

**ANALISIS PERUBAHAN KEPADATAN DAN POLA LAHAN TERBANGUN
MENGUNAKAN INTERPRETASI HIBRIDA CITRA SENTINEL 2A
(STUDI KASUS : KOTA UNGARAN)**

Dini Tiara^{*)}, L.M Sabri, Abdi Sukmono

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788

Email: dinitiara1999@gmail.com ^{*)}

ABSTRAK

Kota-kota besar di Indonesia seperti Medan, Jakarta, Surabaya, Semarang merupakan Kota yang terus berkembang karena adanya pembangunan seperti jalan tol, pemukiman, perkantoran dan jalan raya. Perkembangan kawasan *urban* di Kota-kota besar berdampak pada peningkatan pertumbuhan kota-kota kecil disekitarnya (wilayah perifer). Kabupaten Semarang sebagai wilayah perifer atau penyangga dari kota besar yaitu Kota Semarang, berdampak pada berkembangnya Kota Ungaran dan meningkatnya perkembangan kepadatan lahan terbangun. Pengukuran kepadatan lahan terbangun dalam skala Kota jika dilakukan secara manual memerlukan waktu dan biaya yang besar, oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan teknologi penginderaan jauh yaitu dengan teknik interpretasi hibrida menggunakan indeks NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*) dan *Urban Index*. Interpretasi hibrida merupakan gabungan dari teknik interpretasi visual dan *digital* dalam menentukan area lahan terbangun menggunakan citra resolusi menengah yaitu Sentinel 2A yang tersedia secara gratis dan kontinyu. Hasil interpretasi hibrida menggunakan NDBI lebih baik dibandingkan menggunakan *urban index* dengan *overall accuracy* sebesar 96.667 % untuk interpretasi hibrida menggunakan NDBI dan 90.00 % untuk interpretasi hibrida menggunakan *urban index*. Luas kepadatan lahan terbangun di Kota Ungaran Tahun 2016 adalah 1853.571 Ha berubah menjadi 1943.958 Ha pada tahun 2021. Perubahan kepadatan yang paling mendominasi adalah dari kepadatan sedang menjadi tinggi yaitu 602.901 Ha, dan pola lahan terbangun di Kota Ungaran pada tahun 2016 dan 2021 adalah *clustered* (mengelompok) dengan *neraest neighbord ratio* 0,7.

Kata Kunci: Interpretasi Hibrida, Sentinel 2A, Kota Ungaran, NDBI, UI, Analisis Tetangga Terdekat

ABSTRACT

Metropolis in Indonesia such as Medan, Jakarta, Surabaya, Semarang are cities that continue to grow due to developments such as toll roads, settlements, offices and highways. The development of urban areas in metropolis has an impact on increasing the growth of the surrounding small towns (peripheral areas). Semarang Regency as a peripheral or buffer area of the city, namely Semarang City, has an impact on the development of Ungaran City and the increase in the development of built-up land density. Measuring the density of built-up land on a city scale if done manually requires a lot of time and money, therefore in this study using remote sensing technology, namely a hybrid interpretation technique using the NDBI (Normalized Difference Built-up Index) index and the Urban Index. Hybrid interpretation is a combination of visual and digital interpretation techniques in determining the area of built-up land using medium resolution images, Sentinel 2A which is available free of charge and continuously. The result of hybrid interpretation using NDBI is better than using urban index with an overall accuracy of 96.667% for hybrid interpretation using NDBI and 90.00% for hybrid interpretation using urban index. The density of built-up land in Ungaran City in 2016 was 1853,571 Ha, changing to 1943,958 Ha in 2021. The most dominating density change was from medium to high density, about 602,901 Ha, and the pattern of built-up land in Ungaran City in 2016 and 2021 was clustered with a neraest neighbor ratio of 0.7.

Keywords: Hybrid Interpretation, Sentinel 2A, Ungaran City, NDBI, UI, Nearest Neighbord Analysis

^{*)} Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara berkembang memiliki Kota dan Kabupaten yang terus mengalami peningkatan dalam hal pembangunan infrastruktur. Kota-kota besar di Indonesia seperti Medan, Jakarta, Surabaya, Semarang merupakan Kota yang terus berkembang karena adanya pembangunan seperti Jalan Tol, pemukiman, perkantoran dan jalan raya. Perkembangan kawasan urban di Kota-kota besar berdampak pada peningkatan pertumbuhan kota-kota kecil disekitarnya, seperti fenomena pertumbuhan di Kota Bekasi yang sangat cepat karena faktor lokasi Kota Bekasi yang berada di sekitar Kota Jakarta, bahkan perambatan pertumbuhan kawasan ini sampai ke beberapa Kota lain yang juga berlokasi dekat dengan Kota Jakarta seperti Kota Depok dan Bogor, fenomena ini dikenal dengan istilah perkembangan wilayah perifer (Mardiansyah dan Rahayu, 2019). Wilayah perifer ini dapat diartikan sebagai wilayah peralihan yang memiliki pencampuran antara wilayah pedesaan dan wilayah perkotaan yang biasanya berlokasi di daerah pinggiran dan dekat dari Kota.

Kabupaten Semarang sebagai wilayah perifer atau penyangga dari kota besar yaitu Kota Semarang, berdampak pada berkembangnya Kota Ungaran (terdiri dari Kecamatan Ungaran Barat dan Ungaran Timur) sebagai Kota Perifer. Dilihat dari segi pembangunan fisik, Kecamatan Ungaran Timur merupakan salah satu Kecamatan yang dilalui oleh Jalan Tol dimana pada tahun 2014 diresmikan proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Seksi II (ruas Ungaran-Bawen). Hal ini berdampak pada tingginya perubahan dari lahan non-bangunan menjadi lahan terbangun sehingga terjadi perubahan kepadatan lahan terbangun. *Monitoring* kepadatan lahan terbangun jika dilakukan pengukuran manual tidak efektif dan memerlukan biaya besar. Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan teknologi penginderaan jauh yaitu interpretasi hibrida untuk pengukuran kepadatan lahan terbangun di Kota Ungaran pada Tahun 2016 dan 2021 dengan memanfaatkan citra resolusi menengah sentinel 2A beserta pola atau sebarannya.

Interpretasi hibrida merupakan gabungan dari teknik interpretasi visual dan *digital* dalam menentukan area kepadatan lahan terbangun. Teknik ini dengan menggabungkan keuntungan dari digitalisasi transformasi indeks pada interpretasi *digital* dan mengurangi interpretasi dengan memasukkan interpretasi visual dari *interpreter* sehingga menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan jika hanya menggunakan salah satu interpretasi.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perubahan kepadatan lahan terbangun hasil interpretasi hibrida di Kota Ungaran pada tahun 2016 dan 2021?
2. Bagaimana perubahan pola kepadatan lahan terbangun di Kota Ungaran dari tahun 2016 dan tahun 2021?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini

adalah:

1. Mengetahui perubahan kepadatan lahan terbangun hasil interpretasi hibrida di Kota Ungaran pada tahun 2016 dan 2021.
2. Mengetahui perubahan pola kepadatan lahan terbangun di Kota Ungaran dari tahun 2016 dan tahun 2021.

