

BAB 4

ANALISIS REKOMENDASI KAWASAN PERMUKIMAN UNTUK MBR

4.1 Analisis Faktor Pendorong Perkembangan Permukiman

Analisis faktor pendorong perkembangan permukiman di penelitian ini menggunakan sintesa variabel dari beberapa teori, adapun tabel kajian-kajian variabel pendorong permukiman berikut ini.

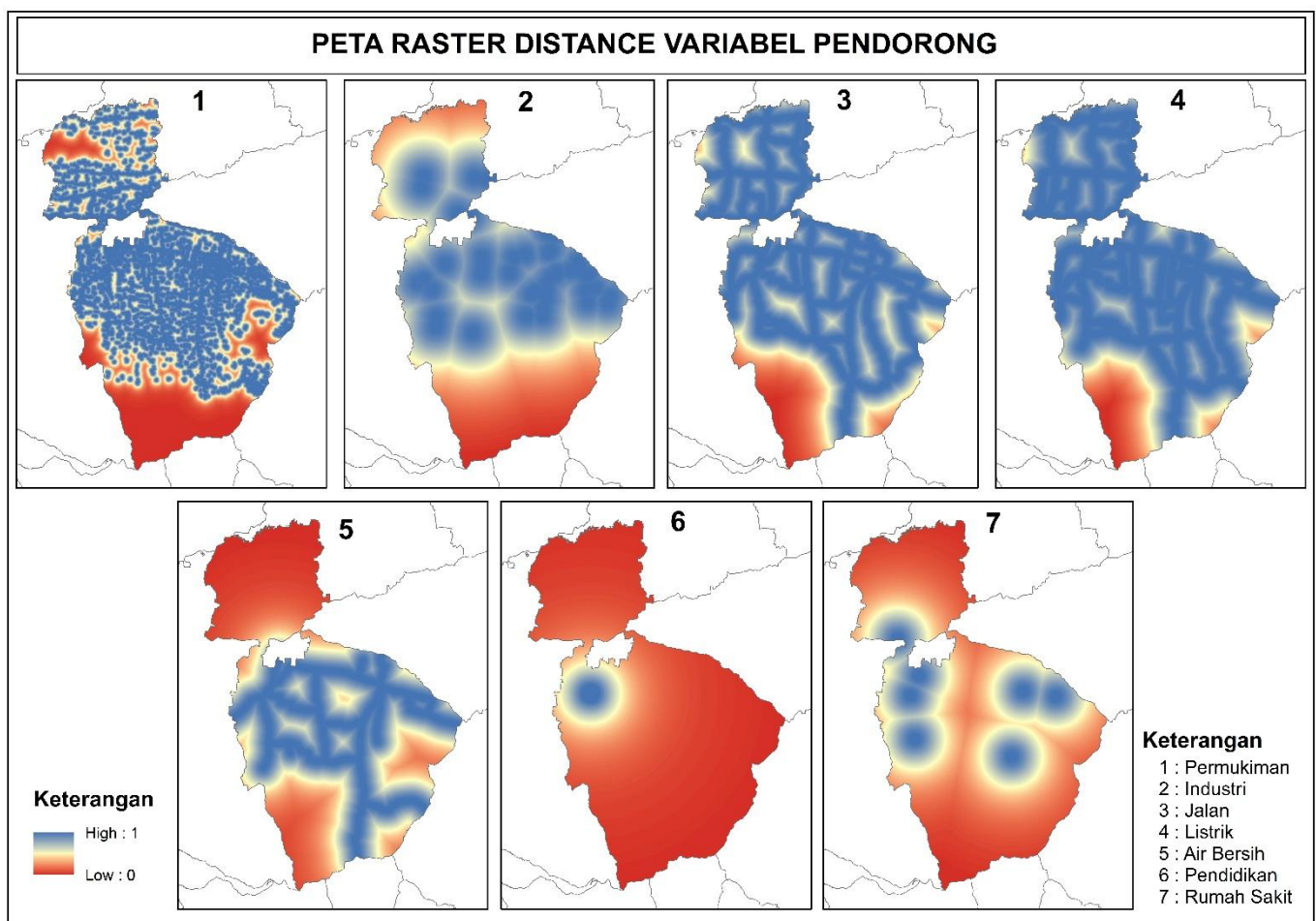
Tabel 4.1 Tabel Analisis Faktor Pendorong Perkembangan Permukiman

No.	Aspek	Variabel	Jarak Ideal	Justifikasi
1.	Guna Lahan	Permukiman Eksisting	400 Meter	Permukiman eksisting sering menjadi pusat kegiatan sosial-ekonomi yang mendorong ekspansi ke wilayah sekitar. Peningkatan kebutuhan layanan dan fasilitas akibat pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi memicu pemanfaatan lahan tambahan untuk pengembangan permukiman (Uny & Sriwulandari, 2024) dan jarak efektif ini dapat bervariasi, mulai dari radius $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, hingga $\frac{3}{4}$ mil, dengan waktu tempuh sekitar 5 hingga 10 menit berjalan kaki. Secara ideal, kebutuhan sehari-hari penduduk seharusnya dapat diakses dalam area tersebut. Namun, jarak yang paling umum digunakan sebagai acuan adalah $\frac{1}{4}$ mil atau sekitar 400 meter (Hasanuddin, 2014)
		Industri	6 Km	Keberadaan industri menciptakan lapangan kerja yang menarik migrasi tenaga kerja ke kawasan sekitar. Migrasi ini meningkatkan kebutuhan lahan permukiman bagi para pekerja dan keluarganya. Dengan demikian, kawasan industri memicu perubahan penggunaan lahan di sekitarnya dari lahan produktif (pertanian, perkebunan) menjadi lahan permukiman (Eriawan, 2012), menurut (UN Habitat, 2012) tinggal dekat dengan tempat kerja membantu meminimalkan waktu perjalanan, yang pada gilirannya mendukung kualitas tidur

No.	Aspek	Variabel	Jarak Ideal	Justifikasi
				yang lebih baik, kestabilan kondisi mental, serta peningkatan efisiensi dalam bekerja.
2.	Prasarana	Jaringan Jalan	3 Km	Infrastruktur jalan yang baik meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas, memperlancar arus manusia, barang, dan jasa dari serta menuju permukiman. Jalan yang memadai juga mendorong pertumbuhan ekonomi lokal dengan membuka akses ke pekerjaan, layanan pendidikan, kesehatan, dan fasilitas umum lainnya, sehingga berdampak pada peningkatan kualitas hidup masyarakat (Ansar dkk., 2014) dan jarak ideal dari jaringan jalan adalah 3 Km (Kadriansari dkk., 2017)
		Jaringan Energi	4 Km	Listrik merupakan kebutuhan dasar di permukiman yang mendukung aktivitas rumah tangga, layanan pendidikan, kesehatan, dan ekonomi. Ketersediaan energi yang andal meningkatkan kenyamanan, produktivitas, dan menjadi faktor pendukung dalam pengembangan permukiman baru. selain itu, air bersih merupakan sumber daya krusial yang memengaruhi perkembangan permukiman, terutama melalui aspek ketersediaan dan jaminan keamanannya bagi masyarakat (Dewi, 2021).
		Jaringan Air Bersih	3 Km	
3.	SPU	Kesehatan	4,5 Km	Fasilitas pendidikan dan kesehatan merupakan elemen utama yang menunjang keberlanjutan dan kualitas permukiman. Selain memenuhi kebutuhan dasar, keduanya meningkatkan kenyamanan dan daya tarik kawasan, sehingga menjadi komponen strategis dalam perencanaan permukiman berkelanjutan (Ekaputra dkk., 2014), jarak dari rumah sakit yang ideal menurut (Mas'udah & Fitri, 2023) adalah 4500 meter dan menurut (Almegi & Eizlan, 2023) jarak ideal dari kampus adalah 3 km.
		Pendidikan	3 Km	

