan bangunan pada tahun 2009-2018 adalah seluas 31.863 Ha/tahun. Pada tahun 2009-2012 mengalami angka perubahan kecepatan perubahan kepadatan bangunan paling tinggi yaitu 43,8267 Ha/pertahun. Sedangkan pada tahun 2012-2015 dan 2015-2018, angka kecepatan perubahan kepadatan bangunan cenderung tidak berubah banyak yaitu seluas 26,4133 Ha/tahun pada 2012-2015 dan 25,350 Ha/tahun pada 2015-2018.
3. Arah perubahan kepadatan bangunan pada tahun 2009-2018 dari arah timur ke barat dengan sudut rotasi 85,108747°. Perubahan kepadatan bangunan banyak terjadi di pusat perkotaan dan pinggiran kota yang di dominasi oleh tingkat kepadatan sedang ke padat yang mengindikasikan bahwa adanya pemadatan bangunan pada daerah pusat perkotaan. Pada daerah pinggiran kota di dominasi oleh perubahan dari bukan bangunan ke jarang/sedang dan dari tingkat kepadatan jarang ke sedang yang menunjukkan bahwa di daerah pinggiran kota terdapat pembukaan lahan baru untuk pembangunan permukiman.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah. 2015. *Populasi dan Sampel Pemahaman, Jenis, dan Teknik*. Bayumedia: Malang
- Congalton, Russell G., dan Kass Green. 2009. *Assesing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices Second Edition*. CRC Press: Boca Raton
- Danoedoro. Projo. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Penerbit Andi: Yogyakarta
- Nugraha, Vembri Satya. 2014. *Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh untuk Monitoring Kepadatan Bangunan di*

- Daerah Perkotaan Magelang. Skripsi. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Puspitasari, Shanti. 2016. Kajian Kepadatan Bangunan Menggunakan Interpretasi Hibrida Citra Landsat-8 OLI di Kota Semarang Tahun 2015. Skripsi. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Ratnasari, Dwi Santy dan R. Suharyadi. 2016. Pemanfaatan Citra Resolusi Tinggi Multitemporal untuk Analisis Karakteristik Perkembangan Permukiman Kota Bogor Tahun 2005-2014 Menggunakan *Spatial Statistics*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Republik Indonesia. 2002. Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung. Jakarta
- Sa'diyah, Ulifatus. 2016. Studi Optimalisasi Pemanfaatan Lahan di Kampus Universitas Diponegoro Tembalang Berdasarkan Analisis Citra Multi Temporal. Tugas Akhir. Universitas Diponegoro: Semarang
- Suharyadi. 2011. Interpretasi Hibrida Citra Satelit Resolusi Spasial Menengah untuk Kajian Kepadatan Bangunan Daerah Perkotaan di Daerah Perkotaan Yogyakarta. Disertasi. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Treman, I Wayan. 2012. Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Kajian Kepadatan Rumah Mukim Perkotaan. Universitas Pendidikan Ganesha: Singaraja