I.4 Batasan Masalah

Berikut batasan masalah pada penelitian ini:

1. Data Citra Sentinel 2 level 1C pada tahun 2016 dan tahun 2021.
2. Penelitian ini dilakukan uji akurasi menggunakan peta kepadatan bangunan rujukan yaitu Citra Worldview.
3. Metode yang digunakan untuk identifikasi kepadatan bangunan yaitu Interpretasi Hibrida.
4. Indeks yang digunakan untuk kerapatan bangunan yaitu Transformasi Urban Index (UI) dan NDBI.
5. Metode yang digunakan untuk analisis pola perkembangan lahan terbangun yaitu deskriptif dan analisis tetangga terdekat
6. Penelitian ini hanya meneliti di Kota Ungaran (Kecamatan Ungaran Timur dan Ungaran Barat)

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Lokasi Penelitian

Kota Ungaran merupakan Kota dari Kabupaten Semarang, memiliki dua Kecamatan yaitu Kecamatan Ungaran Timur dan Kecamatan Ungaran Barat. Letak Kecamatan Ungaran Barat secara geografis yaitu $7^{\circ}11'01''$ - $7^{\circ}16'81''$ Lintang Selatan dan antara $110^{\circ}36'04''$ - $110^{\circ}41'25''$ Bujur Timur dan berbatasan dengan Kota Semarang. Kenampakan alam yang terdapat di Kecamatan Ungaran Barat sebagian besar merupakan dataran yang didominasi oleh wilayah pertanian, sisanya merupakan daerah pemukiman dan pekarangan, Ungaran Barat memiliki 11 Kelurahan tetapi yang menempati wilayah Kota Ungaran hanya 6 Kelurahan dengan total wilayah luasan yaitu 1.352,76 hektar.

Berdasarkan Peraturan Daeah No. 6 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Semarang memiliki tiga pusat pertumbuhan, salah satunya adalah Kota Ungaran yang diharapkan dapat menjadi penggerak pertumbuhan wilayah disekitarnya dan menjadi PKN (Pusat Kegiatan Nasional), Kecamatan Ungaran Timur dan Ungaran Barat masuk ke salah satu dari tiga kecamatan yang berkembang pesat untuk bangunan permukiman lalu diikuti oleh Kecamatan lainnya yang juga dilalui oleh Jalan Tol (10 Kecamatan).

II.2 Bangunan dan Lahan Terbangun

Menurut Peraturan Pemerintah No 36 tahun 2005 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang Undang No 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung adalah adalah wujud fisik hasil 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.

Lahan terbangun (*built-up area*) merupakan lahan yang sudah terdapat atau mengalami pembangunan di atasnya, terjadi perkerasan (berubah dari tanah atau vegetasi menjadi bangunan). Batuska dan G Young (1994) mendefinisikan lingkungan terbangun (*built environment*) sebagai segala sesuatu yang disusun, dibuat lalu dipelihara oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan manusia dan mempengaruhi lingkungan. Lingkungan terbangun diantaranya bangunan gedung, jalan, fasilitas umum, perumahan dan pemukiman.

Penurunan kualitas di kawasan pemukiman diindikasikan dengan kondisi kepadatan lahan terbangun yang semakin meningkat, vegetasi semakin dan lahan terbuka semakin menipis, menurunnya tingkat pelayanan fasilitas umum, masalah kebersihan lingkungan hingga bisa mengakibatkan pemukiman menjadi kumuh (Budiharjo, 1991).

II.3 Kepadatan Lahan Terbangun

Kepadatan lahan terbangun atau juga dikenal dengan istilah densifikasi bangunan adalah proses peningkatan kepadatan bisa berupa bangunan hunian secara vertikal atau horizontal, kepadatan lahan terbangun ini merupakan salah satu perkembangan secara horizontal dan sebagai bentuk indikasi perkembangan di suatu perkotaan (Treman 2012). Densifikasi yang padat dan tidak terkendali akan menimbulkan berbagai permasalahan di lingkungan seperti berkurangnya drainase, kawasan kumuh, kurang resapan air, peningkatan suhu dan lainnya.

Kepadatan lahan terbangun dianggap sebagai parameter lingkungan yang sangat penting dalam manajemen perkotaan terutama dalam konsep urban sustainability dan sangat membantu perencana kota (urban planner) dan agen real estate dalam melakukan penelitian mengenai suatu perkotaan, serta untuk melihat bagaimana suatu kota berfungsi.

II.4 Building Coverage Ratio (BCR)

Kepadatan bangunan pada masing-masing blok bangunan dapat ditentukan menggunakan *Building Coverage Ratio* (BCR). BCR juga sering disebut dengan istilah kepadatan bangunan dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti monitoring kepadatan bangunan, memantau perkembangan kota dan untuk identifikasi pemukiman yang kumuh (Sukrisyanti 2007). Formula untuk menghitung BCR dapat dilihat pada persamaan (1):

$$BCR = \frac{\text{Luas Lahan Terbangun}}{\text{Luas Lahan Blok Sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Selanjutnya hasil dari perhitungan BCR dikelompokkan menjadi klasifikasi berdasarkan tingkat kepadatan yang ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1 Klasifikasi Kepadatan Bangunan (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 %	Non bangunan

II.5 Urban Index (UI)

Urban index merupakan indeks dalam sebuah citra yang digunakan untuk mendeteksi perkotaan, indeks citra diperoleh dari sebuah proses transformasi citra agar lahan terbangun atau bangunan lebih menonjol dibandingkan dengan objek yang lain. Transformasi ini menggunakan band atau saluran inframerah dekat atau SWIR dan saluran inframerah tengah atau dikenal dengan NIR (Nugraha and Zuharnen 2015). Formula indeks perkotaan ini dikembangkan oleh Kawamura (1999) dari saluran SWIR dan saluran NIR atau inframerah tengah ke- II.

$$Urban\ Index = \left(\frac{SWIR\ 2-NIR}{SWIR\ 2+NIR} + 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

II.6 NDBI

Indeks Kekotaan yang dikembangkan oleh Zha et al, 2003 menggunakan analogi pada NDVI, sama seperti UI, NDBI juga digunakan untuk menghitung built-up area, hanya menggunakan saluran yang berbeda, formula NDBI adalah sebagai berikut:

$$NDBI = \left(\frac{SWIR\ 1-NIR}{SWIR\ 1+NIR} + 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

Citra NDBI dianggap bisa dengan baik menampilkan perbedaan antara penampakan kekotaan dan bukan kekotaan dibandingkan dengan UI, tetapi memiliki kelemahan pada bagian badan air yang memiliki rona sedikit cerah (Danoedoro, 2010).

