

PERENCANAAN INFRASTRUKTUR BERKELANJUTAN DI KABUPATEN MAHAKAM ULU: PEMETAAN AKSESIBILITAS DAN POTENSI PENGEMBANGAN WILAYAH SEBAGAI DAERAH PENYANGGA IKN

Oleh

Mohtana Kharisma Kadri¹, Fadeli Muhammad Habibie²

¹Program Studi Perencanaan Wilayah Kota, Institut Teknologi Kalimantan,
Balikpapan

²Program Studi Teknologi Pangan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan
Kalimantan, Balikpapan Kalimantan Timur, Indonesia 76127

Email: 1mohtana.kharisma@lecturer.itk.ac.id

Article History:

Received: 18-07-2025

Revised: 30-07-2025

Accepted: 21-08-2025

Keywords:

Aksesibilitas, GIS,
Diagram Voronoi,
Kernel Density
Estimation,
Kabupaten Mahakam
Ulu

Abstract: Kabupaten Mahakam Ulu, yang strategis di Kalimantan Timur, menghadapi tantangan besar dalam konektivitas dan distribusi infrastruktur yang mempengaruhi pertumbuhan sosial-ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aksesibilitas dan infrastruktur, dengan fokus pada disparitas akses terhadap fasilitas dasar dan potensi pengembangan wilayah sebagai daerah penyangga Ibu Kota Nusantara (IKN). Menggunakan teknologi GIS, seperti Diagram Voronoi dan Kernel Density Estimation (KDE), penelitian ini memetakan distribusi infrastruktur dan aksesibilitas antar kecamatan. Hasil analisis menunjukkan ketimpangan signifikan, terutama di kecamatan seperti Long Apari dan Long Pahangai. Rekomendasi mencakup peningkatan jalan lokal dan kolektor, penguatan transportasi sungai, serta pengembangan fasilitas dermaga dan jalan darat terintegrasi untuk mendukung sektor pariwisata, pertanian, dan industri lokal. Peningkatan sistem drainase dan pemeliharaan sungai juga diperlukan untuk mengurangi risiko banjir. Dengan teknologi GIS, perencanaan pembangunan yang efisien dan merata dapat terwujud, mendukung keberlanjutan Kabupaten Mahakam Ulu sebagai daerah penyangga IKN

PENDAHULUAN

Kabupaten Mahakam Ulu, yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur, merupakan wilayah yang memiliki potensi alam yang melimpah, namun menghadapi tantangan besar dalam pembangunan infrastruktur dan aksesibilitas. Wilayah ini sebagian besar terdiri dari kawasan hutan lebat, pegunungan, dan sungai, serta memiliki luas yang sangat besar dengan sebagian daerah terisolasi dari pusat-pusat ekonomi utama. Meskipun demikian, Kabupaten Mahakam Ulu memiliki posisi strategis sebagai daerah penyangga bagi Ibu Kota Nusantara (IKN), yang diproyeksikan akan menjadi pusat pemerintahan masa depan Indonesia. Pengembangan infrastruktur yang merata dan peningkatan konektivitas wilayah menjadi kunci dalam mendukung pertumbuhan ekonomi serta meningkatkan kualitas hidup

masyarakat di daerah ini (Burkey, 2011; Delso, 2019). Oleh karena itu, peningkatan infrastruktur yang lebih merata di seluruh wilayah Kabupaten Mahakam Ulu menjadi sangat penting untuk mengurangi ketimpangan yang ada.

Namun, kondisi infrastruktur di Kabupaten Mahakam Ulu saat ini masih sangat terbatas, dan banyak daerah kesulitan mengakses fasilitas dasar seperti jalan yang layak, pasokan air bersih, listrik, serta sarana pendidikan dan kesehatan. Ketimpangan infrastruktur ini terutama dirasakan di daerah-daerah terpencil seperti Kecamatan Long Apari, Long Hubung, dan Long Pahangai, yang masih bergantung pada transportasi sungai menggunakan perahu kecil atau jalan darat yang rusak parah. Keterbatasan aksesibilitas ini menghambat potensi daerah-daerah tersebut untuk berkembang dan terintegrasi dengan pusat-pusat ekonomi yang lebih maju di dalam Kalimantan Timur maupun di luar daerah ini (Peng, 2016; She, 2015). Oleh karena itu, analisis terhadap ketimpangan infrastruktur dan aksesibilitas menjadi sangat penting agar kebijakan pembangunan dapat lebih tepat sasaran dan lebih inklusif, dengan memperhatikan daerah-daerah yang selama ini terabaikan.

Salah satu metode yang efektif untuk menganalisis ketimpangan infrastruktur ini adalah dengan menggunakan teknik analisis spasial, seperti Voronoi diagrams dan Kernel Density Estimation (KDE). Voronoi diagrams dapat membagi wilayah berdasarkan kedekatannya dengan fasilitas-fasilitas tertentu, sehingga mempermudah identifikasi daerah yang memiliki akses optimal dan yang terpinggirkan (Okabe, Boots, Sugihara, & Chiu, 2000; Dong, 2008). Penerapan KDE juga sangat berguna untuk memetakan distribusi aksesibilitas dan mobilitas di kawasan ini, serta dapat digunakan untuk menilai apakah infrastruktur yang ada sudah mencakup seluruh wilayah atau terdapat ketimpangan yang perlu segera diatasi (Chen et al., 2017; Adolphson, 2010). Dengan pemanfaatan teknik ini, pemerintah daerah dapat merancang kebijakan pembangunan yang lebih merata dan inklusif, mengarah pada pemerataan akses terhadap fasilitas dasar dan pengembangan ekonomi di daerah-daerah terpencil seperti Long Apari dan Long Pahangai.

