

Perubahan penggunaan lahan dengan data *Nighttime Light* pada kawasan terdampak gempa di Kabupaten Klaten

Land use changes using Nighttime Light data in earthquake-affected areas in Klaten Regency

Muhammad Azmi Syarifuddin^{1*}, Nur Miladan¹, dan Mochamad Primasakti Satyagraha¹

¹Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*Email korespondensi: azmisyarifuddin28@gmail.com

Abstrak. Peningkatan kepadatan penduduk dan aktivitas pembangunan wilayah mendorong kebutuhan lahan untuk permukiman, perdagangan, dan industri. Pada wilayah rawan bencana, dinamika penggunaan lahan pascabencana menjadi isu penting dalam perencanaan pembangunan berbasis risiko. Kabupaten Klaten merupakan salah satu wilayah yang terdampak gempa bumi tahun 2006 dan mengalami proses rekonstruksi serta pemulihan aktivitas sosial ekonomi dalam jangka panjang. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan penggunaan lahan pascagempa di Kabupaten Klaten, khususnya pada kawasan terdampak, dengan memanfaatkan data *Nighttime Light* (NTL) sebagai indikator aktivitas manusia dan pembangunan wilayah. Metode penelitian menggunakan pendekatan deduktif kuantitatif dengan analisis numerik berbasis citra satelit NTL serta teknik penampalan spasial. Data dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan intensitas cahaya sebagai proksi dinamika penggunaan lahan dan konsentrasi pembangunan pascarekonstruksi. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan intensitas cahaya yang signifikan di beberapa kawasan, terutama di wilayah Klaten Tengah, yang mencerminkan pertumbuhan aktivitas ekonomi dan pembangunan infrastruktur. Pola perubahan menunjukkan kecenderungan pergeseran aktivitas masyarakat ke wilayah terdampak sedang dan terdampak kuat, dengan dominasi pada zona terdampak sedang. Temuan ini mengindikasikan bahwa kawasan terdampak gempa tetap mengalami

perkembangan seiring waktu meskipun memiliki tingkat risiko bencana. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya kebijakan perencanaan pembangunan wilayah berbasis risiko bencana untuk mengarahkan pertumbuhan aktivitas masyarakat menuju wilayah yang lebih aman dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Gempa; Kawasan Terdampak; Nighttime Light; Perubahan Penggunaan Lahan

Abstract. Increasing population density and regional development activities have intensified land demand for residential, commercial, and industrial uses. In disaster-prone areas, post-disaster land use dynamics are a critical issue in risk-based regional development planning. Klaten Regency is one of the regions affected by the 2006 earthquake and has undergone long-term reconstruction and socio-economic recovery processes. This study aims to analyze post-earthquake land use changes in Klaten Regency, particularly in affected areas, by utilizing Nighttime Light (NTL) data as a proxy for human activity and regional development. A deductive quantitative approach was applied using numerical analysis based on satellite-derived NTL data and spatial overlay techniques. The analysis focused on identifying changes in light intensity to represent land use dynamics and the concentration of post-reconstruction development. The results reveal a significant increase in light intensity in several areas, particularly in Central Klaten, reflecting growth in economic activities and infrastructure development. The observed pattern indicates a shift of community activities toward moderately and severely affected zones, with a predominance in moderately affected areas. These findings suggest that earthquake-affected areas continue to develop over time despite existing disaster risks. Therefore, risk-based regional development policies are essential to guide future growth toward safer and more sustainable zones.

Keywords: Affected Area; Earthquake; Land Use Change; Nighttime Light

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan bencana alam tertinggi di dunia. Letaknya yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama menjadikan wilayah ini sangat rawan terhadap berbagai bencana geologis, salah satunya adalah gempa bumi. Salah satu peristiwa gempa bumi besar yang tercatat dalam sejarah adalah gempa tahun 2006 akibat pergerakan Sesar Opak, yang berdampak signifikan terhadap beberapa daerah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah, termasuk Kabupaten Klaten, Sleman, Bantul, dan Kota Yogyakarta.

Kabupaten Klaten merupakan salah satu wilayah yang mengalami dampak besar dengan jumlah korban jiwa mencapai 1.041 orang dari total 5.700 korban meninggal dunia. Selain itu, tercatat 18.127 orang mengalami luka-luka dari total sekitar 40.000 korban luka. Pasca

bencana, wilayah ini menunjukkan percepatan pertumbuhan pembangunan sebagai bagian dari upaya pemulihan sosial dan ekonomi. Namun demikian, dinamika tersebut juga memperlihatkan kecenderungan meningkatnya risiko kerusakan akibat bencana di masa mendatang. Temuan ini konsisten dengan literatur terkini yang menunjukkan bahwa populasi dan kawasan terbangun terus tumbuh lebih cepat di wilayah yang rentan terhadap bahaya alam dibandingkan area dengan risiko lebih rendah, sebuah pola urbanisasi yang meningkatkan paparan dan kerentanan terhadap bencana alam di banyak negara berkembang dan urbanisasi pesat [1,2].

Dalam konteks tersebut, perkembangan permukiman yang pesat dan ketidaksetaraan spasial meningkatkan risiko bencana karena konsentrasi penduduk dan aset di lokasi berbahaya menyebabkan eksposur yang lebih tinggi terhadap ancaman alam, terutama di kawasan dengan perlindungan infrastruktur yang terbatas [3]. Urbanisasi yang pesat mendorong perpindahan dan pertumbuhan penduduk ke kawasan yang secara spasial rawan bencana, sehingga pengendalian pemanfaatan ruang dan evaluasi perubahan penggunaan lahan menjadi sangat penting untuk mencegah berkembangnya permukiman dan aktivitas pembangunan di zona berisiko tinggi serta mendukung perencanaan wilayah yang berkelanjutan [4].

Penelitian sebelumnya umumnya menggunakan citra satelit siang hari seperti Landsat 8 untuk mengidentifikasi perubahan penggunaan lahan pasca bencana. Meskipun citra siang hari mampu memberikan informasi visual terkait tutupan lahan, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam mengungkap dinamika aktivitas sosial ekonomi secara langsung. Citra Landsat cenderung menekankan aspek biofisik dan visual permukaan bumi, seperti vegetasi, bangunan, atau air, namun tidak merepresentasikan intensitas aktivitas manusia yang berlangsung di suatu wilayah.

Sebaliknya teknologi *Nighttime Light* (NTL) atau citra satelit malam memungkinkan perbedaan kontras antara kecerahan dan kegelapan dalam gambar NTL untuk merepresentasikan aktivitas manusia secara ideal [5]. Penerapan teknologi NTL dalam perencanaan wilayah dan kota dapat digunakan untuk menentukan karakteristik pertumbuhan perkotaan, memetakan variabel sosial ekonomi dan lingkungan, menyelidiki aktivitas manusia, serta memetakan polusi cahaya dalam kaitannya dengan efisiensi energi [6]. Penggunaan NTL juga dapat membantu dalam mengidentifikasi pola penggunaan lahan berdasarkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh aktivitas ekonomi di suatu wilayah [7,8]. Daerah dengan intensitas cahaya tinggi menunjukkan konsentrasi kegiatan ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan daerah dengan ekonomi yang lebih rendah [9]. Selain itu, data NTL juga menunjukkan korelasi kuat dalam mengidentifikasi kegiatan manusia, termasuk pemantauan perubahan intensitas aktivitas akibat urbanisasi atau perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun [10,11]. Dengan demikian, NTL dapat menangkap perubahan dinamis yang tidak hanya mencerminkan perubahan fisik lahan, tetapi juga intensitas kegiatan manusia yang berlangsung di atasnya. Hal ini memberikan keunggulan tersendiri dalam mengevaluasi wilayah pasca bencana dari perspektif sosial ekonomi.