II.7 Interpretasi Hibrida

Interpretasi hibrida dikembangkan dengan memanfaatkan gabungan dari dua teknik interpretasi yaitu interpretasi visual dan interpretasi digital. Interpretasi visual dilakukan dengan cara deliniasi *built up area* (lahan terbangun) dengan bantuan komposit citra untuk mengenali setiap objek melalui unsur interpretasi, sementara interpretasi digital digunakan untuk transformasi informasi kepadatan bangunan (Nugraha and Zuharnen 2015). Interpretasi hibrida secara teknis adalah membuat klasifikasi berdasarkan kunci interpretasi kepadatan bangunan terhadap nilai rata-rata citra indeks perkotaan. Kunci interpretasi yang digunakan berdasarkan kunci kepadatan bangunan dapat ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Kunci Interpretasi Kepadatan Bangunan (Suharyadi, 2009)

Kepadatan	Kunci Interpretasi
Rendah	rUI < 65
Sedang	rUI 65 - 80
Tinggi	rUI >80

II.8 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik pada citra dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas visual citra dengan mengisi kembali baris kosong karena kesalahan pemindaian dan memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya karena faktor gangguan atmosfer (Danoedoro, 2010).

II.9 Koreksi Geometrik

Mather (1987) menyatakan transformasi geometrik merupakan memposisikan ulang kembali piksel sedemikian rupa sehingga gambaran objek di permukaan bumi yang terekam sensor dapat dilihat pada citra digital. Tahap ini diterapkan pada citra digital mentah (langsung hasil perekaman satelit), dan merupakan koreksi kesalahan geometrik sistematis.

II.10 Citra Sentinel 2A

ESA (*European Space Agency*) meluncurkan satelit observasi bumi pada tanggal 23 Juni 2015 di Guiana Space Centre, Kourou, French Guyana, menggunakan kendaraan peluncur Vega. Sentinel 2 Copernicus terdiri dari konstelasi two polar orbiting yang ditempatkan pada orbit sun synchronous dengan sudut 180 ° berhadapan satu sama lain. Mempunyai misi untuk melakukan monitoring land surface di permukaan bumi, memiliki waktu untuk kembali lagi ke posisi awal (resolusi temporal) 10 hari di ekuator dengan satu satelit, 5 hari dengan 2 satelit dalam kondisi bebas awan yang menghasilkan 2-3 hari pada pertengahan garis lintang (ESA, 2015).

Daftar tipe produk yang dari citra satelit sentinel 2 ini terdiri atas :

1. Level 1-c berada dalam format ToR dan belum terkoreksi atmosfer.
2. Level 2-A dalam format *Bottom of Atmospheric Reflectance* (sudah terkoreksi atmosferik).

II.11 Regresi Linier Sederhana

Regresi linear sederhana didasarkan pada hubungan fungsional atau kausal satu variabel independen dengan variabel dependen. Persamaan umum regresi linear sederhana adalah:

$$\hat{Y} = a + bX \dots\dots\dots(4)$$

\hat{Y} = subyek dalam variabel dependen yang diprediksi

a = harga Y bila X = 0 (harga konstan)

b = angka arah atau koefisien regresi, yang menunjukkan angka peningkatan atau penurunan variabel dependen oleh variabel independen.

$$a = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$b = \frac{n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \dots\dots\dots(6)$$

Nilai b merupakan fungsi dari koefisien korelasi. Bila koefisien korelasi tinggi maka harga b juga besar, bila koefisien korelasi rendah maka nilai b juga rendah. Juga berlaku pada koefisien korelasi negatif atau positif (Sugiyono 2007).

II.12 Analisis Tetangga Terdekat

Pola persebaran dalam analisis keruangan dibedakan atas tiga yaitu mengelompok, acak atau random dan seragam (R. Bintaro dan Surastopo, 1978), untuk mengetahui pola persebaran tersebut dapat digunakan analisis tetangga terdekat (nearest neighbor analysis) yang dikembangkan oleh ahli lingkungan Clark dan Evans (1954) untuk mengukur pola atau sebaran susunan dari kumpulan suatu titik dalam ruang dua atau tiga dimensi.

Analisis ini digunakan untuk menemukan suatu pola dari pemukiman dengan menggunakan data jarak antara satu pemukiman dengan yang lain, dimana jarak ini adalah jarak terdekat yang terjadi antara pola-pola (Yusrina dkk, 2018). Rumus yang digunakan untuk mengukur tetangga terdekat adalah sebagai

berikut:

$$T = \frac{Ju}{Jh} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- T = Parameter tetangga terdekat
- Ju = Jarak rata-rata yang diukur antara satu titik dengan titik tetangga terdekat
- Jh = Angka diperoleh dari luas wilayah dibagi jumlah titik

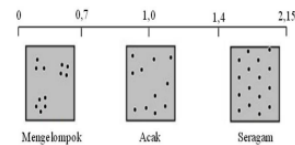
$$Jh = \frac{1}{\sqrt{2} \times P} \dots\dots\dots(8)$$

$$P = \frac{A}{N} \dots\dots\dots(9)$$

- P = Kepadatan titik dalam tiap kilometer persegi
- A = luas wilayah dalam kilometer persegi
- N = Jumlah titik

Hasil akhir dari perhitungan analisis tetangga terdekat ini adalah indeks (T) yang menyatakan pola persebaran, dengan kriteria sebagai berikut :

1. Jika $T < 0,7$ maka pemukiman berpola mengelompok
2. Jika $0,7 \leq T \leq 1,4$ maka permukiman memiliki pola acak (random)
3. Jika $T \geq 1,4$, maka permukiman memiliki pola seragam.