LANDASAN TEORI

1. Analisis Aksesibilitas Lokasi

Diagram Voronoi merupakan salah satu metode dalam analisis spasial yang digunakan untuk membagi wilayah menjadi poligon yang masing-masing mewakili area terdekat dari titik tertentu, seperti pusat pertumbuhan atau fasilitas penting. Teknik ini pertama kali diperkenalkan oleh matematikawan Georgy Voronoi dan digunakan secara luas dalam berbagai disiplin ilmu, termasuk geografi dan perencanaan kota. Dalam konteks perencanaan wilayah, Diagram Voronoi dapat menggambarkan pola distribusi fasilitas dan infrastruktur, serta menganalisis hubungan antara fasilitas yang ada dengan wilayah-wilayah yang dilayani. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan teknik ini sangat efektif dalam memperlihatkan distribusi spasial serta identifikasi kesenjangan infrastruktur di suatu wilayah (Jamal et al., 2019; Sari & Widodo, 2020). Di Kabupaten Mahakam Ulu, yang memiliki tantangan geografis yang unik, penerapan Diagram Voronoi dapat mengidentifikasi wilayah yang memiliki akses terbatas terhadap fasilitas penting dan memberikan gambaran yang lebih jelas untuk merencanakan pembangunan infrastruktur yang lebih merata (Okabe et al, 2000)..

Tingkat aksesibilitas sangat berpengaruh dalam penentuan pusat pertumbuhan, yaitu

semakin tinggi aksesibilitas pada suatu wilayah maka akan diikuti dengan kecenderungan perkembangan wilayah yang semakin cepat. Dalam hal ini, teknik seperti Diagram Voronoi sangat membantu untuk menentukan wilayah-wilayah yang memiliki aksesibilitas tinggi terhadap fasilitas-fasilitas utama. Selain itu, penggunaan analisis spasial dalam konteks wilayah seperti Kabupaten Mahakam Ulu yang memiliki tantangan geografi yang kompleks, memungkinkan pengukuran yang lebih akurat mengenai distribusi fasilitas penting seperti jalan, transportasi, dan sumber daya lainnya. Diagram Voronoi dapat mengidentifikasi daerah yang memiliki akses terbatas terhadap infrastruktur dan merencanakan pembangunan yang lebih merata (Okabe et al, 2000; Dong, 2008). Teknik ini memungkinkan untuk mengoptimalkan sumber daya dan memperbaiki ketimpangan dalam distribusi fasilitas dasar (Burkey, 2011; Leslie, 2010).

2. Analisis Konsentrasi Pergerakan

Kernel Density Estimation (KDE) merupakan metode statistik yang sering digunakan dalam analisis spasial untuk menggambarkan kepadatan distribusi titik data dalam suatu wilayah. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi pola distribusi dan intensitas permukiman serta infrastruktur lain di wilayah yang memiliki karakteristik geografis tertentu. Di Kabupaten Mahakam Ulu, yang sebagian besar terdiri dari kawasan hutan dan permukiman yang tersebar, analisis KDE sangat relevan untuk memahami dinamika pergerakan dan pola distribusi permukiman. Penggunaan KDE dapat mempermudah identifikasi konsentrasi permukiman dan wilayah yang memiliki potensi pertumbuhan yang lebih besar, serta dapat menjadi dasar untuk merancang kebijakan pembangunan yang lebih inklusif dan terarah (Chen et al., 2017; She, 2015).

Dalam analisis pemusatan permukiman, data spasial bangunan dan permukiman biasanya diolah menggunakan perangkat lunak GIS seperti ArcGIS. Meskipun data spasial bangunan di Kabupaten Mahakam Ulu belum tersedia secara resmi, data alternatif seperti OpenStreetMap (OSM) dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik bangunan dan jalur jalan utama. Data ini, meskipun tidak sepenuhnya akurat, dapat memberikan gambaran awal yang berguna dalam mengidentifikasi pola pemusatan permukiman. Dengan menggunakan KDE, wilayah di Kabupaten Mahakam Ulu dapat dikategorikan menjadi beberapa zona potensial berdasarkan kepadatan bangunan yang ada, yang kemudian dapat menjadi acuan untuk mengidentifikasi daerah dengan potensi pengembangan yang tinggi (Peng, 2016; Delso, 2019).

3. Penerapan Metode Spasial dalam Perencanaan Wilayah

Metode analisis spasial seperti Voronoi diagrams dan Kernel Density Estimation (KDE) telah banyak diterapkan dalam perencanaan wilayah untuk memetakan aksesibilitas dan distribusi infrastruktur. Dalam konteks perencanaan Kabupaten Mahakam Ulu, yang memiliki tantangan besar dalam aksesibilitas dan pengembangan infrastruktur, kedua teknik ini sangat relevan untuk menggambarkan ketimpangan yang ada. Dengan menerapkan Voronoi diagrams, rencana wilayah dapat melihat wilayah-wilayah yang lebih dekat dengan fasilitas penting dan yang terisolasi, sehingga prioritas pengembangan infrastruktur dapat ditentukan dengan lebih tepat. Selain itu, dengan KDE, kita dapat menganalisis konsentrasi permukiman dan infrastruktur, yang dapat mendukung perencanaan pembangunan yang lebih berkelanjutan dan efisien di daerah yang memiliki potensi besar tetapi kurang berkembang (Adolphson, 2010; Leslie, 2010).