Sumber : Penyusun, 2025

Setelah didapatkan data-data seperti di tabel 4.1, langkah selanjutnya adalah mengkonversi dari data vektor menjadi data raster untuk dibuat *Raster Distance* atau *Proximity*, yaitu dengan menggunakan *Euclidean Distance* untuk ArcGIS 10.8 dan *Proximity* aplikasi QGIS, *Raster Distance* memiliki fungsi untuk melihat jarak antar faktor dengan satuan meter, kemudian dilakukan pengolahan *fuzzy membership* untuk menormalisasikan dari hasil *Raster Distance* menjadi nilai 1 hingga 0, dimana angka 1 adalah nilai yang semakin dekat dan 0 maka semakin jauh, dengan memasukkan *mid point* adalah jarak ideal setiap variabel dan sebagai pembatas seberapa jauh jarak yang mendapatkan nilai 1, berikut adalah peta hasil *Raster Distance* setiap variabel.

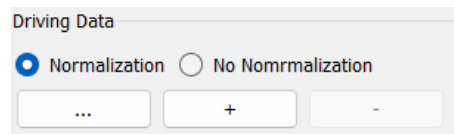


Sumber : Penyusun, 2025

Gambar 4.1 Peta Fuzzy Membership Faktor Pendorong

Setelah pengolahan *Raster Distance*, selanjutnya adalah pengolahan untuk ANN, kelebihanannya adalah ANN memiliki kemampuan untuk belajar dari data melalui proses pelatihan, di mana bobot antar neuron disesuaikan guna mengurangi kesalahan prediksi (Duykuloğlu, 2021), di aplikasi GEO-SOS FLUS, ANN dilakukan untuk menghasilkan

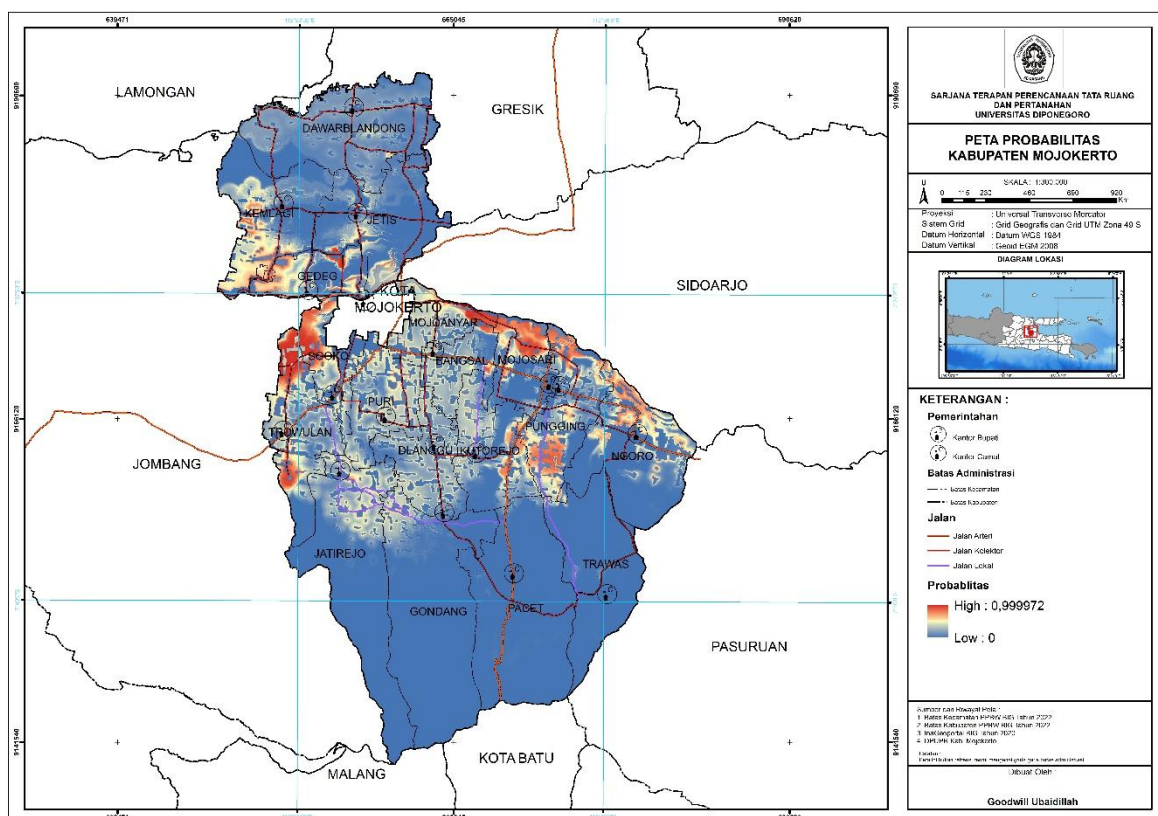
probabilitas perubahan tutupan lahan, untuk melakukan perhitungan ANN di aplikasi GEOSOS seluruh data faktor pendorong harus memiliki rentan nilai 0-1, bukan jangkauan meter, maka di pengolahannya dipilih yang *Normalization*.



Sumber : Penyusun,2025

Gambar 4.2 Menu Normalization

Normalization dilakukan untuk mengubah yang mana dari rentan jarak berupa meter menjadi parameter 0-1, nilai 1 akan menjadi nilai yang mendekati dari faktor pendorong, sedangkan 0 adalah nilai semakin jauh, dan setelah dilakukan maka akan menghasilkan peta probabilitas, berikut merupakan peta probabilitas perkembangan permukiman.



Sumber : Penyusun,2025

Gambar 4.3 Peta Probabilitas Perubahan Lahan

Nilai semakin dekat dengan 1 atau warna merah menandakan kawasan yang diprediksikan akan mengalami perubahan, sedangkan nilai 0 adalah kawasan yang diprediksikan tidak mengalami perubahan secara masif, untuk mengecek apakah data

tersebut valid, di aplikasi didalam pengolahan akan menghasilkan RMSE (*Root Mean Square Error*), RMSE adalah ukuran statistik yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi model prediktif dengan menghitung rata-rata selisih kuadrat antara nilai prediksi dan nilai aktual, kemudian mengambil akar kuadrat dari hasil tersebut, berikut merupakan rumus yang digunakan dalam RMSE (Suprayogi, 2012).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

- n adalah jumlah data,
- y_i adalah nilai aktual (observasi) ke- i ,
- $\hat{y}_i$ adalah nilai prediksi ke- i .