Gambar 1 Continuum nilai *nearest neighbour statistic* T (Bintaro dalam Yusrina, 2018)

III. Pelaksanaan Penelitian

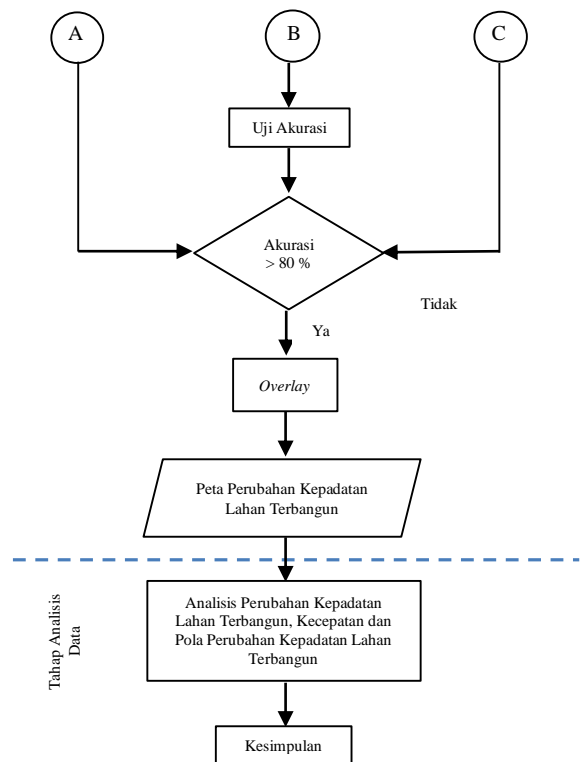
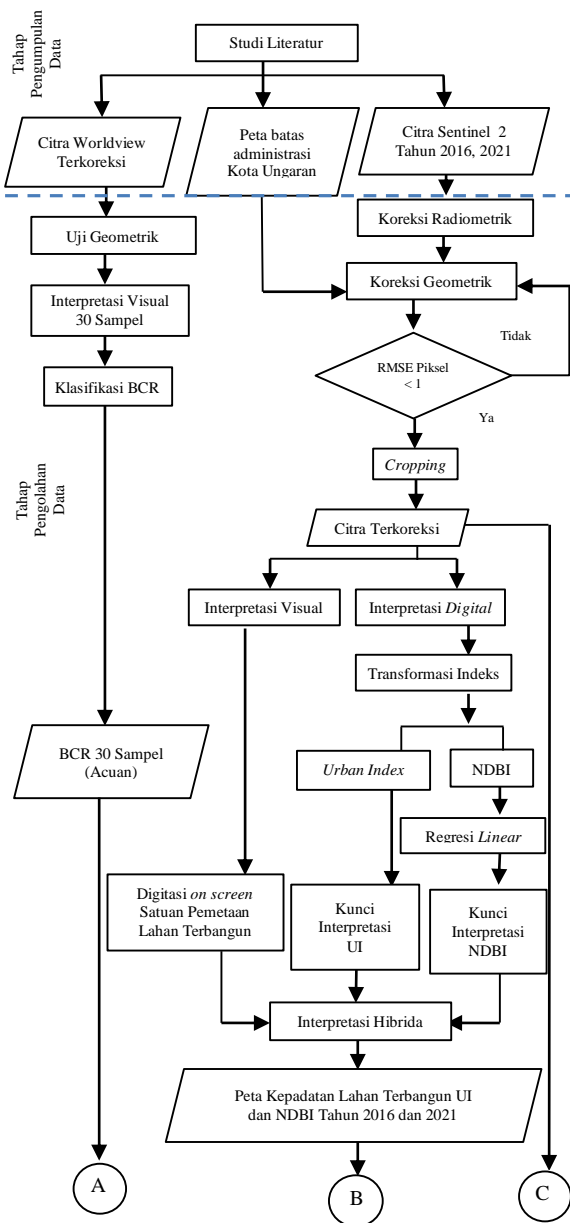
III.1 Alat dan Data Penelitian

1. Alat
 - Pada penelitian ini akan dilakukan menggunakan alat berupa:
 - a. Laptop ASUS A456U
 - b. Alat Tulis
 - c. Kamera *smartphone* untuk dokumentasi.
 - d. Microsoft Word untuk pembuatan laporan tugas akhir.
 - e. Microsoft Excel untuk pengolahan data.
 - f. *Software* Q GIS 3.10 untuk *pre processing* data Citra Sentinel 2A
 - g. *Software* Arc Map 10.3 untuk pengolahan interpretasi hibrida
 - h. GPS *Handheld* Garmin untuk validasi lapangan
 - i. Form Validasi Lapangan

2. Data
Berikut ini data yang digunakan dalam penelitian ini:
- Peta Administrasi Kota Ungaran (INA-Geoportal)
 - Citra Sentinel 2A Tahun 2016 dan 2021 diperoleh dari *earth explore* USGS
 - Citra Resolusi Tinggi Kabupaten Semarang *Worldview* (Tata Ruang Dinas PUPR Kabupaten Semarang, sudah ter-koreksi menggunakan data sekunder)
 - Data shp jaringan jalan Kabupaten Semarang (INA-Geoportal)
 - Data Jumlah Bangunan di Kabupaten Semarang berdasarkan Kecamatan (BPS Kabupaten Semarang)

III.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

III.3 Pelaksanaan Penelitian

Berikut tahapan pelaksanaan penelitian

- Persiapan, tahapan ini dilakukan pencarian literatur yang berhubungan dengan penelitian yaitu interpretasi hibrida
- Pengumpulan data penelitian.
- Pre Processing* citra sentinel 2A
- Tahap pengolahan data dilakukan dengan langkah sebagai berikut:
 - Interpretasi visual (*digitasi on screen*) dengan skala keluaran tertentu pada citra yang telah di *pre-processing*.
 - Pengecekan dan *cleaning topology* untuk memperbaiki *error* digitasi.
 - Interpretasi *digital* dengan transformasi *urban index* dan NDBI
 - Interpretasi hibrida dengan menggunakan *zonal statistic tool* untuk menggabungkan hasil interpretasi *digital* dan visual.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Koreksi Radiometrik

Software yang digunakan dalam koreksi radiometrik ini adalah QGIS dengan bantuan *Plugins SCP (Semi Automatic Classification)* dengan memasukkan metadata MTD_MSI dari citra sentinel 2. Level pemrosesan dari citra sentinel 2 ini terdiri atas Level 1-C dalam format ToA (*Top of Atmospheric*) yang belum terkoreksi atmosferik dan Level 2-A dalam format BoA (*Bottom of Atmospheric Reflectance*) sudah terkoreksi atmosferik

Nilai piksel sebelum dilakukan koreksi atmosferik

berkisar dari 0 - 15231 (maksimal) angka ini belum merepresentasikan nilai piksel *value* sebenarnya dan memiliki nilai yang kurang bagus dalam melakukan transformasi indeks, setelah dilakukan koreksi nilai reflektan berkisar dari 0 – 1 (maksimum 1), pada plugins SCP di QGIS akan melakukan quantifikasi dan koreksi radiometrik secara otomatis sehingga nilai *digital number* bisa digunakan untuk transformasi indeks.