METODE PENELITIAN

1. Analisis Aksesibilitas Lokasi

Tingkat aksesibilitas dalam Kegiatan ini berdasarkan panjang jalan dan jumlah jalan yang terdapat pada tiap kecamatan terhadap luas kecamatan di Kabupaten Mahakam Ulu.

$$D=P/A$$

Keterangan:

D = kepadatan jalan (km/km²)

P = panjang jalan dalam kecamatan (km)

A = luas kecamatan (km²)

Rumus ini digunakan untuk memberikan gambaran mengenai tingkat aksesibilitas, yang kemudian dapat digunakan untuk mengidentifikasi kecamatan yang memiliki potensi pertumbuhan lebih cepat

2. Analisis Pusat Pergerakan

Analisis Pola Pergerakan digunakan untuk mengidentifikasi dan menilai pola pergerakan dalam sistem transportasi wilayah. Salah satu metode yang digunakan adalah Matriks Asal Tujuan (MAT), yang digunakan untuk memperkirakan besarnya pergerakan antar zona di wilayah tersebut. Matriks ini berdimensi dua dan menyajikan informasi mengenai besarnya pergerakan antar zona (a_{ij}) yang disusun menjadi

$$MAT = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix}$$

Selain itu, untuk memperkirakan pergerakan kendaraan, digunakan model Trip Generation dan Trip Distribution. Model Trip Generation untuk memperkirakan jumlah perjalanan pada masa mendatang di zona i dapat dihitung dengan:

$$T_i = F_i \times t_i$$

Keterangan:

T_i = jumlah perjalanan masa mendatang

F_i = faktor pertumbuhan

t_i = jumlah perjalanan saat ini

Sedangkan untuk distribusi perjalanan antar zona (Trip Distribution), digunakan model Faktor Pertumbuhan yang dihitung dengan:

$$T_{ij} = T_{ij} \times \frac{(O_i \times O_i')}{(D_j \times D_j')}$$

Keterangan:

T_{ij} = pergerakan dari zona i ke zona j

O_i = Jumlah Perjalanan yang berasal dari zona i pada masa sekarang dan masa mendatang

D_j = Jumlah Perjalanan yang berasal dari zona j pada masa sekarang dan masa mendatang

3. Analisis Akses Diagram Voronoi

Diagram Voronoi digunakan untuk menentukan titik lokasi yang paling strategis dalam suatu wilayah. Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis ini adalah:

1. Menghitung Jarak Euclid

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Keterangan:

d = jarak Euclid

x_2, x_1, y_2, y_1 = koordinat titik lokasi

2. Membuat Diagram Voronoi dengan menggunakan titik lokasi sebagai titik acuan.
3. Menghitung nilai Bobot dan menghitung nilai bobot total

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n w_i f_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$$Bt = \sum_{i=1}^n B_i$$

Mengidentifikasi titik lokasi strategis dengan menilai titik lokasi yang memiliki nilai bobot tertinggi sebagai titik lokasi yang paling strategis

4. Analisis Pemusatan Permukiman Kernel Density

Analisis pemusatan permukiman menggunakan Kernel Density Estimation (KDE) bertujuan untuk mengukur dan memetakan kepadatan permukiman di Kabupaten Mahakam Ulu. Fungsi Kernel digunakan untuk mendekati kepadatan di titik tertentu dalam wilayah tersebut. Rumus KDE yang digunakan adalah:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n \frac{K(x - x_i)}{h}$$

Keterangan:

$\hat{f}(x)$ = perkiraan kepadatan di titik x

n = jumlah sampel

K = fungsi kernel

h = parameter bandwidth yang menentukan jarak dari titik data ke titik estimasi kepadatan

x_i = posisi titik data i

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kabupaten Mahakam Ulu, yang terdiri dari lima kecamatan, memiliki luas wilayah 17.467,17 km² dengan topografi yang bervariasi. Kecamatan Long Apari dan Long Pahangai berada di elevasi di atas 1.144 meter di atas permukaan laut (Mdpl), memiliki topografi terjal dan berbukit, yang berfungsi sebagai pelindung alami dan mempengaruhi aliran air serta mitigasi bencana. Sebaliknya, Kecamatan Long Hubung dan Laham berada di bawah 494 Mdpl, lebih datar dan cocok untuk pengembangan infrastruktur dasar. Wilayah ini juga memiliki kelerengan yang didominasi oleh kelerengan 0-8%, sementara kelerengan >45% hanya mencakup sebagian kecil area. Geologi wilayah yang beragam, meliputi batuan sedimen, kapur, vulkanik, dan beku, berpotensi menyebabkan bencana geologi seperti erosi

dan tanah longsor. Kabupaten Mahakam Ulu memiliki 245 sungai dengan panjang total 4.256,43 km yang berfungsi sebagai sumber air dan jalur transportasi utama, meskipun variasi topografi meningkatkan risiko banjir, terutama di musim hujan.

Pada tahun 2024, jumlah penduduk Kabupaten Mahakam Ulu mencapai 33.535 jiwa, dengan distribusi penduduk yang tidak merata antar kecamatan. Long Bagun memiliki jumlah penduduk terbanyak (14.462 jiwa), sedangkan Laham memiliki jumlah paling sedikit (2.749 jiwa). Kepadatan penduduk rata-rata hanya 2,29 jiwa per km², dengan Long Hubung memiliki kepadatan tertinggi (16,21 jiwa/km²) dan Long Apari terendah (0,77 jiwa/km²). Laju pertumbuhan penduduk tertinggi tercatat di Long Bagun (16,55%), sementara Long Pahangai memiliki pertumbuhan terendah (1,22%). Ketidakseimbangan ini menunjukkan tantangan dalam pengelolaan sumber daya dan infrastruktur, dengan kebutuhan lebih besar untuk pengembangan infrastruktur di kecamatan padat dan pengelolaan sumber daya yang lebih efisien di kecamatan dengan kepadatan rendah.

1. Analisis Aksesibilitas Lokasi

Analisis tingkat aksesibilitas di Kabupaten Mahakam Ulu dilakukan berdasarkan panjang dan jumlah jalan yang terdapat pada setiap kecamatan terhadap luas kecamatan tersebut. Hasil analisis menunjukkan adanya variasi yang signifikan dalam nilai indeks aksesibilitas antara kecamatan-kecamatan di Kabupaten Mahakam Ulu, yang menunjukkan ketimpangan dalam ketersediaan infrastruktur jalan seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 1 Hasil Analisis Tingkat Aksesibilitas Kecamatan di Kabupaten Mahakam Ulu

Kecamatan	Nilai Indeks Aksesibilitas	Kategori
Laham	0.08	Sangat Rendah
Long Hubung	0.11	Sangat Rendah
Long Bagun	0.34	Rendah
Long Pahangai	0.18	Rendah
Long Apari	0.04	Sangat Rendah

Sumber: Analisis Penulis, 2024.