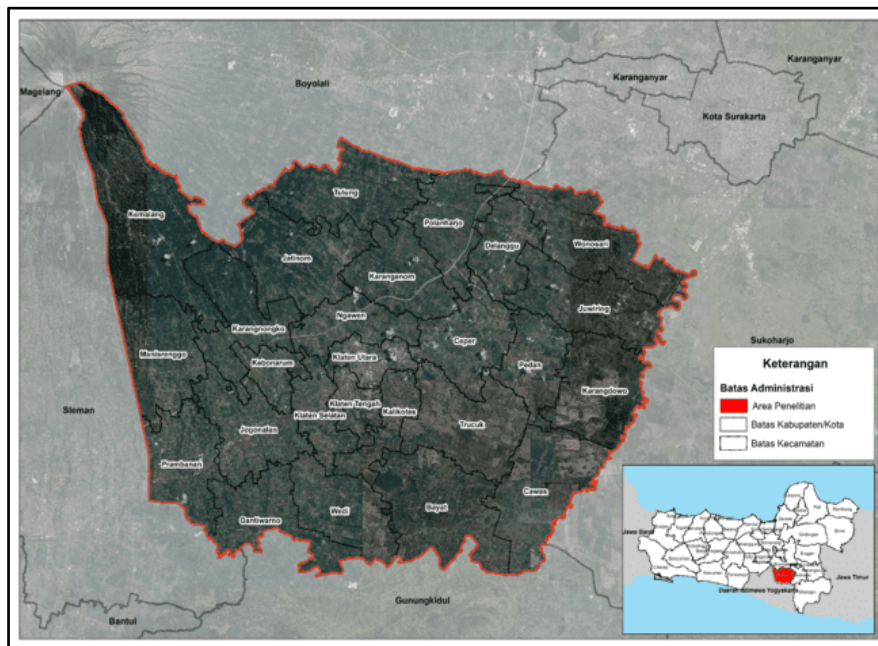
Namun demikian, terdapat kesenjangan riset (*research gap*) dalam pemanfaatan teknologi NTL untuk konteks pasca bencana di Indonesia. Hingga saat ini, belum banyak penelitian yang secara eksplisit mengkaji perubahan penggunaan lahan berbasis intensitas aktivitas sosial ekonomi menggunakan data NTL, khususnya di wilayah yang terdampak gempa bumi seperti Kabupaten Klaten. Mayoritas studi masih berfokus pada analisis tutupan lahan secara fisik tanpa mempertimbangkan dinamika sosial ekonomi yang menyertainya. Oleh karena itu, pendekatan ini menawarkan perspektif baru yang lebih komprehensif dalam memahami transformasi ruang pasca bencana.

Penelitian ini memiliki signifikansi ilmiah dan praktis yang kuat. Secara ilmiah, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan metode pengamatan spasial berbasis citra malam yang lebih akurat dalam memetakan aktivitas sosial ekonomi, terutama dalam konteks wilayah rawan bencana. Sementara secara praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, serta pengambilan kebijakan pembangunan berkelanjutan di daerah pasca bencana. Dengan demikian, pendekatan NTL tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga aplikatif dalam mendukung perencanaan wilayah yang adaptif dan responsif terhadap risiko bencana. Oleh karena itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Klaten pasca gempa 2006 pada kawasan terdampak gempa bumi dengan memanfaatkan *Nighttime Light* (NTL).

2. Metode

2.1. Ruang lingkup wilayah

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Kabupaten Klaten terdiri dari 26 kecamatan, 391 desa, dan 10 kelurahan. Secara geografis, Kabupaten Klaten terletak pada koordinat 7°32'19" – 7°50'16" Lintang Selatan dan 110°26'14" – 110°47'51" Bujur Timur. Kabupaten ini berada di antara dua kota besar, yaitu Kota Surakarta dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Kabupaten Klaten juga berbatasan langsung dengan beberapa wilayah administrasi yang memiliki karakteristik geografis berbeda. Di sebelah utara, Kabupaten Klaten berbatasan dengan Kabupaten Boyolali yang memiliki kontur wilayah relatif lebih tinggi karena berada dekat dengan Gunung Merapi. Di sebelah selatan, Klaten berbatasan dengan Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang didominasi oleh kawasan karst dan lahan kering. Pada bagian barat, Klaten berbatasan dengan Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki perkembangan pesat dalam sektor pendidikan dan industri. Sementara itu, di sebelah timur, Klaten berbatasan dengan Kabupaten Sukoharjo yang dikenal sebagai kawasan penyangga ekonomi bagi Kota Surakarta. Berikut merupakan peta Kabupaten Klaten sebagai wilayah penelitian. Berikut merupakan peta ruang lingkup wilayah penelitian yang tertera dalam Gambar 1.



Gambar 1. Peta ruang lingkup wilayah penelitian.

2.2. Pendekatan dan jenis penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deduktif yaitu suatu metode berpikir yang berangkat dari pernyataan umum untuk menarik kesimpulan yang bersifat khusus. Dalam konteks penelitian ini, proses deduktif diterapkan dengan memanfaatkan data *Nighttime Light* (NTL) guna mengidentifikasi perubahan penggunaan lahan di kawasan terdampak gempa bumi di Kabupaten Klaten. Menurut penelitian yang dilakukan sebelumnya, perbedaan tingkat intensitas cahaya yang dihasilkan oleh data *Nighttime Light* (NTL) mampu menggambarkan aktivitas masyarakat seperti letak permukiman, perdagangan dan jasa, serta kegiatan industri [6]. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang sistematis terhadap pola perubahan lahan berdasarkan intensitas cahaya yang terekam dalam citra satelit. Pada tahap akhir, penelitian ini akan menarik kesimpulan spesifik terkait pola perkembangan penggunaan lahan di setiap kawasan terdampak gempa berdasarkan hasil analisis data NTL yang bersifat umum.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif digunakan karena penelitian ini berfokus pada pengolahan dan analisis data numerik yang diperoleh dari citra satelit NTL. Data yang dikumpulkan akan dianalisis secara statistik untuk mengidentifikasi pola perubahan penggunaan lahan dan membandingkan perkembangannya di berbagai wilayah terdampak gempa bumi. Melalui pendekatan kuantitatif, penelitian ini dapat memberikan hasil yang objektif dan terukur mengenai hubungan antara intensitas cahaya dalam citra NTL dan dinamika perubahan penggunaan lahan pasca bencana di Kabupaten Klaten.

2.3. Pengumpulan data

Penelitian ini menggunakan teknik pengumpulan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber terpercaya. Teknik ini mengandalkan data yang telah tersedia sebelumnya untuk kemudian dianalisis dan diinterpretasikan guna mendukung tujuan penelitian. Salah satu data awal yang digunakan dalam penelitian ini adalah data peta dasar berupa batas administrasi wilayah yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Klaten. Data ini berfungsi sebagai referensi geospasial dalam proses pemetaan dan analisis, khususnya untuk menentukan cakupan wilayah studi secara akurat.

Data utama lainnya yang digunakan dalam studi ini adalah data *Nighttime Light* (NTL) yang diperoleh dari platform *opensource Light Pollution Map* [12]. Data NTL ini dihasilkan dari citra satelit *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) yang mampu merekam tingkat kecerahan cahaya buatan di suatu wilayah pada malam hari. Dalam konteks penelitian ini, NTL digunakan untuk menganalisis dinamika perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Klaten setelah terjadinya gempa bumi tahun 2006.