IV.1.1 Hasil Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan dengan metode *image to image*, citra *worldview* dijadikan sebagai *basemap* dan citra sentinel 2 Tahun 2016 dan 2021 merupakan citra yang akan dikoreksi geometrik. Pemilihan titik GCP sejumlah 12 titik yang menyebar pada area studi penelitian di Kota Ungaran. Tujuan dari koreksi geometrik ini adalah untuk memperbaiki koordinat citra agar sesuai dengan koordinat di lapangan, input dari koreksi geometrik adalah citra sentinel tahun 2016 dan 2021 yang sudah terkoreksi radiometrik. Nilai RMSe dari hasil koreksi geometrik dapat dilihat pada tabel 3 berikut

Tabel 3 Hasil Koreksi Geometrik

No	Citra Sentinel 2A	RMSe
1.	Tahun 2016	0,347502
2.	Tahun 2021	0,0344011

Rata-rata nilai RMSe hasil dari koreksi geometrik citra sentinel 2 tahun 2016 dan 2021 yang diperoleh 0,63419 dan 0,0344011 yang sudah memenuhi syarat koreksi geometrik dibawah 1 piksel.

IV.2 Hasil Uji ICP (*Independent Check Point*)

Selanjutnya untuk memastikan uji akurasi geometrik yang telah dilakukan sebelumnya menggunakan GCP, maka perlu dilakukan uji ICP (*Independent Check Point*) untuk mengetahui hasil akurasi koreksi geometrik sehingga peta akan dikelaskan sesuai Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018. Hasil uji ICP dapat dilihat pada tabel 4 berikut

Tabel 4 Hasil Uji ICP

No	Citra Sentinel 2A	RMSe	CE 90
1.	Tahun 2016	5.683	8.614
2.	Tahun 2021	0,0344011	13.085

Hasil dari Uji ICP sesuai Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 menunjukkan hasil peta masuk dalam kelas 1 pada Skala 1:50.000 dibuktikan edengan nilai akurasi horisontal (CE 90) nya 8.614 meter pada citra sentinel 2A Tahun 2016 dan 13.085 meter pada citra sentinel 2A Tahun 2021 dan nilai ini berada dalam batas toleransi yaitu 15.

IV.3 Hasil Interpretasi Visual

Interpretasi visual dilakukan dengan teknik *digitasi on screen* dan memisahkan unsur bangunan dan non-bangunan serta menggunakan komposit 4-3-2 (*True Color*) pada masing-masing citra seninel 2 Tahun 2016 dan 2021. Interpretasi visual pada daerah sub urban dan pinggiran umumnya dibatasi oleh vegetasi dan lahan kosong, sementara unsur jalan tidak terlalu tampak pada saat

interpretasi hal ini karena citra sentinel 2 memiliki resolusi 10 m sehingga piksel jalan dan bangunan tampak bercampur, memiliki warna yang hampir sama. Interpretasi visual pada daerah *sub urban* dan pinggiran umumnya dibatasi oleh vegetasi dan lahan kosong, sementara unsur jalan tidak terlalu tampak pada saat interpretasi hal ini karena citra sentinel 2 memiliki resolusi 10 m sehingga piksel jalan dan bangunan tampak bercampur, memiliki warna yang hampir sama. Hasil interpretasi visual dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

Tabel 5 Hasil Interpretasi Visual Satuan Pemetaan Lahan Terbangun

No	Tahun	Jumlah Blok Satuan Pemetaan Lahan Terbangun	Luas (Ha)
1.	2016	391 Satuan Pemetaan	1853.571
2.	2021	473 Satuan Pemetaan	1943.958

IV.4 Hasil Interpretasi *Digital Transformasi Urban Index* dan NDBI

Interpretasi *digital* dilakukan dengan cara transformasi indeks kekotaan, dalam penelitian ini menggunakan indeks kekotaann *Urban Index* dan NDBI (*Normalize Difference Built-Up Index*). Hasil dari transformasi *urban index* pada tahun 2016 berupa citra dengan nilai piksel *value* dalam bentuk *grayscale* dan nilai piksel paling tinggi 138,363, paling rendah 19,9232 dengan rona gelap kehitaman sampai putih cerah, daerah kota memiliki lahan terbangun paling banyak sehingga memiliki rona yang lebih cerah dibandingkan daerah non bangunan. Hasil dari transformasi *urban index* pada tahun 2021 terjadi peningkatan rentang nilai piksel paling tinggi yaitu 140,57 dan paling rendah 21,2637.

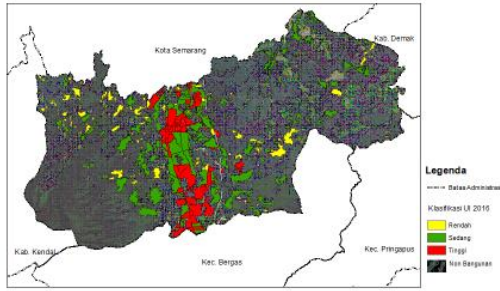
Transformasi NDBI pada tahun 2016 menghasilkan nilai piksel *value* dengan nilai paling tinggi 133,188 (menunjukkan area dengan tingkat *urban* paling tinggi dan memiliki rona sangat cerah) dan paling rendah dengan nilai 44,1624 yang memiliki rona paling gelap. Selanjutnya pada tahun 2021, terjadi peningkatan nilai dan rentang dari transformasi NDBI menjadi 140,57 (maksimum) dan 21,2637 (minimum). Transformasi NDBI dianggap menjadi indeks yang pioner dalam melakukan ekstrasi kepadatan lahan terbangun dengan menggunakan *band SWIR*.

IV.5 Hasil Interpretasi Hibrida

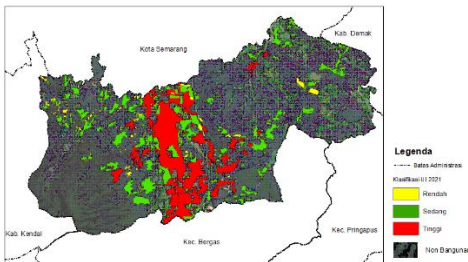
Hasil interpretasi hibrida dengan menggunakan *urban index* dan NDBI menggunakan *tools zonal statistic* pada ArcGIS 10.3 untuk memperoleh nilai rerata masing-masing indeks di setiap blok satuan pemetaan lahan terbangun.