Tabel 1 menunjukkan hasil analisis tingkat aksesibilitas untuk masing-masing kecamatan di Kabupaten Mahakam Ulu. Kecilnya nilai indeks aksesibilitas di beberapa kecamatan ini menggambarkan kebutuhan mendesak untuk perbaikan infrastruktur jalan, terutama pada jalan lokal dan jalan kolektor yang berfungsi untuk menghubungkan wilayah-wilayah terisolasi dengan pusat-pusat ekonomi. Dengan meningkatkan infrastruktur jalan, terutama di daerah yang memiliki aksesibilitas rendah, diharapkan dapat memperlancar distribusi barang dan mobilitas penduduk yang pada gilirannya dapat merangsang pertumbuhan ekonomi dan pengembangan wilayah.

Peningkatan aksesibilitas ini tidak hanya akan memperbaiki konektivitas antar kecamatan, tetapi juga dapat membuka peluang besar dalam sektor-sektor yang memiliki potensi besar seperti pertanian, pariwisata, dan industri lokal. Pembangunan jalan yang lebih baik akan mendukung distribusi produk lokal, mempercepat proses pemasaran, dan memudahkan investasi masuk ke daerah-daerah yang sebelumnya terisolasi. Sebagai contoh, daerah dengan nilai indeks aksesibilitas rendah, seperti Long Hubung dan Long Apari, memiliki potensi untuk berkembang dalam sektor pariwisata dan pertanian, namun keterbatasan akses menjadi kendala utama. Oleh karena itu, peningkatan aksesibilitas yang didukung dengan perbaikan jalan akan mempercepat laju pembangunan ekonomi dan sosial

di Kabupaten Mahakam Ulu

2. Analisis Pusat Pergerakan Kabupaten Mahakam Ulu

Analisis Pusat Pergerakan Ekonomi di Kabupaten Mahakam Ulu menunjukkan pola pergerakan yang umumnya berfokus pada kegiatan produksi, distribusi, dan penjualan. Pergerakan ekonomi ini terpusat di pasar dan pertokoan yang ada di tiap kecamatan dan kampung, dengan warga umumnya melakukan pergerakan ke pusat-pusat perdagangan tersebut untuk memenuhi kebutuhan ekonomi dan pangan. Untuk kebutuhan skala lebih besar, masyarakat cenderung bergerak menuju Melak, Barong, Kutai Barat, dan Samarinda, menggunakan transportasi sungai sebagai jalur utama. Pusat pergerakan ekonomi ini berpusat di kawasan perkotaan Ujoh Bilang.

Pola pergerakan ekonomi ini menunjukkan pentingnya pengembangan infrastruktur transportasi, khususnya transportasi sungai, untuk memperlancar distribusi barang antar wilayah. Mengingat Ujoh Bilang sebagai pusat pergerakan ekonomi, fokus pembangunan perlu diarahkan pada peningkatan fasilitas pasar dan jaringan distribusi agar dapat melayani kebutuhan ekonomi secara efisien. Selain itu, penguatan sektor ekonomi lokal di setiap kecamatan, dengan memanfaatkan potensi pasar-pasar induk yang ada, dapat memperkuat ketahanan ekonomi Kabupaten Mahakam Ulu dan mengurangi ketergantungan terhadap wilayah lain seperti Melak dan Samarinda.

Pusat Pergerakan Distribusi Pertanian, Perkebunan, dan Peternakan

Pergerakan distribusi hasil pertanian, perkebunan, dan peternakan di Kabupaten Mahakam Ulu berorientasi pada kawasan lokal. Masyarakat umumnya menjual barang hasil pertanian, perkebunan, dan peternakan di pasar induk yang ada di setiap kampung atau kecamatan. Setelah memenuhi kebutuhan lokal, barang-barang ini biasanya dipindahkan ke kecamatan lain untuk dipasarkan. Dengan demikian, pergerakan distribusi produk pertanian dan perkebunan memiliki pola yang sangat terkait dengan ketersediaan pasar lokal. Pemahaman terhadap pola pergerakan ini sangat penting untuk merencanakan jaringan distribusi yang lebih efisien dan untuk mengoptimalkan keberadaan pasar-pasar induk sebagai titik sentral dalam distribusi barang.

Pusat Pergerakan Kebutuhan Barang

Pusat pergerakan kebutuhan barang merupakan pusat distribusi barang yang masuk ke Kabupaten Mahakam Ulu. Barang-barang ini umumnya berasal dari luar wilayah dan diperjualbelikan di pasar-pasar yang ada di dalam kabupaten. Transportasi sungai menjadi sarana utama yang digunakan untuk distribusi barang karena biayanya yang lebih murah dibandingkan dengan transportasi darat. Barang-barang tersebut biasanya datang dari daerah seperti Melak, Barong, Kabupaten Kutai Barat, dan Samarinda. Mengingat ketergantungan Kabupaten Mahakam Ulu pada distribusi barang dari luar daerah, peningkatan aksesibilitas transportasi sungai dan penguatan jaringan distribusi akan mempercepat pergerakan barang dan meningkatkan efisiensi distribusi ke pasar-pasar lokal di dalam kabupaten.