Adapun data NTL yang digunakan berasal dari tahun 2014, 2018, dan 2022 yang dipilih untuk merepresentasikan perubahan temporal pada periode pasca bencana. Namun, terdapat keterbatasan dalam penggunaan data VIIRS karena satelit ini baru mulai beroperasi sejak tahun 2012. Untuk periode sebelumnya, hanya tersedia data dari satelit *Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System* (DMSP-OLS) yang memiliki resolusi lebih rendah, yaitu sekitar 1 km, dibandingkan dengan 500 meter pada VIIRS. Perbedaan resolusi ini berdampak pada tingkat ketelitian dalam mendeteksi dan menganalisis perubahan spasial secara lebih detail.

Selain itu, penelitian ini juga mengumpulkan data mengenai kawasan terdampak gempa bumi yang digambarkan melalui skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI). Data tersebut diperoleh dari *USGS Earth Explorer* yang menyediakan informasi tingkat intensitas guncangan di berbagai wilayah terdampak gempa bumi tahun 2006 di Kabupaten Klaten [13]. Skala MMI digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kerusakan di berbagai zona, sehingga dapat dilakukan perbandingan perkembangan penggunaan lahan berdasarkan tingkat keparahan dampak bencana.

2.4. Teknik analisis

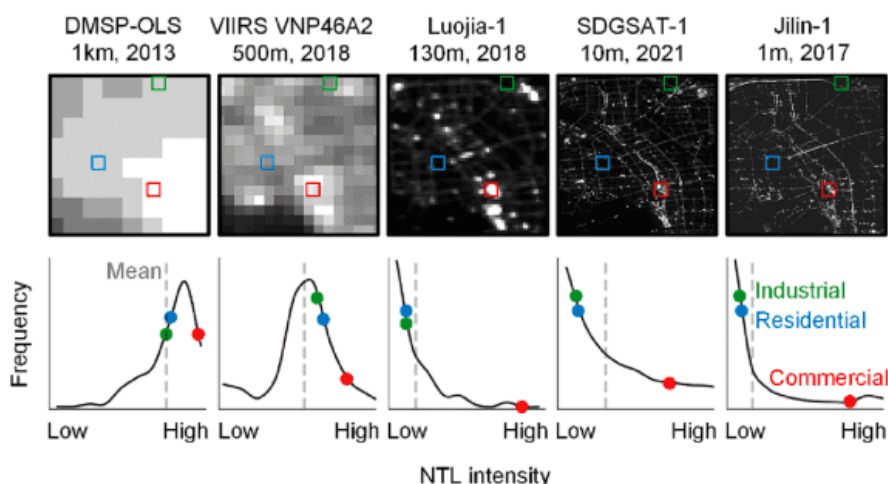
Penelitian ini menggunakan teknik analisis spasial untuk mengidentifikasi perubahan intensitas cahaya pada masing-masing kawasan terdampak gempa bumi di Kabupaten Klaten. Teknik ini dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak ArcGIS, khususnya menggunakan *tools Intersect*. *Tools* ini memungkinkan analisis overlay antara data *Nighttime Light* (NTL) dan data kawasan terdampak gempa bumi berdasarkan skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI).

Intensitas cahaya pada suatu kawasan dapat mencerminkan jenis penggunaan lahan yang berkembang setelah bencana. Intensitas cahaya dalam citra NTL dapat dikategorikan ke dalam beberapa kelas, yaitu: tidak ada cahaya, cahaya sangat rendah, cahaya rendah, cahaya sedang,

dan cahaya tinggi [14]. Perubahan dalam kategori ini dapat memberikan indikasi mengenai perkembangan wilayah, seperti peningkatan aktivitas ekonomi, pertumbuhan permukiman, serta perubahan fungsi lahan dari non-terbangun menjadi lahan terbangun. Perbedaan intensitas cahaya ini juga sejalan dengan persebaran aktivitas sosial ekonomi di suatu wilayah. Semakin tinggi intensitas cahaya pada wilayah tersebut semakin banyak pula aktivitas sosial ekonomi yang terjadi pada wilayah tersebut. Kegiatan sosial ekonomi ini diasumsikan oleh adanya keberadaan permukiman, perdagangan dan jasa, serta kegiatan industri, dimana masing-masing kegiatan tersebut menghasilkan tingkatan cahaya yang berbeda-beda. Berikut tabel kelas *nighttime light* pada Tabel 1 dan frekuensi NTL berdasarkan penggunaan lahan pada Gambar 2.

Tabel 1. Kelas *nighttime light* [14].

No.	Kelas <i>Nighttime Light</i>	Intensitas Cahaya (nanoWatts/sr/cm ²)
1	Tidak ada cahaya	0 – 2
2	Cahaya sangat rendah	3 – 5
3	Cahaya rendah	6 – 10
4	Cahaya sedang	11 – 20
5	Cahaya tinggi	>20



Gambar 2. Frekuensi NTL berdasarkan jenis penggunaan lahan [6].

Untuk membedakan kawasan terdampak gempa bumi tahun 2006, penelitian ini menggunakan data MMI yang menggambarkan tingkat intensitas guncangan di berbagai lokasi. Skala MMI diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori seperti pada Tabel 2, mulai dari *Not Felt* (tidak terasa) hingga *Extreme* (sangat parah) [15].

Tabel 2. Besaran intensitas magnitudo skala MMI [16].

No	Skala Intensitas Mercalli	Magnitudo
1	I (Tidak dirasakan)	1.0 – 3.0
2	(II-III) Lemah	3.0 – 3.9
3	(IV) Ringan - (V) Sedang	.0 – 3.0
4	(VI) Kuat - (VII) Sangat kuat	1.0 – 3.0
5	(VIII) Parah - (IX) Hebat	1.0 – 3.0
6	(X) Ekstrem atau lebih	1.0 – 3.0

3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Kawasan terdampak gempa. Kerawanan bencana gempa bumi dapat dianalisis berdasarkan sejarah kejadian gempa bumi yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Kabupaten Klaten berada di wilayah yang rawan gempa karena diapit oleh tiga sesar aktif, yaitu Sesar Merapi, Sesar Opak, dan Sesar Dengkung sebagaimana tertera pada Gambar 3. Dari ketiga sesar tersebut, Sesar Opak merupakan penyebab gempa dahsyat yang terjadi pada tahun 2006.

**Gambar 3.** Lokasi sesar aktif di sekitar Kabupaten Klaten [17].

Dalam mengidentifikasi tingkat kerawanan gempa bumi di Kabupaten Klaten, digunakan data *Modified Mercalli Intensity* (MMI) dari *USGS Earth Explorer* yang menunjukkan dampak pergerakan Sesar Opak. Data ini diintegrasikan untuk mengevaluasi dampak gempa di Kabupaten Klaten. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh distribusi intensitas gempa sebagaimana tertera dalam Gambar 4 dengan penjelasan berikut:

a. Intensitas *Very Strong* (MMI VII)

Berdasarkan data dari USGS *Earth Explorer* sebanyak 14 desa terdampak gempa bumi tahun 2006 dengan intensitas *very strong*. Desa-desanya mengalami guncangan yang signifikan, berpotensi menyebabkan kerusakan serius pada bangunan dengan struktur yang tidak tahan gempa.

b. Intensitas *Strong* (MMI VI)