Hasil pengolahan ANN di aplikasi GEO-SOS FLUS didapatkan RMSE seperti gambar berikut.

```
Normalizing data, please wait...
Select sampling in proportion...
Start training, please wait...
Run time: 3270.16 s
Precision evaluation:
RMSE = 0.108639
Waiting for prediction...
The training is finished!
```

Sumber : Penyusun, 2025

Gambar 4.4 Nilai RMSE

Hasilnya menunjukkan bahwa pengolahan mendapatkan RMSE 0.1, RMSE 0.1 pada data skala 1:50.000 umumnya dianggap sangat baik karena kesalahan tersebut sangat kecil dibandingkan dengan representasi jarak sebenarnya, dengan kata lain, kesalahan 0.1 meter pada peta skala 1:50.000 adalah memenuhi standar ketelitian pemetaan untuk skala tersebut (Sumarsono dkk., 2016).

4.2 Analisis Simulasi Permodelan Perubahan Lahan

Analisis simulasi permodelan perubahan tutupan lahan digunakan untuk melatih model supaya bisa menyesuaikan tingkat resistensinya terhadap perubahan berdasarkan situasi yang berkembang dan digunakan untuk mengatur bagaimana probabilitas dan transisi didalam permodelan *Cellular Automata*, dalam konteks aplikasi FLUS simulasi permodelan menggunakan *Self Adaptive Inertia*, yang mana didalam (Chen dkk., 2022) menyebutkan bahwa *Self Adaptive Inertia* berfungsi untuk menangani interaksi kompleks lokal dan memperkirakan probabilitas transisi lahan dengan cara yang dinamis dan adaptif, sehingga model dapat merepresentasikan perubahan yang lebih realistis dan responsif terhadap

kondisi nyata secara eksisting. Langkah- langkah yang harus dilakukan untuk melakukak *Self Adaptive Inertia* di aplikasi FLUS adalah input data *Land Use Demand*, *Cost Matrix*, dan *Weight of Neighborhood*, berikut merupakan contoh gambar *Land Use Demand*.

Tabel 4.2 Initial dan Future Pixel Number

	Air	Hutan	Jalan	Kebun Campur	Kebun	Permukiman	Sawah	Terbuka	Tegalan	Kegiatan
Initial Pixel Number	6828	221819	362	19634	31622	189736	568351	1970	55606	7733
Future Pixel Number	6828	221583	362	19393	31567	202432	556446	2314	53155	9581

Sumber : Penyusun, 2025

Initial Pixel Number adalah jumlah pixel dari tutupan lahan tahun pembanding sebelum eksisting (dalam penelitian ini adalah 2014) dan untuk *Future Pixel Number* adalah jumlah pixel tahun eksiting (dalam penelitian ini adalah 2024), *Land Use Demand* digunakan untuk mengatur jumlah luasan dalam model prediksi, berikut merupakan contoh *Cost Matrix*.

Tabel 4.3 Cost Matrix

	Air	Hutan	Jalan	Kebun Campur	Kebun	Permuki man	Sawah	Terbuka	Tegalan	Kegiatan
Air	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hutan	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Jalan	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Kebun Campur	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kebun	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Permukiman	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Sawah	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Terbuka	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tegalan	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kegiatan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Sumber : (Chen dkk., 2022)

Cost Matrix adalah representasi pengetahuan awal pengguna mengenai kemungkinan konversi antar jenis tutupan lahan, matriks ini mengatur apakah suatu jenis lahan saat ini (kolom) dapat berubah menjadi tipe lahan lain di masa depan (baris), dengan nilai 1 menunjukkan konversi yang diizinkan dan 0 menunjukkan konversi yang tidak diizinkan. Cost matrix memungkinkan integrasi kebijakan lokal dan pengetahuan spasial. Berikut merupakan contoh *Weight of Neighborhood*.

Tabel 4.4 Weight of Neighborhood

Air	Hutan	Jalan	Kebun Campur	Kebun	Permukiman	Sawah	Terbuka	Tegalan	Kegiatan
0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.9	0.5	0.6	0.5	0.9

Sumber : (Chen dkk., 2022)

Weight of Neighborhood adalah perubahan penggunaan lahan merujuk pada nilai atau bobot yang menggambarkan pengaruh atau hubungan antara suatu lokasi dengan lokasi-lokasi tetangganya, merujuk pada (Chen dkk., 2022), dalam FLUS semakin mendekati 1 nilainya semakin kuat dan 0 maka akan semakin lemah. Berikut merupakan tabel *Conversion Probability*.

Tabel 4.5 Conversion Probability

	Air	Hutan	Jalan Tol	Kebun Campuran	Perkebunan	Permukiman	Sawah	Tanah Terbuka	Tegalan	Tempat Kegiatan
Air	100.00 %	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00%	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%
Hutan	0.00%	93.94 %	0.00%	4.37 %	0.86%	0.03%	0.09 %	0.00 %	0.67 %	0.05%
Jalan Tol	0.00%	0.00 %	100.00 %	0.00 %	0.00%	0.00%	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%
Kebun Campuran	0.00%	0.00 %	0.00%	96.21 %	0.00%	1.17%	2.62 %	0.00 %	0.00 %	0.00%
Perkebunan	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %	100.00 %	0.00%	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%
Permukiman	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	100.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00%
Sawah	0.00%	0.00 %	0.06%	0.06 %	0.20%	4.82%	94.35 %	0.06 %	0.39 %	0.04%
Tanah Terbuka	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00%	0.00 %	38.16 %	61.84 %	0.00%
Tegalan	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	5.55%	0.00 %	0.00 %	90.59 %	3.86%
Tempat Kegiatan	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00 %	0.00%	0.00%	0.00 %	0.00 %	0.00 %	100.00 %

Sumber : Penyusun, 2025

Conversion Probability merupakan probabilitas terjadinya peralihan dari satu jenis tutupan lahan ke jenis lainnya dalam suatu area dan kurun waktu tertentu. Nilai probabilitas ini menjadi komponen utama dalam model simulasi perubahan lahan untuk memperkirakan lokasi dan bentuk perubahan penggunaan lahan yang mungkin terjadi, dalam hal ini untuk menghitung peluang terjadinya perubahan di tahun 2024, menggunakan perkembangan perubahan tutupan lahan dari tahun 2004 ke tahun 2014, nilai probabilitas tersebut selanjutnya digunakan untuk melihat peluang perkembangan lahan ke tahun 2024.

4.3 Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk melihat seberapa akurat hasil prediksi model dan tutupan lahan eksisting, validasi dilakukan otomatis oleh aplikasi dan menggunakan *Figure of Merit (FoM)* dan *Kappa Coefficient*, berikut adalah hasil perbandingan antara hasil simulasi dan tutupan lahan eksisting tahun 2024.