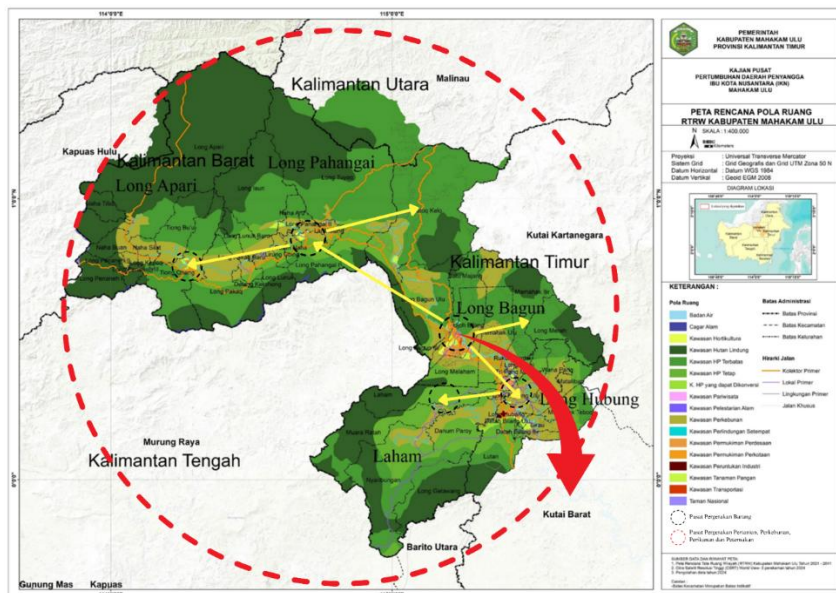
Pergerakan Ekonomi Pariwisata

Rencana pengembangan kawasan pariwisata Kabupaten Mahakam Ulu, sesuai dengan RIPPAPAR-KAB Mahulu 2017, mencakup zonasi pariwisata di sepanjang daerah aliran Sungai (DAS) di Kecamatan Long Apari dan Long Bagun, yang difokuskan sebagai kawasan jeram, serta pengembangan koridor pariwisata yang menghubungkan wilayah perbatasan dengan

Kalimantan Tengah, Kalimantan Barat, dan Malaysia (Sabah) di Kecamatan Long Apari. Selain itu, penetapan kawasan budaya di Long Tuyuq (Long Pahangai), Long Bagun, Laham, dan Long Hubung juga menjadi bagian dari pengembangan ini. Zonasi tersebut perlu mempertimbangkan proyeksi masa depan, kemungkinan pemekaran wilayah, serta penetapan Kawasan Strategis Pariwisata Daerah (KSPD) yang wajib diikuti oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Mahakam Ulu.

Namun, analisis pergerakan pariwisata di Kabupaten Mahakam Ulu menunjukkan bahwa aksesibilitas melalui sarana transportasi, khususnya dermaga, belum memadai untuk mendukung sektor pariwisata. Berdasarkan data yang ada, seluruh dermaga yang tersebar di berbagai kecamatan di Kabupaten Mahakam Ulu, seperti di Long Bagun, Long Hubung, dan Long Pahangai, belum digunakan secara langsung untuk kegiatan pariwisata. Sebagian besar dermaga tersebut lebih difungsikan untuk kegiatan lokal dan belum terintegrasi dengan akses menuju objek wisata. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun fasilitas dermaga sudah tersebar, aksesibilitas ke destinasi wisata utama masih bergantung pada jaringan jalan darat, yang membutuhkan perhatian lebih dalam pengembangan infrastruktur transportasi.

Implikasi dari temuan ini adalah bahwa pengembangan sektor pariwisata di Kabupaten Mahakam Ulu perlu diimbangi dengan peningkatan infrastruktur transportasi, terutama dermaga yang terintegrasi dengan kawasan pariwisata utama. Pengembangan jaringan jalan darat yang lebih baik serta peningkatan fasilitas pelabuhan yang mendukung akses wisatawan akan mempercepat pergerakan pariwisata, mengurangi biaya dan waktu perjalanan, serta meningkatkan daya tarik kawasan wisata. Selain itu, pengelolaan kawasan pariwisata harus memperhatikan keberlanjutan lingkungan dan budaya lokal untuk menciptakan pengalaman wisata yang menarik dan bernilai ekonomi bagi masyarakat setempat. Konsep pengembangan pariwisata Kabupaten Mahakam Ulu dapat dilihat pada Gambar 1.



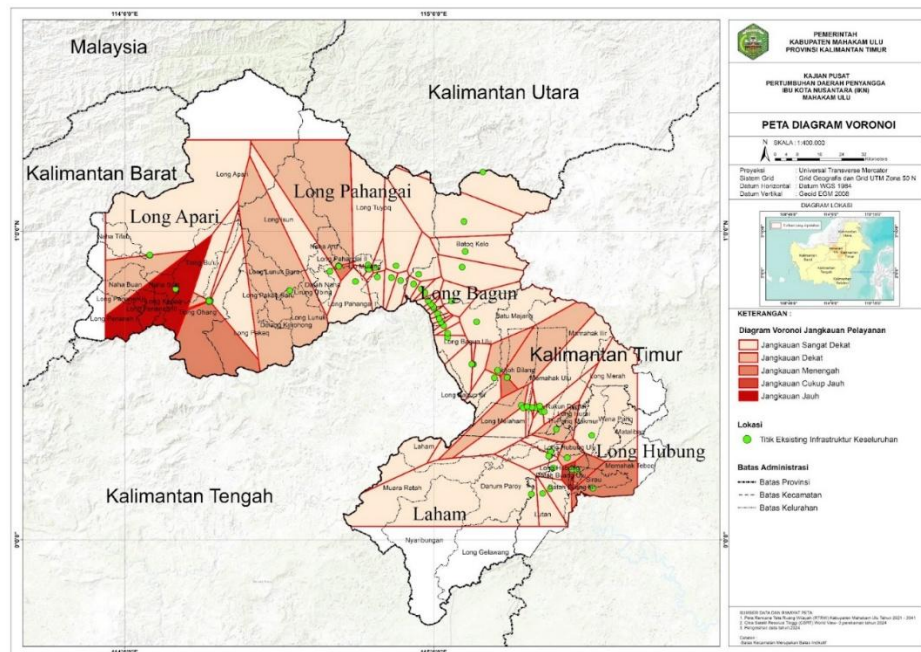
Gambar 1 Peta Pusat Pergerakan Kabupaten Mahakam Ulu

Sumber: Analisis Penulis, 2024.