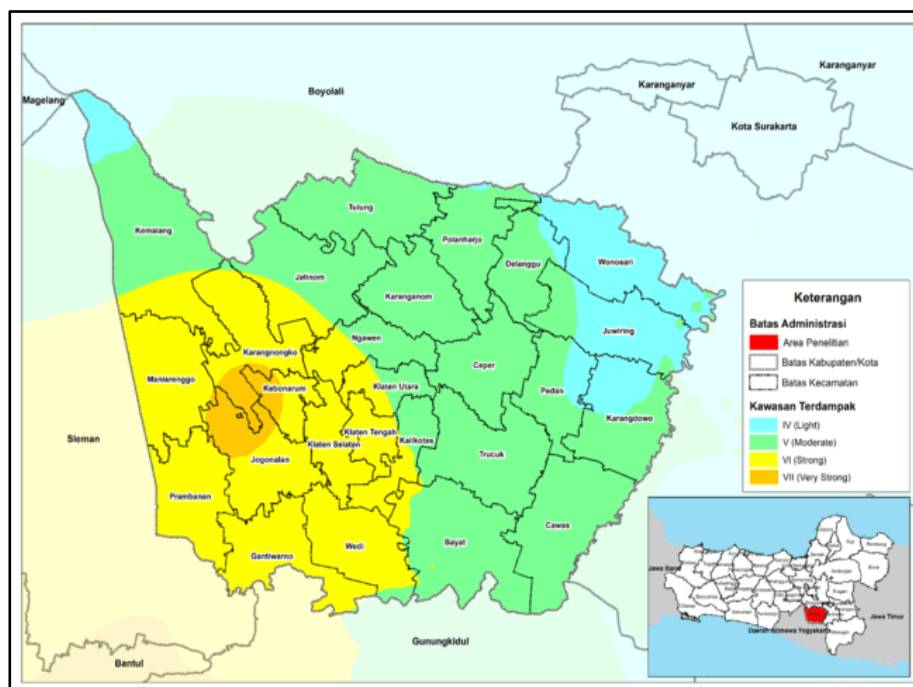
Berdasarkan data dari USGS *Earth Explorer* sebanyak 101 desa terdampak gempa bumi tahun 2006 dengan intensitas *strong*. Dampak gempa pada intensitas ini meliputi kerusakan ringan hingga sedang pada bangunan.

c. Intensitas *Moderate* (MMI V)

Berdasarkan data dari USGS *Earth Explorer* sebanyak 285 desa terdampak gempa bumi tahun 2006 dengan intensitas *moderate*. Gempa dalam intensitas ini menyebabkan guncangan dirasakan oleh sebagian besar penduduk, tetapi tidak menyebabkan kerusakan struktural yang berarti.

d. Intensitas *Light* (MMI IV)

Berdasarkan data dari USGS *Earth Explorer* sebanyak 92 desa terdampak gempa bumi tahun 2006 dengan intensitas *light*. Gempa ini menyebabkan guncangan ringan dirasakan oleh penduduk, tetapi tidak menyebabkan kerusakan.



Gambar 4. Peta ruang lingkup wilayah penelitian.

3.1.2. Perkembangan perubahan lahan di Kabupaten Klaten. Dalam menganalisis perubahan penutupan lahan di Kabupaten Klaten, data *Nighttime Light* (NTL) menjadi salah satu indikator penting yang mencerminkan aktivitas manusia melalui intensitas cahaya pada malam hari. Penggunaan data ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap perubahan aktivitas manusia dan perkembangan wilayah di Kabupaten Klaten pasca gempa bumi tahun 2006. Namun, dikarenakan keterbatasan data dalam penelitian ini yaitu data NTL citra satelit VIIRS baru diluncurkan pada tahun 2013. Oleh karena itu, dalam penelitian ini menggunakan data NTL pada tahun 2014, 2018, dan 2022 untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan.

Pada periode perkembangan kawasan antara tahun 2014 hingga 2022, intensitas cahaya akibat aktivitas manusia di Kabupaten Klaten mengalami peningkatan setiap tahunnya. Hal ini mencerminkan peningkatan aktivitas ekonomi dan sosial yang berkontribusi terhadap perubahan penutupan lahan. Peningkatan ini terutama disebabkan oleh perluasan wilayah permukiman, perdagangan, dan industri, yang mengakibatkan jumlah cahaya yang terdeteksi pada malam hari semakin tinggi. Perubahan signifikan dapat diamati dalam distribusi kelas NTL selama periode tersebut. Pada tahun 2014 dan 2018, kelas NTL di Kabupaten Klaten terdiri dari empat kategori, yaitu tidak ada cahaya, cahaya sangat rendah, cahaya rendah, dan cahaya sedang. Namun, pada tahun 2022, muncul kelas cahaya tinggi, yang mencerminkan peningkatan aktivitas manusia dan ekspansi wilayah urbanisasi yang lebih luas. Sebagaimana dijelaskan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perkembangan intensitas cahaya di Kabupaten Klaten.

No	Klasifikasi NTL	Luasan Kawasan		
		Tahun 2014	Tahun 2018	Tahun 2022
1	Tidak ada cahaya	59418,49	42834,5	18172,44
2	Cahaya sangat rendah	9032,27	23623,71	43164,61
3	Cahaya rendah	1303,87	2927,57	7457,56
4	Cahaya sedang	348,15	717	1171,55
5	Cahaya tinggi	0	0	136,63

Distribusi kelas NTL (*Nighttime Light*) menunjukkan dinamika yang cukup signifikan dalam rentang waktu 2014 hingga 2022. Data menunjukkan bahwa intensitas cahaya tinggi, sedang, dan rendah cenderung terkonsentrasi di Klaten Tengah dan wilayah sekitarnya. Kawasan ini merupakan pusat administrasi dan ekonomi Kabupaten Klaten, yang mengalami pertumbuhan pesat akibat ekspansi permukiman, pengembangan pusat perdagangan, serta munculnya klaster industri skala kecil hingga menengah.

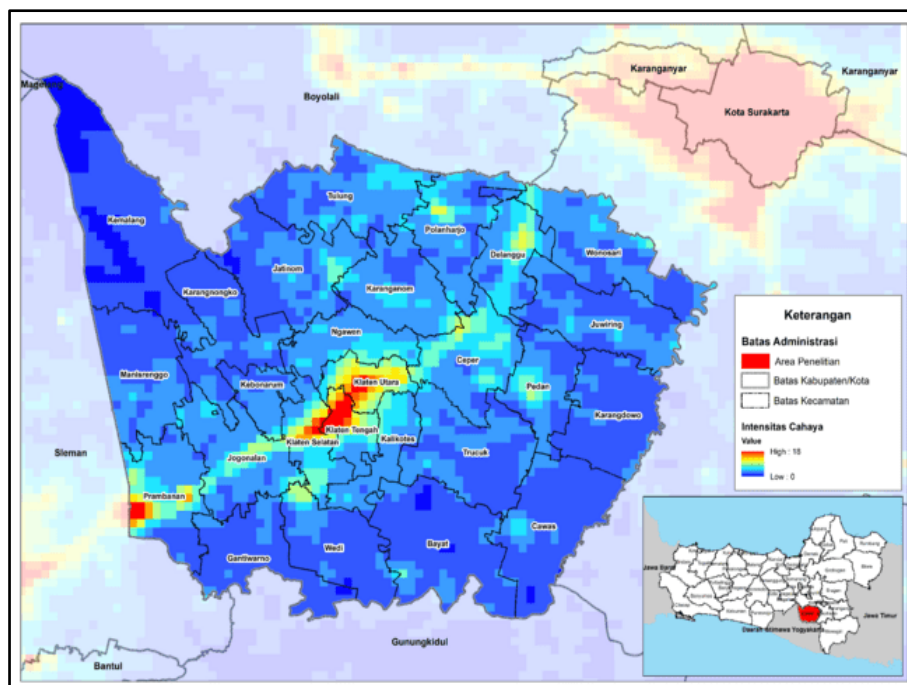
Berdasarkan data luasan kawasan, terjadi pergeseran besar dalam distribusi intensitas cahaya malam:

- Kawasan tanpa cahaya mengalami penurunan drastis dari 59.418,49 ha pada tahun 2014 menjadi hanya 18.172,44 ha pada tahun 2022, berkurang sekitar 69,4%.