4.3.1 *Figure of Merit*

Figure of Merit (FoM) merupakan indikator kuantitatif yang umum digunakan dalam studi perubahan penggunaan lahan untuk mengevaluasi tingkat akurasi spasial dari hasil simulasi, metode ini membandingkan hasil prediksi model dengan data observasi atau referensi guna menilai sejauh mana model mampu memetakan lokasi perubahan lahan yang terjadi secara nyata, adapun rumus dari FoM adalah sebagai berikut :

$$FoM = \frac{B}{A + B + C + D}$$

A : Area yang tidak berubah dan diprediksi tidak berubah

B : Area berubah di referensi dan diprediksi berubah dengan benar

C : Area berubah di referensi tapi tidak diprediksi berubah

D : Area berubah di prediksi tapi tidak berubah di referensi

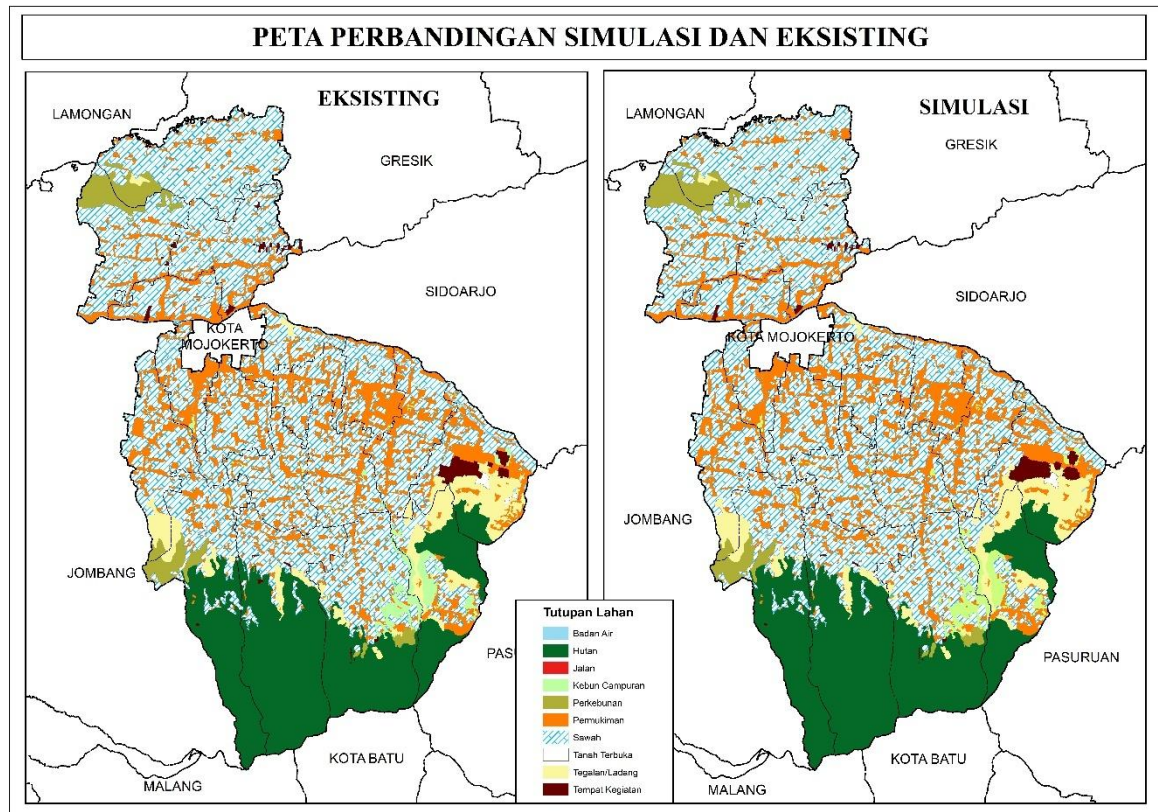
Permodelan yang telah dilakukan untuk memprediksi perubahan tutupan lahan di tahun 2034 Kabupaten Mojokerto menghasilkan rumus sebagai berikut :

$$FoM = \frac{15.779}{83+15.779+14+14041} = 0,527$$

Nilai FoM jika semakin mendekati 1 adalah semakin baik, merujuk pada (Liu dkk., 2024) FoM 0,527 merupakan hasil yang cukup baik dan memiliki model simulasi yang akurat.

4.3.2 Kappa Coefficient

Kappa Coefficient adalah membandingkan antara dua hasil data, berikut adalah hasil perbandingan antara hasil simulasi dan tutupan lahan eksisting tahun 2024



Sumber : Penyusun, 2025

Gambar 4.5 Peta Perbandingan Simulasi dan Eksisting Tahun 2024

Setelah dihasilkan peta simulasi tutupan hasil prediksi dari model *cellular automata*, selanjutnya adalah validasi antara hasil simulasi dan eksisting dengan menggunakan *kappa coefficient* dan *overall accuracy*, berikut adalah tabel *confusion matrix* akurasi.

Tabel 4.6 Tabel Uji Validasi Model

Jenis	Badan Air	Hutan	Jalan Tol	Kebun Campuran	Perkebunan	Permukiman	Sawah	Tanah Kosong	Tegalan/ Ladang	Tempat Kegiatan	Total
Badan Air	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Hutan	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Jalan Tol	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
Kebun Campuran	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	9
Perkebunan	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10
Permukiman	0	0	0	1	0	9	0	0	0	0	10

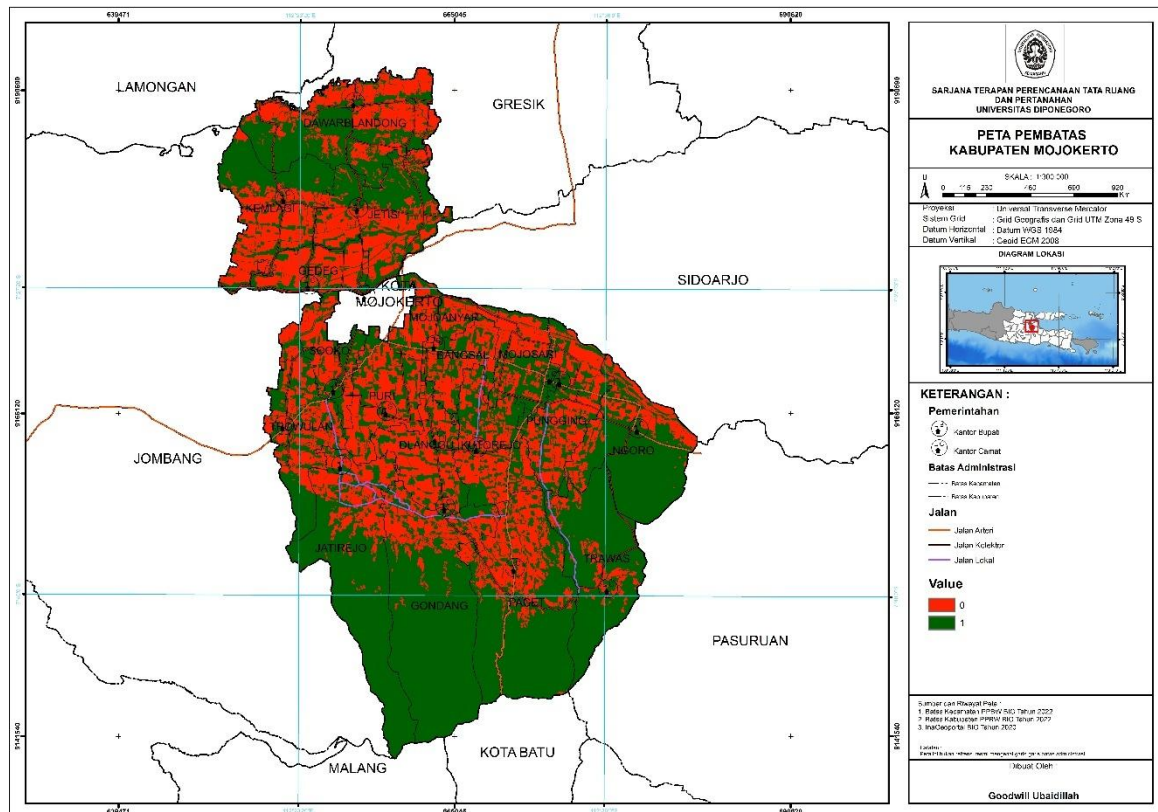
Jenis	Badan Air	Hutan	Jalan Tol	Kebun Campuran	Perkebunan	Perumahan	Sawah	Tanah Kosong	Tegalan/ Ladang	Tempat Kegiatan	Total
Sawah	0	0	0	0	0	1	10	4	0	0	15
Tanah Kosong	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
Tegalan/ Ladang	0	0	0	0	0	0	0	3	10	0	13
Tempat Kegiatan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
Kappa	0,90										
Overall Accuracy	0,91										