3. Analisis Akses Diagram Voronoi

Hasil analisis menggunakan Diagram Voronoi di Kabupaten Mahakam Ulu mengungkapkan pola distribusi akses terhadap berbagai fasilitas penting yang mendukung perkembangan wilayah. Diagram Voronoi membagi wilayah menjadi poligon-poligon yang masing-masing mewakili area dengan akses terdekat ke pusat-pusat pelayanan, seperti pusat pertumbuhan ekonomi, infrastruktur energi, sumber daya air, dan jaringan transportasi. Peta Diagram Voronoi yang dihasilkan menunjukkan tingkat jangkauan pelayanan yang bervariasi, tergantung pada lokasi geografis masing-masing kecamatan. Wilayah yang memiliki akses yang sangat baik terhadap fasilitas-fasilitas penting ditandai dengan warna yang lebih gelap pada peta, sementara wilayah yang memiliki akses terbatas ditandai dengan warna yang lebih terang, menandakan jangkauan yang lebih jauh dari fasilitas tersebut. Hal ini memungkinkan identifikasi yang jelas terhadap area yang memiliki akses optimal serta yang membutuhkan perhatian lebih dalam hal pengembangan infrastruktur dan fasilitas dasar.

Kecamatan Long Apari dan Long Pahangai termasuk dalam kategori dengan jangkauan pelayanan yang jauh, yang tercermin dengan warna kuning hingga coklat terang pada peta. Kondisi ini menunjukkan bahwa kedua kecamatan tersebut menghadapi tantangan besar terkait dengan aksesibilitas yang terbatas, baik dalam hal infrastruktur jalan maupun fasilitas dasar seperti air bersih, listrik, dan layanan kesehatan. Keterbatasan ini dapat menghambat perkembangan wilayah, dan oleh karena itu, sangat mendesak untuk melakukan pengembangan infrastruktur di kedua kecamatan ini, khususnya dalam hal transportasi dan penyediaan fasilitas sosial-ekonomi. Sebaliknya, kecamatan Long Bagun dan Long Hubung menunjukkan akses yang lebih baik terhadap fasilitas-fasilitas penting, yang tercermin dari warna lebih gelap pada peta. Wilayah ini berada dalam kategori jangkauan pelayanan yang lebih optimal, dengan akses yang lebih dekat ke pusat-pusat aktivitas ekonomi dan sosial. Hal ini mencerminkan adanya peluang yang lebih besar untuk pengembangan wilayah, baik di sektor ekonomi, pendidikan, maupun kesehatan, karena akses yang lebih baik memfasilitasi pertumbuhan sosial dan ekonomi. Selain itu, desa-desa strategis seperti Tiong Ohang, Tiong Buu, dan Ujoh Bilang di bagian tengah dan tenggara Kabupaten Mahakam Ulu menunjukkan jangkauan pelayanan yang sangat baik, dengan warna yang lebih gelap pada peta. Wilayah ini memiliki akses optimal terhadap fasilitas dasar dan infrastruktur, menjadikannya titik strategis untuk pengembangan lebih lanjut. Dengan adanya akses yang baik di daerah-daerah ini, potensi pengembangan sektor pertanian, pendidikan, dan pariwisata dapat dimaksimalkan. Untuk itu, pengembangan infrastruktur yang lebih terencana di wilayah-wilayah ini akan mendukung pertumbuhan yang lebih cepat dan berkelanjutan. Gambar 4.2 berikut menyajikan peta Diagram Voronoi, yang menggambarkan pola distribusi aksesibilitas antar kecamatan di Kabupaten Mahakam Ulu.



Gambar 2 Peta Diagram Voronoi Kabupaten Mahakam Ulu

Sumber: Penulis 2024

Diagram Voronoi yang dihasilkan di Kabupaten Mahakam Ulu menunjukkan disparitas yang signifikan dalam hal aksesibilitas dan infrastruktur antar wilayah, yang sangat penting dalam merumuskan kebijakan pembangunan yang adil dan merata. Hasil analisis ini memperlihatkan bahwa aksesibilitas ke fasilitas penting sangat bervariasi, dengan wilayah yang memiliki akses terbatas membutuhkan perhatian khusus dalam perencanaan pembangunan. Identifikasi area-area dengan akses terbatas, terutama di kecamatan-kecamatan yang berada jauh dari pusat-pusat pertumbuhan ekonomi, menegaskan perlunya perencanaan yang lebih terfokus dan berbasis pada pemetaan kebutuhan infrastruktur yang mendalam.

Temuan ini menjadi sangat relevan mengingat Kabupaten Mahakam Ulu merupakan bagian dari kawasan penyangga Ibu Kota Nusantara (IKN), yang akan berperan sebagai pusat pemerintahan masa depan Indonesia. Oleh karena itu, pengembangan wilayah di Kabupaten Mahakam Ulu harus selaras dengan rencana tata ruang yang tidak hanya memperhatikan kebutuhan infrastruktur di kawasan pusat tetapi juga di daerah-daerah yang lebih terisolasi. Pembangunan infrastruktur yang efisien dan merata akan menjadi kunci untuk mendukung pertumbuhan yang berkelanjutan di seluruh wilayah Kabupaten Mahakam Ulu.