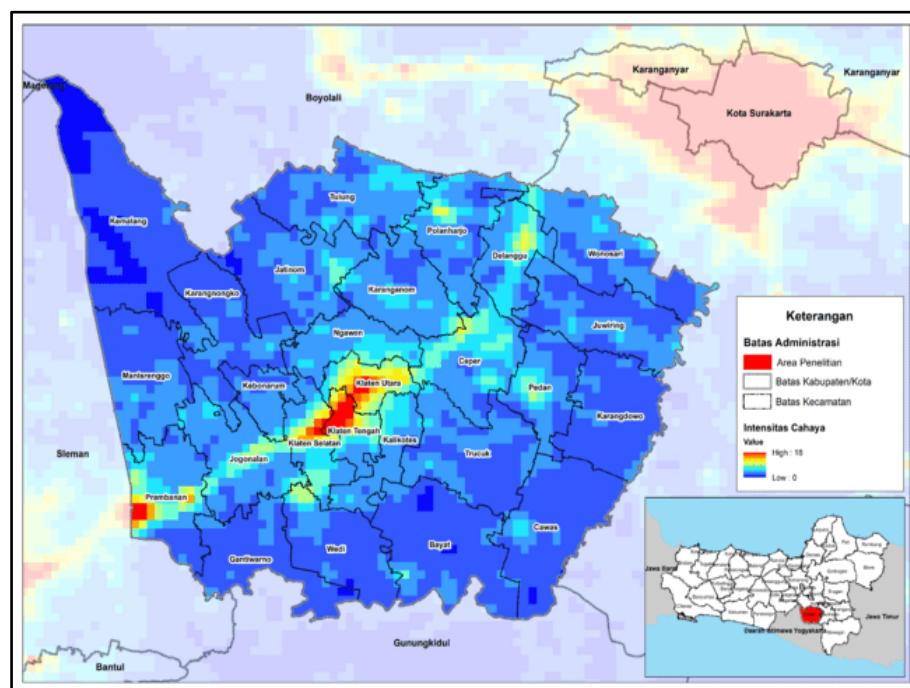
- Cahaya sangat rendah meningkat tajam dari 9.032,27 ha menjadi 43.164,61 ha, setara dengan lonjakan 377,9% dalam kurun waktu delapan tahun.
- Cahaya rendah bertambah dari 1.303,87 ha (2014) menjadi 7.457,56 ha (2022), meningkat sebesar 471,7%.
- Cahaya sedang tumbuh dari 348,15 ha menjadi 1.171,55 ha, atau naik sekitar 236,6%.
- Yang paling mencolok adalah kemunculan kategori cahaya tinggi, yang tidak terdeteksi sama sekali pada tahun 2014 dan 2018, namun pada tahun 2022 mencapai 136,63 ha yang mengindikasikan adanya kawasan dengan aktivitas malam yang sangat intens, biasanya terkait dengan pusat perdagangan besar, fasilitas publik utama, atau kawasan industri.

Pola pencahayaan di Kabupaten Klaten juga menunjukkan karakteristik yang tersebar dan bervariasi. Peningkatan intensitas pencahayaan tidak hanya terjadi di wilayah pusat kota, tetapi juga menjalar ke kawasan-kawasan yang sebelumnya memiliki intensitas sangat rendah atau bahkan tidak ada pencahayaan sama sekali. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan aktivitas ekonomi dan pemukiman telah meluas ke luar pusat kota, menciptakan pola urbanisasi baru dan kemunculan pusat-pusat ekonomi sekunder.

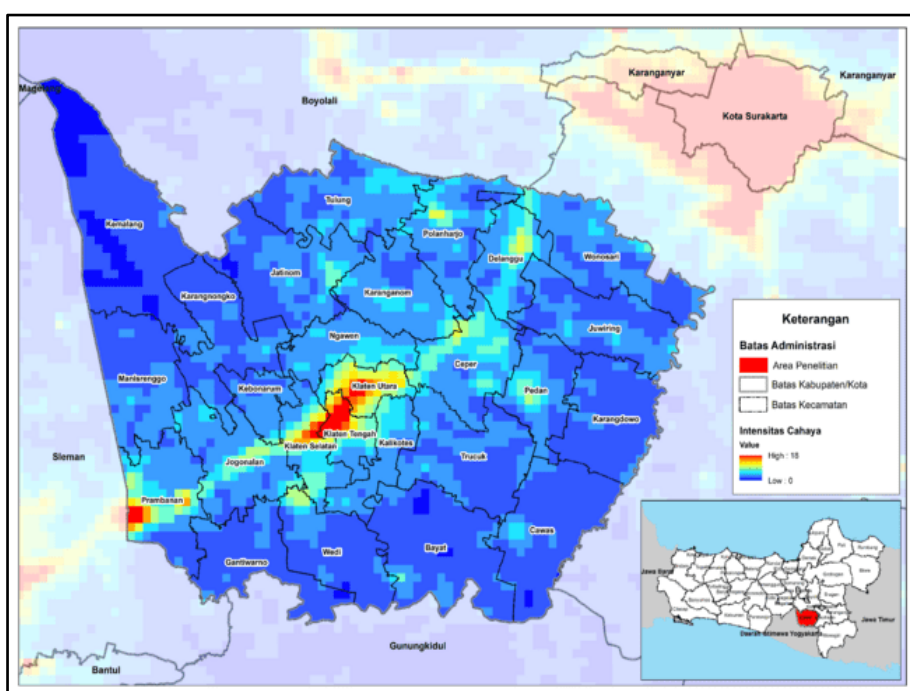
Secara spasial, perubahan ini mencerminkan peningkatan pembangunan infrastruktur, distribusi listrik yang lebih merata, serta dinamika pertumbuhan ekonomi lokal yang mendorong pencahayaan buatan sebagai salah satu indikator perkembangan wilayah.



Gambar 5. Peta *Nighttime Light* tahun 2014.



Gambar 6. Peta *Nighttime Light* tahun 2018.



Gambar 7. Peta *Nighttime Light* tahun 2022.

Analisis terhadap citra intensitas cahaya malam di Kabupaten Klaten dari tahun 2014, 2018, hingga 2022 sebagaimana tertera dalam Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 menunjukkan

adanya tren peningkatan intensitas pencahayaan di beberapa wilayah, khususnya di kawasan Klaten Tengah, Klaten Utara, dan Klaten Selatan. Hal ini mengindikasikan terjadinya transformasi spasial yang cukup signifikan dalam struktur tutupan lahan dan pola aktivitas masyarakat.

Secara umum, tutupan lahan di Kabupaten Klaten masih didominasi oleh vegetasi berupa hutan, kebun, dan lahan pertanian, yang tercermin dari dominasi warna biru pada peta intensitas cahaya. Namun, area dengan intensitas cahaya sedang hingga tinggi yang ditunjukkan dengan gradasi warna kuning hingga merah cenderung meningkat dari waktu ke waktu, terutama di pusat-pusat kegiatan penduduk.

Faktor utama peningkatan intensitas cahaya di Klaten Tengah dan sekitarnya adalah bertambahnya aktivitas permukiman serta ekspansi kawasan ekonomi baru seperti pusat perdagangan, kawasan industri skala kecil, dan fasilitas umum. Kawasan ini secara geografis merupakan jantung kota dan pusat administrasi Kabupaten Klaten, sehingga menjadi magnet bagi pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi.