Sumber : Penyusun, 2025

Hasil simulasi permodelan *cellular automata* selanjutnya akan diuji validasi, dimana hasil diatas menunjukkan bahwa *Kappa coefficient*-nya adalah 0,90 atau 90%, yang mana 0,9 termasuk dalam kategori sangat tinggi dan menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik antara hasil simulasi atau prediksi dengan data aktual. Berdasarkan standar umum validasi model, nilai kappa di atas 0,75 mencerminkan akurasi tinggi, sehingga nilai 0,9 menandakan bahwa model memiliki performa yang sangat andal dan valid secara ilmiah, dan *overall accuracy* 0,91 (atau 91%) tergolong sangat baik dalam konteks uji akurasi klasifikasi penggunaan lahan atau pemetaan spasial. (Asra dkk., 2020).

4.4 Analisis *Constraint Map*

Constraint map adalah peta yang merepresentasikan batasan dalam pemanfaatan lahan, berfungsi untuk mengendalikan perubahan penggunaan lahan dengan mengidentifikasi area yang tidak diperbolehkan atau dibatasi untuk dikembangkan, pembatasan ini membantu menjamin bahwa simulasi atau perencanaan penggunaan lahan selaras dengan regulasi dan kondisi eksisting, serta mencegah terjadinya perubahan yang tidak sesuai atau tidak layak secara teknis dan kebijakan. (Arifah, 2018), penelitian ini faktor pembatas menggunakan Lahan Sawah Dilindungi (LSD) dan badan air, berikut merupakan peta *Constraint map* didalam penelitian ini.



Sumber : Penyusun, 2025

Gambar 4.6 Peta Constraint atau Pembatas

Algoritma yang digunakan di FLUS, *Constraint map* diatur dengan angka 1 dan 0, yang artinya 1 adalah kawasan yang diperbolehkan untuk berubah dan 0 adalah kawasan yang tidak diperbolehkan berubah dalam hal ini Lahan Sawah Dilindungi (LSD) dan Badan Air, dalam penentuan *Constraint map* menggunakan metode *boolean*, yang maknanya Metode ini memanfaatkan logika Boolean, yakni sistem logika yang hanya mengenal dua nilai utama: benar (*True*/1) dan salah (*False*/0), untuk melakukan pencarian, pengolahan, atau penyederhanaan data serta fungsi logika, hasil pencarian dari metode ini bersifat tegas, hanya mencakup dokumen yang dianggap relevan atau tidak relevan tanpa adanya ambiguitas, dalam penelitian ini menggunakan metode *boolean* karena faktor pembatasnya merupakan peraturan yang mengatur tentang lahan perubahan komversi lahan yaitu Lahan Sawah Dilindungi (LSD) dan bersifat yuridis.

4.5 Analisis Prediksi Permukiman Dengan Markov-Chain

Markov Chain adalah model probabilistik yang memprediksi perubahan status suatu sel berdasarkan probabilitas transisi dari data historis, dengan asumsi bahwa perubahan hanya dipengaruhi oleh kondisi saat ini. Dalam model CA-Markov, prediksi perubahan penggunaan lahan tidak hanya mempertimbangkan status sel itu sendiri, tetapi juga

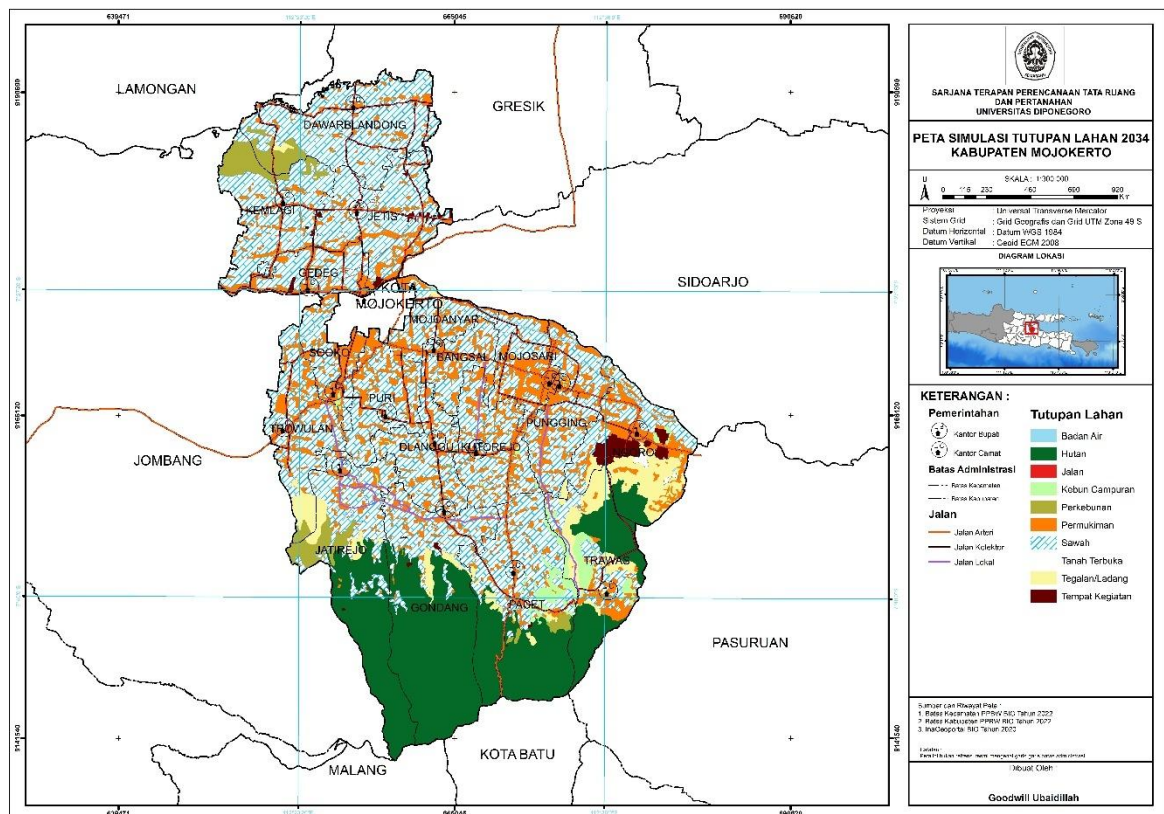
dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan sekitarnya melalui pendekatan selular automata (Achmadi dkk., 2023), setelah validasi dilakukan dan hasilnya dianggap baik dan akurat, maka akan dilanjutkan ke prediksi tutupan lahan menggunakan permodelan CA-Markov, dalam FLUS prediksi markov-chain akan menghasilkan *land use demand*, dan memiliki satuan jumlah pixel, berdasarkan resolusi data awal pengolaha, berikut merupakan tabel *land use demand* di tahun 2034 Kabupaten Mojokerto.