IV.5.1 Hasil Interpretasi Hibrida *Urban Index* Tahun 2016 dan Tahun 2021

Terdapat 3 klasifikasi kepadatan lahan terbangun yaitu kelas kepadatan tinggi, sedang dan rendah, serta satu tambahan kelas secara visual yaitu kelas non-bangunan. Hasil dari Interpretasi Hibrida Tahun 2016 di Kota Ungaran dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4 berikut:



Gambar 3 Hasil Interpretasi Hibrida UI 2016

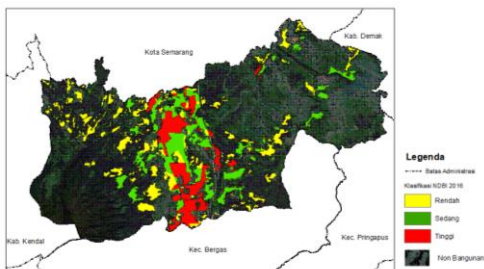


Gambar 4 Hasil Interpretasi Hibrida UI 2021

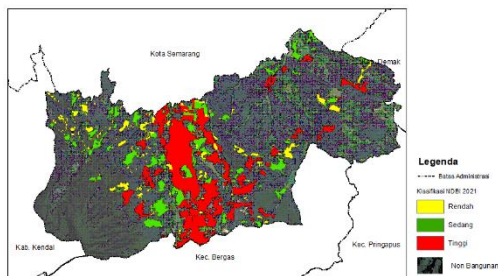
Pada tahun 2016, kelas kepadatan di pusat Kota Ungaran didominasi oleh kelas kepadatan lahan terbangun sedang sebesar 1102.353 Ha, pada tahun 2021 didominasi oleh kelas kepadatan lahan terbangun tinggi seluas 1015.923 Ha.

IV.5.2 Hasil Interpretasi Hibrida *Urban Index* Tahun 2016 dan Tahun 2021

Hasil interpretasi hibrida dengan indeks NDBI di Kota Ungaran pada tahun 2016 dan 2021 dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6 berikut



Gambar 5 Hasil Interpretasi Hibrida NDBI 2016



Gambar 6 Hasil Interpretasi Hibrida NDBI 2021

Pada tahun 2016 di Kota Ungaran didominasi oleh kepadatan lahan terbangun kelas sedang seluas 697.102 Ha lalu pada tahun 2021 didominasi oleh kelas kepadatan lahan terbangun tinggi sebesar 1172.169 Ha.

Hasil klasifikasi interpretasi hibrida menggunakan transformasi urban index dan NDBI menghasilkan perbedaan yang cukup signifikan, hal ini disebabkan dari

kemampuan band yang digunakan. Pada Urban Index menggunakan saluran SWIR 2 (12) dan NIR Narrow (8A) sedangkan pada NDBI menggunakan saluran SWIR 1 (11) dan NIR Narrow (8A). Perbedaan band yang digunakan akan memberikan pengaruh signifikan terhadap sebaran dan luasan klasifikasi kepadatan lahan terbangun interpretasi hibrida. *Band* SWIR memiliki kelemahan dalam membaca respon spektral lahan terbangun, misalnya pada vegetasi yang kering memiliki reflektansi yang lebih tinggi pada SWIR band, sehingga sulit dibedakan dengan built-up area (XI, Think, and LI 2019).

IV.6 Hasil BCR (*Building Coverage Ratio*)

BCR digunakan sebagai peta kepadatan lahan terbangun rujukan untuk menguji akurasi hasil kepadatan lahan terbangun interpretasi hibrida. Pembuatan BCR tidak dilakukan pada seluruh wilayah Kota Ungaran, tetapi hanya pada blok-blok tertentu sebanyak 30 blok satuan pemetaan lahan terbangun masing-masing untuk interpretasi hibrida NDBI dan UI. Sampel yang dipilih sebanyak 30 dengan menggunakan teknik proportionated stratified random sampling, merupakan teknik pengambilan sampel secara acak dan berstrata secara proporsional, sampel dapat dilihat pada tabel 6 berikut:

Tabel 6 Sampel Hasil BCR Pada Interpretasi Hibrida NDBI dan UI

No	Sampel Blok Satuan Pemetaan Lahan terbangun	Urban Index	NDBI	BCR
1.		Rendah (58,288)	Rendah (79,656)	Rendah (31,364 %)
2.		Sedang (73,852)	Sedang (90,699)	Sedang (50,849 %)
3.		Tinggi (84,424)	Tinggi (96,980)	Tinggi (74,525 %)

IV.7 Hasil Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar akurasi dari hasil interpretasi hibrida pada satuan pemetaan kepadatan lahan terbangun di Kota Ungaran baik menggunakan *Urban Index* maupun NDBI. Uji akurasi dilakukan menggunakan metode matriks konfusi dan menggunakan klasifikasi hasil BCR sebagai acuan, hasil matriks konfusi dapat dilihat pada tabel 7 dan tabel 8

Tabel 7 Hasil matriks konfusi *Urban Index*

		BCR			Total
		Rendah	Sedang	Tinggi	
UI	Rendah	11	0	0	11
	Sedang	3	10	0	13
	Tinggi	0	0	6	6
	Total	12	10	8	30
Overall Accuracy					90.00
Kappa Accuracy					85.4839

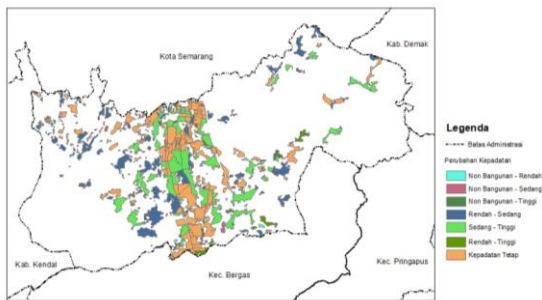
Tabel 8 Hasil Matriks Konfusi NDBI

		BCR			
		Rendah	Sedang	Tinggi	Total
NDBI	Kelas				
	Rendah	17	0	0	17
	Sedang	0	6	1	7
	Tinggi	0	0	6	6
	Total	17	6	7	30
<i>Overall Accuracy</i>				96.667	
<i>Kappa Accuracy</i>				94.3715	

Hasil matriks konfusi interpretasi hibrida NDBI lebih baik dibandingkan dengan interpretasi hibrida *urban index* dengan nilai *overall accuracy* 96.667 %, sementara UI sebesar 90%. Perbedaan ini salah satunya disebabkan oleh kemampuan NDBI yang lebih baik dalam hal membedakan lahan terbangun dengan non bangunan, dibandingkan kemampuan *Urban Index*, pada *Urban Index*, lahan kosong, lahan bertanah lempung teridentifikasi sebagai lahan terbangun.