Selain itu, perubahan intensitas cahaya di wilayah-wilayah lain seperti Ceper, Delanggu, Prambanan, dan Polanharjo juga menunjukkan dinamika serupa, meskipun dalam skala yang lebih kecil. Peningkatan pencahayaan di wilayah ini sebagian besar dipicu oleh pembangunan infrastruktur jalan, pertumbuhan permukiman baru, serta munculnya sentra-sentra ekonomi berbasis lokal seperti pasar dan UMKM.

Korelasi positif antara intensitas cahaya malam dan densitas populasi terlihat jelas dari tren yang konsisten dalam tiga tahun pengamatan. Wilayah dengan cahaya tinggi cenderung menunjukkan tingkat kepadatan penduduk dan aktivitas ekonomi yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang intensitas cahayanya rendah.

Dengan demikian, intensitas cahaya malam dapat dijadikan indikator yang andal dalam memetakan dinamika urbanisasi dan perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Klaten. Peningkatan aktivitas manusia secara langsung mendorong konversi lahan vegetatif menjadi kawasan terbangun, sehingga membentuk pola spasial baru yang lebih kompleks dan terstruktur seiring waktu.

3.1.3 Perubahan lahan pada kawasan terdampak gempa. Gempa bumi yang terjadi pada tahun 2006 memberikan dampak signifikan terhadap berbagai kawasan di Kabupaten Klaten, terutama dalam aspek sosial dan ekonomi. Seiring waktu, dinamika pembangunan di wilayah terdampak dapat diamati melalui berbagai indikator spasial, salah satunya adalah *Nighttime Light* (NTL) atau cahaya malam hari. NTL menjadi indikator tidak langsung yang efektif untuk mengamati perubahan aktivitas manusia dan perkembangan ekonomi di suatu wilayah.

Tabel 5. Intensitas cahaya pada kawasan terdampak tahun 2014.

No	Klasifikasi NTL	Intensitas MMI			
		IV (<i>Light</i>)	V (<i>Moderate</i>)	VI (<i>Strong</i>)	VII (<i>Very Strong</i>)
1	Tidak Ada Cahaya	11104,06	37409,05	9916,83	558,22
2	Cahaya Sangat Rendah	1752,49	956,1	2557,95	0,7
3	Cahaya Rendah	220,55	4866,74	354,7	11,21
4	Cahaya Sedang	0	257,17	111,22	25,79
5	Cahaya Tinggi	0	0	0	0
	Total	13077,1	43489,05	12940,7	595,93

Tabel 6. Intensitas cahaya pada kawasan terdampak tahun 2018.

No	Klasifikasi NTL	Intensitas MMI			
		IV (<i>Light</i>)	V (<i>Moderate</i>)	VI (<i>Strong</i>)	VII (<i>Very Strong</i>)
1	Tidak Ada Cahaya	8533,91	26300,84	7099,18	558,22
2	Cahaya Sangat Rendah	4191,5	14746,02	4712,94	0
3	Cahaya Rendah	351,69	1845,34	960,16	11,92
4	Cahaya Sedang	0	596,84	168,43	25,79
5	Cahaya Tinggi	0	0	0	0
	Total	13077,1	43489,05	12940,7	595,93

Tabel 7. Intensitas cahaya pada kawasan terdampak tahun 2022.

No	Klasifikasi NTL	Intensitas MMI			
		IV (<i>Light</i>)	V (<i>Moderate</i>)	VI (<i>Strong</i>)	VII (<i>Very Strong</i>)
1	Tidak Ada Cahaya	8533,91	26300,84	7099,18	558,22
2	Cahaya Sangat Rendah	4191,5	14746,02	4712,94	0
3	Cahaya Rendah	351,69	1845,34	960,16	11,92
4	Cahaya Sedang	0	596,84	168,43	25,79
5	Cahaya Tinggi	0	0	0	0
	Total	13077,1	43489,05	12940,7	595,93

Analisis data NTL dari tahun 2014 hingga 2022 sebagaimana terlihat dalam Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 menunjukkan tren perkembangan yang berbeda di setiap zona intensitas gempa, dari ringan hingga sangat kuat. Di kawasan dengan intensitas gempa ringan (MMI IV), terjadi peningkatan aktivitas sosial ekonomi masyarakat, tercermin dari penurunan luas wilayah dengan kelas NTL tidak ada cahaya (dari 11.104,06 ha menjadi 8.533,91 ha) dan peningkatan pada kelas NTL cahaya sangat rendah dan cahaya rendah. Hal ini mengindikasikan terjadinya pembangunan dan penyebaran aktivitas permukiman atau ekonomi di area tersebut.

Pada kawasan terdampak dengan intensitas sedang (MMI V), terdapat peningkatan aktivitas yang cukup signifikan dari tahun 2014 hingga 2022. Kelas NTL cahaya sangat rendah meningkat tajam dari 956,1 ha (2014) menjadi 14.746,02 ha (2018) dan tetap tinggi hingga 2022. Kelas cahaya rendah sempat menurun pada 2018 namun kembali meningkat pada 2022, menunjukkan distribusi aktivitas ekonomi yang lebih menyebar. Kemunculan kelas cahaya sedang dan bahkan cahaya tinggi di wilayah ini pada 2022 mencerminkan tumbuhnya pusat-pusat kegiatan ekonomi baru. Fluktuasi ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kebijakan

pembangunan lokal, seperti program pemulihan ekonomi pasca bencana dan perluasan kawasan permukiman, terutama di wilayah tengah Klaten yang menjadi simpul pertumbuhan.

Sementara itu, di kawasan dengan intensitas kuat (MMI VI), tren peningkatan NTL relatif stabil di seluruh kelas dari tahun ke tahun. Kemunculan kelas cahaya tinggi pada 2022 menegaskan bahwa kawasan ini telah mengalami peningkatan signifikan dalam aktivitas sosial ekonomi. Kemungkinan besar, stabilitas ini dipengaruhi oleh keberhasilan program rekonstruksi pasca bencana, termasuk pembangunan infrastruktur dan fasilitas sosial ekonomi dasar yang mampu mendorong investasi masyarakat.

Menariknya, kawasan dengan intensitas sangat kuat (MMI VII) yang sebelumnya relatif stagnan menunjukkan pertumbuhan signifikan dari 2014 ke 2022. Kelas NTL cahaya sangat rendah yang sebelumnya hanya 0,7 ha pada 2014 meningkat menjadi 0 ha pada 2018, namun kembali muncul dalam bentuk kelas cahaya rendah dan cahaya sedang di 2022. Ini mengindikasikan bahwa beberapa wilayah dengan tingkat kerusakan tertinggi pasca gempa justru mulai menunjukkan geliat aktivitas sosial ekonomi. Pertumbuhan ini patut dicermati karena bisa menjadi indikasi keterbatasan kebijakan mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang. Beberapa kawasan mungkin berkembang secara spontan tanpa memperhatikan zonasi rawan bencana, misalnya akibat tekanan kebutuhan permukiman atau kurangnya pengawasan terhadap pemanfaatan ruang.

Secara umum, tren pertumbuhan sosial ekonomi masyarakat paling dominan terjadi di kawasan terdampak sedang dan kuat. Namun, lonjakan pembangunan di zona sangat kuat menunjukkan adanya kebutuhan untuk mengevaluasi kembali kebijakan penataan ruang pasca bencana. Perlu regulasi yang lebih ketat dan berorientasi mitigasi risiko dalam mendampingi pertumbuhan kawasan rawan gempa agar tidak terjadi konsentrasi pembangunan di area berisiko tinggi.