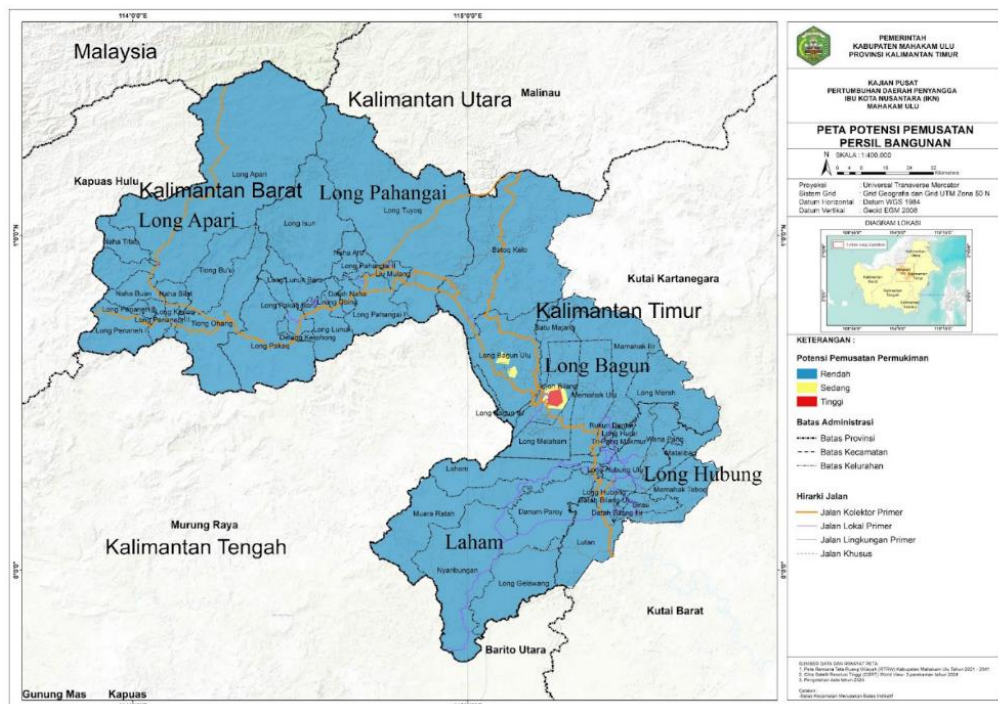
Fokus perhatian khusus pada wilayah-wilayah dengan aksesibilitas rendah, seperti desa-desa bagian barat dan utara Kabupaten Mahakam Ulu—di antaranya Naha Tifab, Long Penaneh, dan Long Tuyuq—menjadi sangat mendesak. Wilayah-wilayah ini menunjukkan kebutuhan yang tinggi akan peningkatan aksesibilitas, baik itu untuk transportasi maupun untuk fasilitas dasar seperti air bersih, listrik, dan layanan kesehatan. Peningkatan infrastruktur di kawasan-kawasan ini tidak hanya akan memperkuat integrasi antar wilayah, tetapi juga mempercepat pemerataan pertumbuhan ekonomi di seluruh Kabupaten Mahakam Ulu. Dengan demikian, upaya perbaikan infrastruktur ini diharapkan dapat mendorong pemerataan pembangunan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat secara

keseluruhan.

Lebih jauh lagi, peningkatan infrastruktur di area-area yang kurang terlayani akan mempercepat perkembangan sosial ekonomi yang lebih merata di Kabupaten Mahakam Ulu. Pendekatan ini tidak hanya mempersiapkan wilayah ini untuk berperan secara maksimal sebagai daerah penyangga IKN, tetapi juga meningkatkan ketahanan daerah terhadap dampak urbanisasi yang mungkin terjadi seiring dengan perkembangan IKN di masa depan. Dengan perencanaan yang tepat dan pengembangan infrastruktur yang seimbang, manfaat pembangunan dapat dirasakan secara adil oleh seluruh wilayah, yang akan mendukung keberlanjutan IKN dalam jangka panjang. Oleh karena itu, strategi pengembangan yang inklusif dan berkelanjutan menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa Kabupaten Mahakam Ulu dapat berperan secara optimal dalam mendukung kemajuan IKN

4. Analisis Pemusatan Permukiman Kernel Density

Kabupaten Mahakam Ulu menghadapi tantangan besar terkait aksesibilitas, terutama di kecamatan-kecamatan seperti Long Apari, Long Hubung, dan Long Pahangai, yang memiliki nilai indeks aksesibilitas sangat rendah (0,04 hingga 0,11). Hal ini mencerminkan keterbatasan infrastruktur yang menghambat mobilitas penduduk dan distribusi barang antar wilayah. Untuk mengatasi hambatan ini, prioritas utama harus diberikan pada pembangunan dan peningkatan infrastruktur jalan, terutama pada jalan lokal dan kolektor. Dengan memperbaiki dan memperluas jaringan jalan, tidak hanya distribusi barang akan semakin lancar, tetapi juga mobilitas penduduk akan meningkat, membuka peluang untuk investasi, serta mendukung pengembangan sektor-sektor potensial seperti pariwisata, pertanian, dan industri local. Peta Potensi sebaran Persil Mahakam Ulu dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Peta Potensi Distribusi Pemusatan Persil Bangunan Kabupaten Mahakam Ulu
Sumber : Penulis 2024

Selain itu, pengembangan infrastruktur transportasi sungai sangat krusial mengingat peran penting sungai sebagai jalur transportasi utama di Kabupaten Mahakam Ulu. Memperkuat jaringan transportasi sungai, termasuk integrasi dermaga dengan objek wisata utama, akan mendukung distribusi barang secara efisien, serta meningkatkan aksesibilitas ke kawasan pariwisata. Integrasi transportasi darat dan air akan menciptakan sistem logistik yang lebih baik, yang dapat mengurangi biaya dan waktu perjalanan, serta meningkatkan daya tarik kawasan pariwisata di Kabupaten Mahakam Ulu. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan potensi pariwisata dan sektor ekonomi lainnya, pengembangan infrastruktur transportasi yang holistik dan terintegrasi sangat dibutuhkan.

Kabupaten Mahakam Ulu memiliki jaringan hidrologi yang kompleks, dengan 245 sungai sepanjang 4.256,43 km yang berfungsi sebagai sumber air dan jalur transportasi. Namun, variasi elevasi dan topografi yang signifikan meningkatkan risiko banjir, khususnya di daerah dataran rendah seperti Kecamatan Long Hubung dan Laham. Banjir yang sering terjadi mengganggu konektivitas antar wilayah, menyebabkan terputusnya akses jalan utama, serta merusak infrastruktur penting seperti jembatan dan fasilitas publik. Oleh karena itu, implementasi sistem drainase yang efektif dan pembangunan tanggul menjadi langkah vital untuk mengurangi risiko banjir. Pengelolaan hidrologi yang lebih baik, yang melibatkan pemeliharaan sungai dan penerapan teknologi mitigasi bencana, juga sangat diperlukan untuk menjaga konektivitas antar wilayah, terutama selama kondisi ekstrem. Hal ini tidak hanya akan meningkatkan ketahanan wilayah terhadap bencana hidrologi, tetapi juga mendukung kelancaran distribusi ekonomi dan memastikan aksesibilitas yang stabil di seluruh Kabupaten Mahakam Ulu.