Tabel 4.7 Hasil Prediksi Markov

Tahun	Badan Air	Hutan	Jalan Tol	Kebun Campuran	Perkebunan	Permukiman	Sawah	Tanah Kosong	Tegalan	Tempat Kegiatan
2024	6828	221583	362	19393	31567	202432	556446	2314	53155	9581
2034	6828	221347	362	19155	31512	214956	544803	2515	50812	11371

Sumber : Penyusun, 2025

Hasil di tabel 4.6 menunjukkan beberapa perubahan jumlah pixel jenis tutupan lahan, sawah yang di tahun 2034 adalah berjumlah 556.446 pixel di tahun 2034 berkurang dan berjumlah 544.803, sedangkan kawasan permukiman bertmabha dari 202.432 pixel di tahun 2024, di tahun 2034 menjadi 214.956 pixel, dari prediksi CA-Markov kemudian diolah kembali di *self adaptive inertia*, namun untuk *land use demand* yang dimasukkan di tabel adalah hasil dari prediksi tahun 2034, setelah itu memasukkan *restricted area* sehingga pertumbuhan tutupan lahan tidak mengganggu Lahan Sawah dilindungi (LSD). Berikut merupakan peta hasil simulasi tutupan lahan tahun 2034 Kabupaten Mojokerto.



Sumber : Penyusun, 2025

Gambar 4.7 Peta Simulasi Tutupan Lahan 2034

Peta simulasi tutupan lahan 2034 di Kabupaten Mojokerto merupakan hasil akhir dari pengolahan menggunakan permodelan CA-Markov untuk memproyeksikan atau meprediksi tutupan lahan di suatu daerah, untuk melihat perkembangan tutupan lahan, berikut merupakan tabel perkembangan tutupan lahan dari tahun 2024 sampai ke simulasi tahun 2034.

Tabel 4.8 Perbandingan Luasan Tutupan Lahan

Tutupan Lahan	Luas (km ²)		Pertumbuhan
	2024	2034	
Badan Air	5,84	5,84	0,00
Hutan	197,74	197,53	-0,21
Jalan	0,29	0,29	0,00
Kebun Campuran	17,32	17,08	-0,25
Perkebunan	28,15	28,11	-0,04
Permukiman	180,31	192,00	11,69
Sawah	497,08	486,44	-10,64
Tanah Terbuka	2,06	2,02	-0,04
Tegalan/Ladang	47,45	45,34	-2,11
Tempat Kegiatan	8,52	10,13	1,61

Sumber : Penyusun, 2025

Hasil akhir proses analisis tutupan lahan di tahun 2024 mengalami beberapa perubahan, paling terlihat adalah semakin bertambahnya kawasan permukiman di tahun 2034 hingga mencapai 11,7 km² dan permukiman adalah kawasan yang paling banyak berubah, untuk lahan sawah dari tahun 2024 berkurang 10,6 km² dalam prediksi simulasi tahun 2034, serta kawasan tempat kegiatan bertambah 1,6 km² di tahun 2034.

4.6 Uji Validasi Hasil Perkembangan Permukiman

Penentuan sampel dilakukan untuk memudahkan peneliti dalam pelaksanaan observasi. Metode yang digunakan yaitu *stratified random sampling* untuk mendapatkan jumlah sampel yang proporsional terhadap luasan area yang ada dan kedetailan skala data. Dalam penentuan titik sampel mengacu pada Peraturan Kepala BIG Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove. Terdapat perbandingan jumlah titik sampel minimal yang harus diambil sesuai skala pemetaan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.9 Jumlah Titik Sampel Berdasarkan Skala Peta

Skala	Kelas kerapatan (Kr)	Min. Plot	Total sampel minimal (TSM)
1:25.000	5	30	50
1:50.000	3	20	30
1:250.000	2	10	20

Sumber: Peraturan Kepala BIG Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove

Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah sampel minimal dalam total luas wilayah sebagai berikut :

$$A = TSM + \frac{\text{luas (ha)}}{1.500}$$

Keterangan:

A : Jumlah Sampel Minimal

TSM : Total Sampel Minimal

Berikut merupakan perhitungan penentuan sampel uji akurasi dalam penelitian ini :

$$\begin{aligned}
 A &= 30 + \frac{96940}{1.500} \\
 &= 30 + 64,62 \\
 &= 94,62 = 95
 \end{aligned}$$

Hasil dari validasi diperoleh 91 titik benar dari 95 sampel, dan menggunakan *Overall Accuracy*

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\text{Jumlah sampel benar}}{\text{Total sampel}} \times 100\%$$

$$= \frac{91}{95} \times 100\% = 95\%$$

Tabel 4.10 Uji Validasi Lapangan

Nama	Y	X	Foto	Keterangan
Tanda tempat 1	-7.618473823	112.413511861		Sesuai
Tanda tempat 2	-7.631295032	112.461617542		Tidak Sesuai
Tanda tempat 3	-7.665997980	112.536125343		Sesuai
....				
Tanda tempat 95	-7.454958270	112.413522217		Sesuai