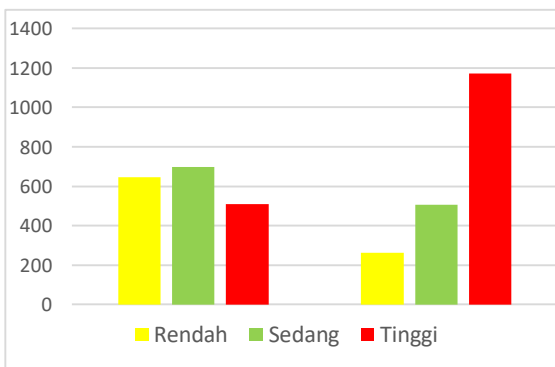
IV.8 Analisis Perubahan Kepadatan Lahan Terbangun

Berdasarkan hasil uji matriks konfusi diatas, diperoleh hasil yang lebih baik yaitu interpretasi hibrida menggunakan NDBI. Luasan perubahan kepadatan lahan terbangun dapat dilihat pada gambar 7 berikut



Gambar 7 Perubahan Kepadatan Lahan Terbangun

Pada tahun 2016 kelas kepadatan lahan terbangun rendah seluas 645.6941 Ha menurun menjadi 263.927 Ha pada tahun 2021, kelas kepadatan sedang pada tahun 2016 adalah 697.1021 Ha menurun menjadi 507.863 Ha sementara kelas kepadatan tinggi pada tahun 2016 adalah 510.7753 Ha meningkat menjadi 1172.169 Ha pada tahun 2021. Sehingga total luas area lahan terbangun pada tahun 2016 adalah 1853.571 Ha lalu meningkat pada tahun 2021 menjadi 1943.958 Ha.



Gambar 8 Grafik perubahan kepadatan lahan terbangun

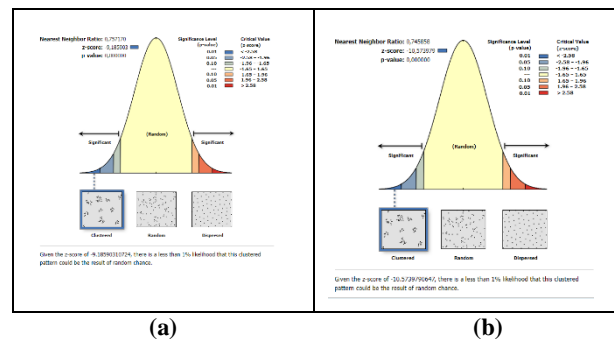
Tabel 9 Perubahan Kepadatan Lahan Terbangun 2016-2021

No	Perubahan Kepadatan Lahan Terbangun	Luas (Ha)
1	Tidak Terbangun - Rendah	29.226
2	Tidak terbangun - Sedang	31.281
3	Tidak terbangun - Tinggi	30.220
4	Rendah - Sedang	392.908
5	Sedang - Tinggi	602.901
6	Rendah - Tinggi	40.192
7	Kepadatan Tetap	886.004

IV.9 Analisis Pola Lahan Terbangun

IV.9.1 Pola lahan terbangun Tahun 2016 dan 2021

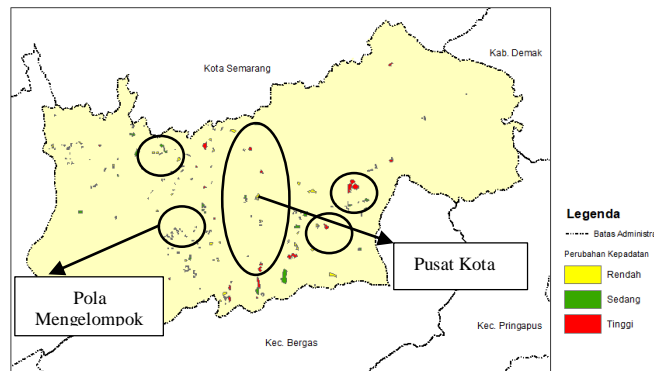
Analisis pola lahan terbangun menggunakan analisis tetangga terdekat (*nearest neighbor analysis*) secara otomatis dan memberikan hasil seperti pada gambar 9



Gambar 9 Pola lahan terbangun Tahun 2016 (a) dan 2021 (b) Pola lahan terbangun di Kota Ungaran baik pada tahun 2016 maupun pada tahun 2021 adalah mengelompok (*clusterd*) dengan nilai *nearest neighbor ratio* adalah sebesar 0,757 pada tahun 2016 dan 0,745 pada tahun 2021. Pengelompokan terjadi di pusat Kota Ungaran, dimana jika terdapat pusat kota, akan memicu pembangunan disekitarnya sesuai dengan teori pusat ruang kota yaitu CBD (Central Business Distirct), semakin dekat dengan CBD maka akan semakin baik tingkat aksesibilitasnya, sehingga banyak konversi lahan non bangunan menjadi bangunan disekitar CBD .

IV.9.2 Pola perubahan kepadatan lahan terbangun

Perubahan kepadatan lahan terbangun diperoleh dari hasil *symmetrical difference overlay* atau merupakan delta perubahan lahan terbangun dari tahun 2016 hingga 2021 di Kota Ungaran seperti pada gambar 10

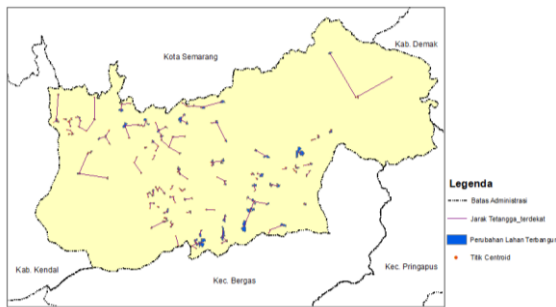


Gambar 10 Pola perubahan kepadatan lahan terbangun

Pada daerah *sub urban* Ungaran Timur dan Ungaran Barat tipe penjarangan lahan terbangun juga mengelompok, hal ini umum terjadi, karena masih banyak tersedianya lahan non-bangunan untuk dialihkan menjadi lahan terbangun, sehingga secara spasial perkembangan lahan terbangun mengikuti kelompok lahan terbangun lainnya yang sudah ada, pada daerah pusat kota memiliki potensi untuk berkembang menjadi pola lahan terbangun tipe konsentris. Pada daerah *sub urban* terdiri atas rumah-rumah penduduk di pedesaan yang memiliki pola dan bentuk yang tidak teratur karena dibangun secara mandiri oleh penduduk, sifat penjarangan yang menyebar memiliki karakteristik pemukiman berkelompok pada titik tertentu dalam bentuk kelompok kecil lalu terpisahkan oleh area sawah dan perkebunan (Putra and Pradoto 2016). Selanjutnya perhitungan tetangga terdekat memberikan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 10