3.2. Diskusi

Hasil interpretasi dari data *Nighttime Light* (NTL) berbasis sensor VIIRS menunjukkan bahwa intensitas cahaya malam hari mampu merefleksikan variasi aktivitas sosial ekonomi pada berbagai jenis penggunaan lahan, seperti kawasan industri, perdagangan, dan permukiman [6]. Dibandingkan dengan DMSP-OLS, VIIRS memiliki keunggulan utama dalam resolusi spasial yang lebih tinggi dan sensitivitas deteksi yang lebih rendah, memungkinkan identifikasi kawasan terbangun dengan lebih presisi [18].

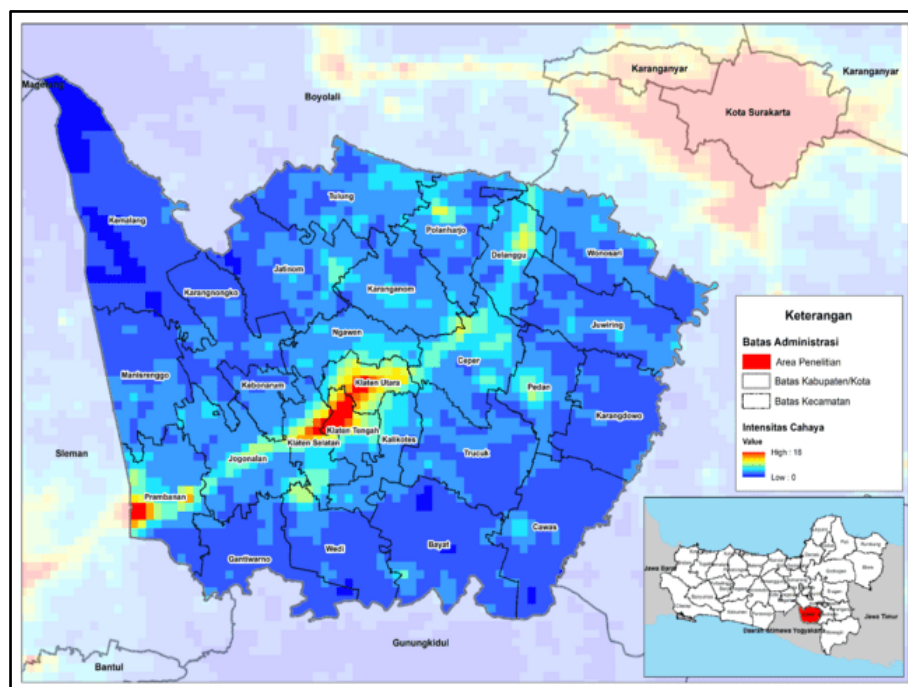
Namun demikian, VIIRS memiliki keterbatasan dalam mendeteksi area terbangun yang berada pada wilayah dengan tutupan vegetasi yang padat, seperti kawasan pegunungan. Hal ini menyebabkan potensi bias dalam estimasi luas kawasan terbangun, terutama di daerah topografi kompleks.

Analisis spasial dari data NTL tahun 2014 hingga 2022 menunjukkan peningkatan intensitas cahaya yang signifikan di Kabupaten Klaten, terutama di wilayah Klaten Tengah, Klaten Utara,

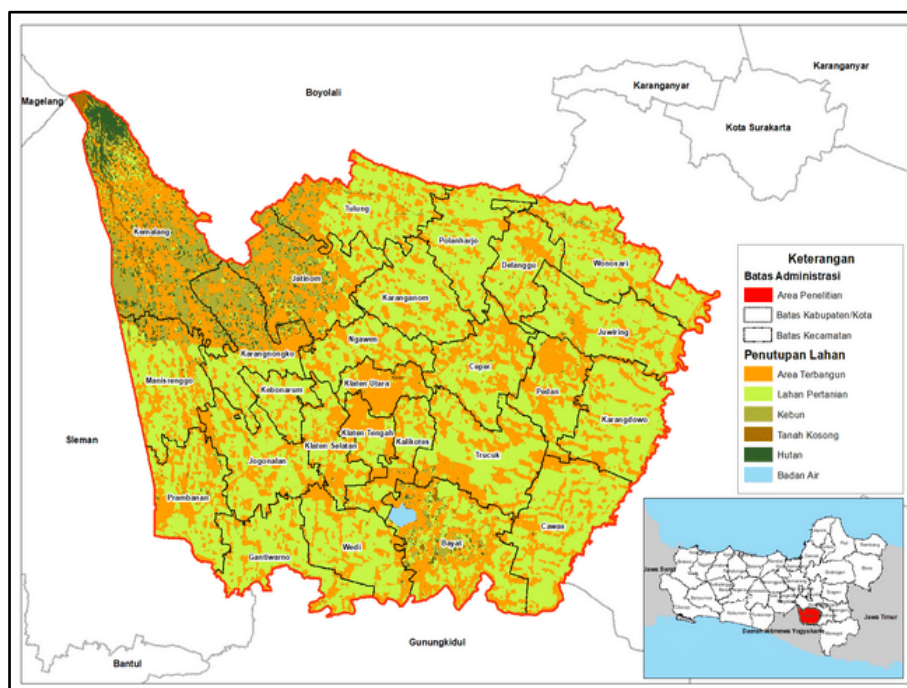
dan Klaten Selatan. Peningkatan ini mencerminkan perluasan kawasan permukiman, pertumbuhan sektor perdagangan dan jasa, serta munculnya pusat-pusat ekonomi baru. Peta NTL memperlihatkan zona-zona dengan intensitas tinggi (kuning hingga merah) yang berasosiasi kuat dengan konsentrasi aktivitas ekonomi. Hal ini sejalan dengan temuan [9] yang menyatakan bahwa konsentrasi ekonomi berkembang lebih pesat pada wilayah dengan intensitas cahaya tinggi.

Sebagai pembanding, data tutupan lahan tahun 2022 dari citra Landsat 8 sebagaimana terlihat dalam Gambar 9 menunjukkan distribusi spasial area terbangun yang didominasi oleh warna oranye di peta, yang mencerminkan wilayah permukiman dan infrastruktur fisik lainnya. Jika dibandingkan, NTL menawarkan kelebihan karena dapat merepresentasikan intensitas aktivitas sosial ekonomi secara langsung, sementara data Landsat lebih fokus pada bentuk fisik lahan tanpa merekam dinamika kegiatan ekonomi di atasnya.

Namun, terdapat kekurangan pada data NTL yang tidak mampu menangkap aktivitas masyarakat di wilayah dengan tutupan vegetasi tinggi, seperti area perbukitan di utara dan selatan Kabupaten Klaten. Dalam hal ini, data Landsat berperan sebagai pelengkap yang menggambarkan distribusi spasial area terbangun secara menyeluruh, termasuk di kawasan yang tidak terekam oleh sensor cahaya malam hari.



Gambar 8. Peta *Nighttime Light* tahun 2022.



Gambar 9. Peta tutupan lahan Landsat 8 tahun 2022.

Selain faktor urbanisasi dan dampak gempa bumi yang sebelumnya disebutkan, penting untuk mempertimbangkan faktor eksternal lain yang turut mendorong pertumbuhan spasial di Kabupaten Klaten. Kebijakan pembangunan infrastruktur, masuknya investasi industri, serta dinamika migrasi penduduk dari daerah sekitar (misalnya dari Sleman atau Boyolali) berperan besar dalam mempercepat transformasi kawasan. Kombinasi faktor-faktor ini mendorong munculnya klaster ekonomi baru, yang terlihat dari peningkatan kelas intensitas cahaya pada zona tertentu.