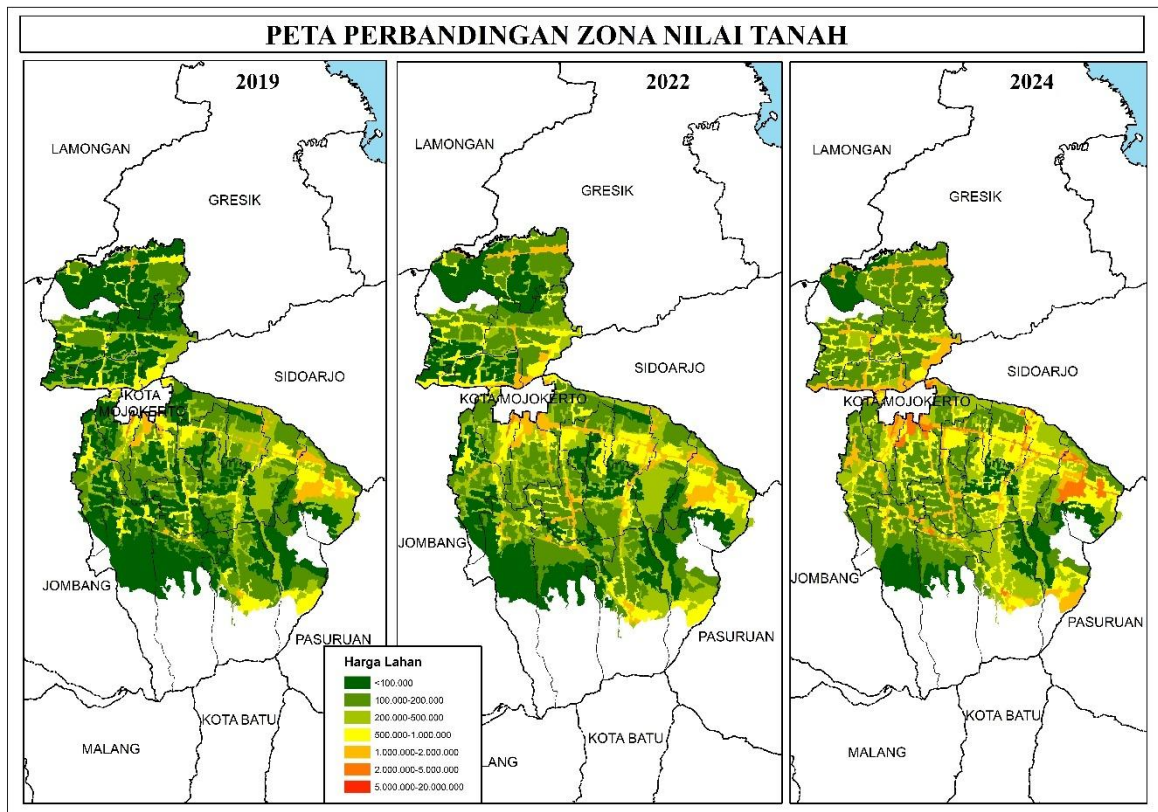
Sumber : Penyusun, 2025

4.7 Prediksi Menggunakan Regresi Linear Sederhana

Prediksi Menggunakan Regresi Linear Sederhana dilakukan menggunakan aplikasi Microsoft Excel, dan memakai rumus FORECAST.LINEAR (x; known_ys; known_xs).

4.7.1 Zona Nilai Tanah

Prediksi zona nilai tanah dilakukan untuk melihat bagaimana harga zona nilai tanah di tahun 2034 di Kabupaten Mojokerto, zona nilai tanah sendiri adalah kelompok bidang tanah yang memiliki nilai tanah yang relatif serupa, dengan batas-batas yang dapat bersifat nyata maupun imajiner tergantung pada pola penggunaan tanah di area tersebut, berikut merupakan peta zona nilai tanah dari tahun 2019-2024 Kabupaten Mojokerto.



Sumber : Penyusun,2025

Gambar 4.8 Peta Perbandingan Zona Nilai Tanah

Gambar 4.8 menunjukkan zona nilai tanah tahun 2019, 2022 dan tahun 2024, terdapat 7 range klasifikasi menurut Bhumi ATR/BPN, paling kecil adalah <Rp 100.000 dan paling tinggi adalah Rp 5.000.000-Rp 20.000.000 yang terdapat di Kabupaten Mojokerto dari tahun 2019 hingga tahun 2034, dalam proses analisis FORECAST.LINEAR , pertama tahun harus dirubha menjadi x atau variabel baru, dengan membuat tabel seperti berikut.

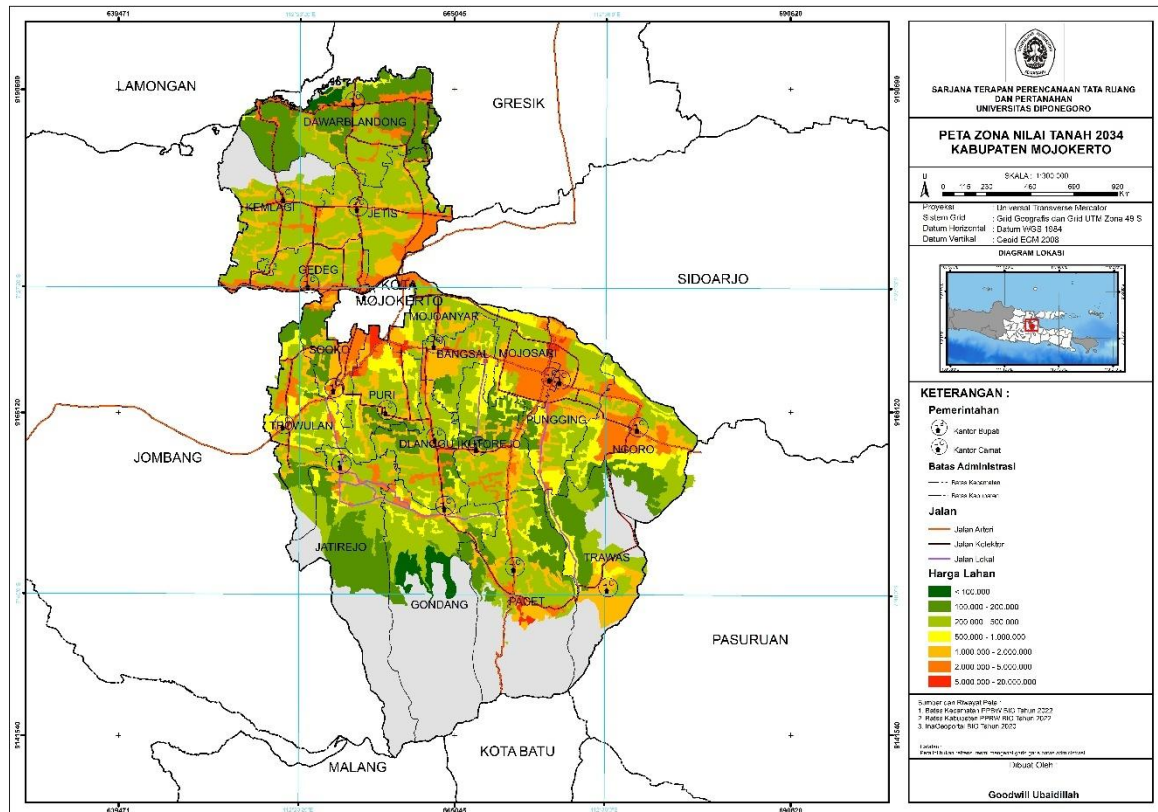
Tabel 4.11 Penentuan x Regresi

Tahun	t	$x = t-2019$
2019	2019	0
2022	2022	3
2024	2024	5
....		...
2034	2034	15

Sumber : Penyusun,2025

Didapatkan x adalah 15 dan menggunakan rumus FORECAST.LINEAR di Microsoft Excel dengan perintah (x ; known_ys; known_xs), kemudian akan muncul harga

zona nilai tanah tahun 2034, berikut merupakan peta zona nilai tanah tahun 2034 di Kabupaten Mojokerto.



Sumber : Penyusun,2025

Gambar 4.9 Peta Prediksi Zona Nilai Tanah 2034

Klasifikasi peta zona nilai tanah tahun 2034 tidak berubah terdapat 7 kelas dengan terendah adalah kelas dibawah Rp 100.000 dan tertinggi Rp 5.000.000 – Rp 20.000.000, namun mengalami banyak perubahan warna, yang artinya banyak zona yang berubah semakin bertumbuh harganya, kemudian dilakukan uji validasi keakuratan model prediksi regresi linear, dengan menggunakan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), MAPE adalah sebuah metrik yang digunakan untuk mengukur keakuratan model prediksi dengan menghitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{A_t \times F_t}{A_t} \right) \times 100\%$$

A_t : Nilai Aktual

F_t : Nilai Prediksi

Kriteria nilai MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) menurut (Hadi dkk., 2024) kriteria MAPE sebagai berikut :

1. <10% : Peramalan Sangat Baik
2. 10-20% : Peramalan Baik
3. 20-50% : Peramalan Cukup
4. >50% : Peramalan Buruk

Perhitungan MAPE dilakukan menggunakan *Microsof Excel*, berikut merupakan Tabel perthitungan MAPE dari zona nilai tanah.