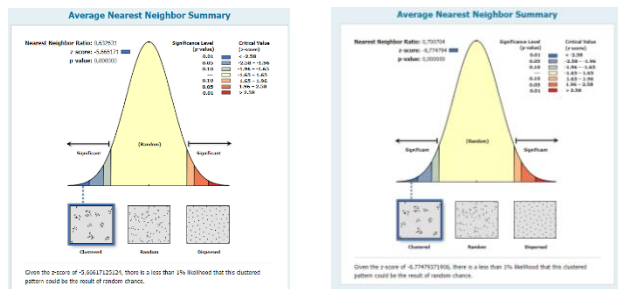
Tabel 10 Hasil Perhitungan tetangga terdekat perubahan kepadatan lahan terbangun

No	Kecamatan	Ju(Km)	N	A(km ²)	P	Jh	T	Pola
1	Ungaran Barat	0.207614	140	48.782	0.348442	0.295145	0.703431	Mengelompok
2	Ungaran Timur	0.270841	64	61.086	1.047695	0.511784	0.529207	Mengelompok



Gambar 11 Hasil Perhitungan Jarak Rata-rata tetangga terdekat

Perhitungan perubahan kepadatan lahan terbangun baik di Kecamatan Ungaran Timur maupun Ungaran Barat memberikan hasil pola mengelompok, ini menandakan adanya kecenderungan pembangunan bersifat mengelompok, mengikuti lahan terbangun yang sudah ada disekitarnya. Perhitungan menggunakan *tools averest nearest neighbor* juga memberikan hasil yang sama yaitu pola mengelompok (*clustered*)



Gambar 12 Hasil Average Nearest Neighbor (a) Ungaran Timur dan (b) Ungaran Barat

V. Penutup

V.1 Simpulan

Berikut kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan:

1. Kepadatan di Kota Ungaran meningkat 1853.571 Ha di Tahun 2016 menjadi 1943.958 Ha pada Tahun 2020 berdasarkan hasil interpretasi hibrida menggunakan indeks NDBI. Peningkatan kepadatan terbesar adalah dari kepadatan sedang menjadi tinggi yaitu 602.901 Ha.
2. Pola lahan terbangun dan pola perubahan kepadatannya di Kota Ungaran bersifat mengelompok baik untuk Kecamatan Ungaran Barat dan Ungaran Timur dengan nilai indeks ($T > 0.7$) berdasarkan analisis indeks tetangga terdekat dengan nilai T sebesar 0.703431 (Ungaran Barat) dan 0.529207 (Ungaran Timur).

V.2 Saran

Berikut ini saran yang diberikan agar dapat dilaksanakan lebih baik ke depannya:

1. Penggunaan citra satelit dengan resolusi yang lebih tinggi daripada sentinel-2 diperlukan untuk lebih merepresentasikan keadaan kepadatan lahan terbangun yang sesungguhnya.
2. Perlu menyesuaikan kondisi tertentu seperti saat validasi lapangan, dikarenakan saat masa pandemi dan PPKM, hal ini menjadi keterbatasan penelitian.
3. Perlu dilakukan penelitian serupa pada indeks kekotaan seperti EBBI, IBI dan new built-up index.
4. Perlu mengambil sampel lapangan untuk regresi linear BCR dengan interpretasi hibrida agar memperoleh hasil kepadatan dan memberikan klasifikasi yang lebih akurat.
5. Pola perkembangan lahan terbangun perlu didukung dengan data tambahan seperti kepadatan dan RTRW untuk analisis lebih lanjut.
6. Melakukan sistem *gridding* pada peta kepadatan lahan terbangun BCR untuk menyesuaikan ukuran piksel citra resolusi tinggi dengan sentinel.

DAFTAR PUSTAKA

Danoedoro, P. (2010). Pengantar Penginderaan Jauh Digital. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta

Dietzel, Charles, Hakan Oguz, Jeffery J. Hemphill, Keith C. Clarke, and Nicholas Gazulis. 2005. "Diffusion and Coalescence of the Houston Metropolitan Area: Evidence Supporting a New Urban Theory." *Environment and Planning B: Planning and Design* 32(2):231–46. doi: 10.1068/b31148.

Harlan, Johan. 2018. *Analisis Regresi Linear*. Depok : Gunadarma

Niandyti, Febsy, Yendi Sufyandi, and Westi Utami. 2019. "DENGAN TATA RUANG (Studi Di Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah) Sektor Industri Berdasarkan Data Kementerian Perindustrian Republik Indonesia Bahwa Berdasarkan Data Produk Domestik Regional Bruto Menurut Lapangan Usaha." *Tunas Agraria* 2(2).

Nugraha, Vembri Satya, and Zuharnen. 2015. "Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Untuk

- Monitoring Densifikasi Bangunan Di Daerah Perkotaan Magelang.” *Jurnal Bumi Indonesia* 4:301–6.
- Suharyadi. 2010. “Interpretasi Hibrida Citra Satelit Resolusi Spasial Menengah Untuk Kajian Densifikasi Bangunan Daerah Perkotaan Di Daerah Perkotaan Yogyakarta.”
- Suharyadi, R., and Anggito V. Sukamdi. 2016. “Interpretasi Hibrida Untuk Identifikasi Perubahan Lahan Terbangun Dan Kepadatan Bangunan Berdasarkan Citra Landsat 5 TM Dan Sentinel 2A MSI (Kasus : Kota Salatiga).”
- Sukrisyanti, -. 2007. “Evaluasi Indeks Urban Pada Citra Landsat Multitemporal Dalam Ekstraksi Kepadatan Bangunan.” *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan* 17(1):1. doi: 10.14203/risetgeotam2007.v17.153.
- Treman, I. Wayan. 2012. “Pemanfaatan Penginderaan Jauh Untuk Kajian Densifikasi Rumah Mukim Perkotaan.” *Media Komunikasi FIS* 11(1):1–15.
- XI, Yantao, Nguyen Xuan Thinh, and Cheng LI. 2019. “Preliminary Comparative Assessment of Various Spectral Indices for Built-up Land Derived from Landsat-8 OLI and Sentinel-2A MSI Imageries.” *European Journal of Remote Sensing* 52(1):240–52. doi: 10.1080/22797254.2019.1584737.
- Yusrina, Farida Nurul, Meylinda Intan Sari, Golda Chomsa, Asil Huda, Danang Wahyu Hidayat, Edgar Jordan, and Dwi Febriyanti. 2018. “Analisis Pola Permukiman Menggunakan Pendekatan Nearest Neighbour Untuk Kajian Manfaat Objek Wisata Di Kecamatan Prambanan Kabupaten Klaten.” *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan* 2(1):46–55.
- Zhang, Tao, Xin Huang, Dawei Wen, and Jiayi Li. 2017. “Urban Building Density Estimation From High-Resolution Imagery Using Multiple Features and Support Vector Regression.” *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 10(7):3265–80. doi: 10.1109/JSTARS.2017.2669217.