Peningkatan intensitas cahaya pada wilayah terdampak gempa kuat juga menunjukkan keberlanjutan aktivitas sosial ekonomi masyarakat di kawasan tersebut. Fenomena ini menggambarkan adanya pergeseran spasial kegiatan masyarakat menuju wilayah yang secara historis merupakan kawasan terdampak gempa. Oleh karena itu, penting bagi Pemerintah Kabupaten Klaten untuk memberikan arahan dan regulasi tata ruang berbasis mitigasi bencana agar pembangunan dan aktivitas sosial ekonomi masyarakat dapat diarahkan ke kawasan yang lebih aman dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, integrasi data NTL dan data tutupan lahan dari Landsat menjadi pendekatan yang saling melengkapi dalam analisis spasial. NTL efektif dalam mengukur dinamika sosial ekonomi secara temporal, sedangkan Landsat berguna dalam memahami karakteristik fisik dan tutupan lahan secara menyeluruh. Pemanfaatan gabungan kedua data ini dapat memperkuat perencanaan tata ruang yang lebih adil, responsif terhadap risiko bencana, dan mendukung pembangunan wilayah yang berkelanjutan di Kabupaten Klaten.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu untuk mengetahui perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Klaten pasca gempa 2006 dengan memanfaatkan data *Nighttime Light* (NTL). Hasil analisis menunjukkan bahwa data NTL mampu menggambarkan dinamika pembangunan dan aktivitas ekonomi melalui perubahan intensitas cahaya malam hari, yang diasumsikan sebagai indikator tidak langsung dari penggunaan lahan terbangun.

Secara kuantitatif, terjadi peningkatan signifikan pada area dengan intensitas cahaya tinggi dan sedang, khususnya pada kawasan terdampak dengan intensitas gempa kuat (MMI VI). Misalnya, kelas NTL cahaya tinggi yang sebelumnya tidak terdeteksi pada tahun 2014 mulai muncul pada tahun 2022, sementara luas wilayah tanpa cahaya menurun drastis di semua zona di zona MMI IV dari 11.104,06 ha menjadi 8.533,91 ha, dan di zona MMI VI dari 9.916,83 ha menjadi 7.099,18 ha. Hal ini mencerminkan pertumbuhan kawasan terbangun pasca fase rekonstruksi dan rehabilitasi gempa.

Meskipun demikian, keterbatasan sensor VIIRS dalam mendeteksi intensitas cahaya yang redup berdampak pada kurang optimalnya identifikasi perubahan lahan di beberapa wilayah, terutama pada kawasan yang memiliki vegetasi padat seperti pada wilayah pegunungan.

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan kontribusi nyata bagi perencanaan wilayah dan pemerintah daerah dalam merumuskan kebijakan tata ruang berbasis data spasial. Data NTL dapat menjadi alat pendukung dalam perencanaan pembangunan berkelanjutan, pengawasan alih fungsi lahan, serta perumusan strategi mitigasi risiko bencana. Temuan ini juga penting untuk memastikan bahwa pertumbuhan kawasan terbangun tidak terjadi secara masif di wilayah berisiko tinggi, khususnya zona dengan intensitas gempa sangat kuat yang menunjukkan kecenderungan pertumbuhan permukiman baru.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan pemanfaatan sensor satelit dengan resolusi spasial lebih tinggi seperti SDGSAT-1 guna meningkatkan akurasi pemantauan. Di samping itu, pemerintah daerah perlu memperkuat kebijakan mitigasi risiko dengan regulasi pembangunan yang adaptif terhadap potensi bencana, guna menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan keamanan wilayah.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih peneliti ucapkan kepada tim peneliti penerapan data *Nighttime Light* dalam mitigasi bencana perkotaan yang telah bekerjasama untuk melakukan penelitian dengan teknologi baru di Indonesia. Selain itu juga, instansi pemerintah Kabupaten Klaten terutama Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) yang telah memberikan gambaran mengenai kejadian gempa tahun 2006 dan memberikan masukan terhadap penelitian ini serta Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Klaten yang telah membantu menyediakan data peta dasar sebagai bahan untuk mengolah data dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Chen Y, Xie W, Xu X. Changes of Population, Built-up Land, and Cropland Exposure to Natural Hazards in China from 1995 to 2015. *International Journal of Disaster Risk Science* 2019;10:557–72. <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00242-0>.
- [2] Borenstein S. Study Finds More People are Moving into High Flood Zones, Increasing Risk of Water Disasters. *AP News* 2023.
- [3] Bastos Moroz C, Thieken AH. Urban growth and spatial segregation increase disaster risk: lessons learned from the 2023 disaster on the North Coast of São Paulo, Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2024;24:3299–314. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-3299-2024>.
- [4] Torres Mallma SF. Mainstreaming land use planning into disaster risk management: Trends in Lima, Peru. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2021;62:102404. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102404>.
- [5] Stokes EC, Román MO, Wang Z, Kyba CCM, Miller SD, Storch T, et al. Retired Satellites: A Chance to Shed Light. *Science* (1979) 2021;373:1451–2. <https://doi.org/10.1126/science.abl9965>.
- [6] Zheng Q, Seto KC, Zhou Y, You S, Weng Q. Nighttime Light Remote Sensing for Urban Applications: Progress, Challenges, and Prospects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2023;202:125–41. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.05.028>.
- [7] Huang X, Yang J, Li J, Wen D. Urban Functional Zone Mapping by Integrating High Spatial Resolution Nighttime Light and Daytime Multi-View Imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2021;175:403–15. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.03.019>.
- [8] Liu J, Deng Y, Wang Y, Huang H, Du Q, Ren F. Urban Nighttime Leisure Space Mapping with Nighttime Light Images and POI Data. *Remote Sens (Basel)* 2020;12:541. <https://doi.org/10.3390/rs12030541>.
- [9] Afrianto F, Rendra Graha DT. Morfologi Kota Malang. *Jurnal Plano Buana* 2023;3:68–76. <https://doi.org/10.36456/jpb.v3i2.7002>.
- [10] Chen Z, Yu B, Song W, Liu H, Wu Q, Shi K, et al. A New Approach for Detecting Urban Centers and Their Spatial Structure With Nighttime Light Remote Sensing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 2017;55:6305–19. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2017.2725917>.
- [11] Chen Z, Yu B, Ta N, Shi K, Yang C, Wang C, et al. Delineating Seasonal Relationships Between Suomi NPP-VIIRS Nighttime Light and Human Activity Across Shanghai, China. *IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens* 2019;12:4275–83. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2916323>.
- [12] Stare J. Light Pollution Map 2025. <https://www.lightpollutionmap.info/> (accessed December 14, 2025).

- [13] USGS. M 63 - 10 Km E of Pundong, Indonesia 2006. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000ej1c/shakemap/intensity> (accessed December 14, 2025).
- [14] MAPID. [GEODATA] Nighttime Light of Indonesia 2023. https://geo.mapid.io/blog_read/geodata-nighttime-light-of-indonesia (accessed December 14, 2025).
- [15] Wood HO, Neumann F. Modified Mercalli Intensity Scale of 1931. Bulletin of the Seismological Society of America 1931;21:277–83. <https://doi.org/10.1785/BSSA0210040277>.
- [16] USGS. Magnitude/Intensity Comparison 2010. https://web.archive.org/web/20110623113247/http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mag_vs_int.php (accessed December 14, 2025).
- [17] Zaki. Sejarah Gempa Bumi Jogja 27 Mei 2006. Jogjauncover 2015. <https://jogjauncover.blogspot.com/2015/11/sejarah-gempa-bumi-jogja-27-mei-2006.html> (accessed December 14, 2025).
- [18] Elvidge CD, Zhizhin M, Ghosh T, Hsu F-C, Taneja J. Annual Time Series of Global VIIRS Nighttime Lights Derived from Monthly Averages: 2012 to 2019. Remote Sens (Basel) 2021;13:922. <https://doi.org/10.3390/rs13050922>.