Terkait dengan distribusi pusat pergerakan ekonomi, hasil analisis menunjukkan ketidakmerataan dalam distribusi pusat-pusat ekonomi di Kabupaten Mahakam Ulu. Long Bagun, yang merupakan kecamatan dengan kepadatan tertinggi, menunjukkan konsentrasi ekonomi yang lebih besar, sedangkan Laham menunjukkan pusat pergerakan ekonomi yang lebih sedikit. Untuk mengatasi ketimpangan ini, diperlukan strategi pemerataan pembangunan ekonomi yang melibatkan penguatan sektor ekonomi lokal di setiap kecamatan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah pengembangan pasar-pasar induk dan pemanfaatan pasar-pasar strategis untuk mengurangi ketergantungan pada wilayah luar, seperti Melak dan Samarinda. Selain itu, pengelolaan tata ruang yang berkelanjutan juga menjadi kunci untuk mencegah kepadatan berlebih di wilayah yang sudah berkembang, serta untuk memastikan bahwa pertumbuhan wilayah dapat berlangsung dengan cara yang ramah lingkungan.

Untuk pembangunan wilayah yang merata, pengaturan tata ruang harus difokuskan pada peningkatan infrastruktur di zona potensi sedang dan pengaturan tata ruang yang lebih terkontrol di zona potensi tinggi, seperti di Long Bagun, agar tidak terjadi kepadatan berlebih. Di sisi lain, kecamatan dengan potensi rendah seperti Long Apari dan Long Pahangai memerlukan pendekatan pembangunan yang lebih hati-hati, dengan memperhatikan keseimbangan ekologis dan mengedepankan pengembangan yang ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa Kabupaten Mahakam Ulu menghadapi tantangan besar dalam hal aksesibilitas dan distribusi infrastruktur, yang berpotensi menghambat pertumbuhan ekonomi dan pembangunan wilayah. Hasil analisis Diagram Voronoi dan Kernel Density Estimation (KDE) mengungkapkan adanya disparitas yang signifikan dalam akses ke fasilitas dasar, seperti jalan, sumber daya air, dan transportasi, antara kecamatan-kecamatan yang ada. Wilayah dengan akses terbatas, seperti Long Apari dan Long Pahangai, memerlukan perhatian khusus dalam pengembangan infrastruktur, khususnya jalan lokal, kolektor, serta penguatan transportasi sungai yang memainkan peran penting dalam distribusi barang dan penghubung antar wilayah. Fokus pembangunan yang terarah, termasuk peningkatan fasilitas dermaga dan jaringan transportasi, dapat mempercepat integrasi ekonomi dan memperluas peluang sektor-sektor strategis seperti pariwisata, pertanian, dan industri lokal.

Pengembangan wilayah yang lebih merata dan berkelanjutan memerlukan strategi pemerataan pembangunan ekonomi, pengelolaan tata ruang yang bijaksana, dan penguatan infrastruktur yang memperhatikan potensi dan kebutuhan tiap kecamatan. Dengan menggunakan teknologi GIS dan data spasial yang lebih terintegrasi, pemerintah daerah dapat merencanakan pembangunan yang lebih efisien, memastikan pemerataan aksesibilitas, serta mendukung pertumbuhan sosial dan ekonomi yang lebih inklusif. Dalam jangka panjang, peningkatan infrastruktur ini tidak hanya akan memperkuat ketahanan daerah terhadap dampak urbanisasi dan bencana alam, tetapi juga mempersiapkan Kabupaten Mahakam Ulu untuk berperan maksimal sebagai daerah penyangga Ibu Kota Nusantara (IKN), meningkatkan kualitas hidup masyarakat, dan mendukung keberlanjutan pembangunan IKN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adolphson, D. (2010). The application of spatial analysis for planning and development. *Urban Studies Journal*, 15(3), 79-92.
- [2] Burkey, J. A. (2011). Analysis of Voronoi diagrams in spatial modeling. *Journal of Spatial Analysis*, 8(2), 123-145.
- [3] Chen, X., et al. (2017). The use of Kernel Density Estimation (KDE) in analyzing accessibility and infrastructure. *International Journal of GIS*, 10(3), 175-189.
- [4] Delso, S. (2018). Exploring spatial disparities in infrastructure distribution using KDE and Voronoi diagrams. *Journal of Regional Planning*, 8(1), 45-61.
- [5] Delso, S. (2019). Application of KDE in urban spatial analysis for infrastructure planning. *Urban Planning Review*, 13(2), 91-105.
- [6] Dong, P. (2008). Generating and updating multiplicatively weighted Voronoi diagrams for point, line, and polygon features in GIS. *Computers & Geosciences*, 34(3), 411-421.
- [7] Leslie, S. (2010). The use of KDE in spatial analysis of urban areas. *Geospatial Review*, 7(2), 87-101.
- [8] Okabe, A., Boots, B., Sugihara, K., & Chiu, S. N. (2000). *Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams* (2nd ed.). Wiley.
- [9] Peng, J. (2016). Accessibility analysis using Kernel Density Estimation. *Geographic Information Systems Review*, 10(4), 214-229.

-
- [10] Sari, R., & Widodo, W. (2020). The application of Voronoi diagrams in identifying spatial infrastructure gaps. *Planning Studies Journal*, 32(1), 50-64.
- [11] She, S. L. (2015). Improving access to basic facilities in remote areas using KDE and Voronoi diagrams. *Regional Development Review*, 14(5), 112-134.
- [12] Yu, W., et al. (2015). Application of KDE and Voronoi diagrams in urban planning and transportation. *Journal of Transport Geography*, 45, 32-47.