Tabel 4.12 Perhitungan MAPE Zona Nilai Tanah

Zon a	2019 (Rp)	2022 (Rp)	2024 (Rp)	2034 (Rp)	2019 Prediksi (Rp)	2022 Prediksi (Rp)	2024 Prediksi (Rp)	MAPE 2019	MAPE 2022	MAPE 2024
1	1.201.198	1.780.000	2.607.000	5.244.472	1.131.546	1.954.131	2.502.521	0,058	0,098	0,040
2	119.575	198.500	220.000	433.134	124.488	186.217	227.370	0,041	0,062	0,033
3	794.310	910.854	1.459.000	2.602.677	720.028	1.096.558	1.347.578	0,094	0,204	0,076
4	843.783	949.033	1.503.000	2.630.461	767.393	1.140.007	1.388.416	0,091	0,201	0,076
5	871.819	1.187.850	2.407.000	5.079.285	712.588	1.585.927	2.168.154	0,183	0,335	0,099
6	201.479	239.357	614.000	1.301.125	146.312	377.274	531.249	0,274	0,576	0,135
7	967.800	1.113.000	1.503.000	2.457.663	921.505	1.228.737	1.433.558	0,048	0,104	0,046
8	95.000	120.000	146.000	244.316	93.526	123.684	143.789	0,016	0,031	0,015
9	6.156.000	6.837.000	7.316.000	9.626.132	6.152.053	6.846.868	7.310.079	0,001	0,001	0,001
10	146.152	172.082	960.000	2.283.500	24.473	476.279	777.482	0,833	1,768	0,190
.....										
356	317.321	430.000	911.000	1.938.143	253.234	590.216	814.870	0,202	0,373	0,106
357	211.000	324.000	428.000	850.684	206.474	335.316	421.211	0,021	0,035	0,016
358	184.000	235.000	428.000	853.237	158.895	297.763	390.342	0,136	0,267	0,088
MAPE								12,4%	24,1%	5,9%
OVERALL MAPE								14,2%		

Sumber : Penyusun, 2025

MAPE dari prediksi harga tanah Kabupaten Mojokerto menggunakan regresi linear sederhana mendapatkan nilai rata-rata ke tiga tahunnya sebesar 14,2%, yang artinya hasil prediksi tersebut dianggap baik yang merujuk pada kriteria hasil peramalan seperti yang sudah dijelaskan. berikut merupakan tabel luasan per klasifikasi zona nilai tanah dari tahun 2019-2034 Kabupaten Mojokerto.

Tabel 4.13 Perbandingan Luas Zona Nilai Tanah

Range	Luas (Ha)			
	2019	2022	2024	2034
<100.000	33.973,6	21.366,1	8.998,4	1.095,7
100.000-200.000	18.615,3	26.179,5	31.606,7	15.686,2
200.000-500.000	14.576,2	14.134,3	13.727,5	31.005,9
500.000-1.000.000	8.474,1	11.247,9	14.415,3	7.857,1
1.000.000-2.000.000	2.497,0	5.194,3	7.142,9	12.266,7
2.000.000-5.000.000	62,3	76,4	2.307,7	9.568,3
5.000.000-20.000.000	12,8	12,8	12,8	731,9

Sumber : Penyusun, 2025

Terlihat dari tabel 4.9 bahwasanya harga zona nilai tanah di Kabupaten Mojokerto semakin naik, dilihat dari luasan 2019 hingga 2034, untuk yang < Rp 100.000 di tahun 2019 seluas 33.937 ha dan menurun drastis di tahun 2034 yang hanya seluas 1.095 ha, dan range harga paling luas di tahun 2034 adalah Rp 200.000 – Rp 500.000 seluas 31.005 ha, berbeda dengan tahun 2019 yang paling luas adalah range harga < Rp 100.000.

4.7.2 Upah Minimum Regional (UMR)

Analisis prediksi Upah Minimum Rendah (UMR) digunakan untuk melihat UMR Kabupaten Mojokerto di tahun 2034, UMR dalam penelitian ini digunakan untuk menjadi faktor dalam penentuan maksimal berapa KPR yang bisa diambil, KPR adalah Kredit Pemilikan Rumah (KPR) adalah fasilitas pinjaman yang diberikan oleh bank atau lembaga keuangan kepada individu untuk membeli rumah secara mencicil. Dengan menggunakan KPR, pembeli tidak perlu menyediakan dana secara penuh di awal. Sebagai gantinya, pembeli cukup membayar sejumlah uang muka (down payment), biasanya berkisar antara 10%–30% dari harga, UMR menjadi patokan rata-rata pendapatan buruh pabrik industri di Kabupaten Mojokerto, karena menurut (Ganitri & Resen, 2020) UMR dapat dijadikan acuan untuk menentukan batas minimum penghasilan buruh di suatu daerah, karena secara yuridis, UMR merupakan ketentuan upah minimum yang wajib dipenuhi oleh pemberi kerja kepada pekerja di wilayah tersebut. Meski demikian, UMR tidak mencerminkan pendapatan ideal maupun tolok ukur kesejahteraan secara keseluruhan, melainkan hanya sebagai ambang batas terendah yang ditetapkan berdasarkan kondisi perekonomian dan kebutuhan hidup

layak di daerah masing-masing, beriku merupakan tabel linear prediksi UMR Kabupaten Mojokerto.

Tabel 4.14 Prediksi UMR

Tahun	UMR (Rp)
2014	2.050.000
2015	2.965.000
2016	3.030.000
2017	3.279.975
2018	3.565.661
2019	3.851.983
2020	4.179.787
2021	4.279.787
2022	4.354.787
2023	4.504.787
2024	4.624.000
.....	
2034	7.191.969

Sumber : Penyusun, 2025

Upah Minimum Regional di Kabupaten Mojokerto tahun 2034 diprediksi senilai Rp 7.191.969, analisis yang dipakai adalah regresi linear sederhana, untuk penentuan x dalam UMR Kabupaten Mojokerto dikarenakan data yang dimiliki lengkap, maka rumus penentuan x yang dipakai adalah sebagai berikut.

$$x = 2034 - 2014 = 20$$

x dari FORESCAST.LINEAR adalah 20, dengan menggunakan rumus (x ; known_ys; known_xs), sehingga didapatkan nilai dari UMR Kabupaten Mojokerto Tahun 2034, kemudian dilakukan uji validasi keakuratan model prediksi regresi linear, dengan menggunakan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), MAPE adalah sebuah metrik yang digunakan untuk mengukur keakuratan model prediksi dengan menghitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{A_t \times F_t}{A_t} \right) \times 100\%$$

A_t : Nilai Aktual

F_t : Nilai Prediksi

Penjabaran dari rumus kemudian di-implementasikan di data UMR Kabupaten Mojokerto dari tahun 2014 hingga 2024 dengan menggunakan perhitungan excel sebagai berikut.

Tabel 4.15 Perhitungan MAPE Upah Minimum Regional

Tahun	x	A_t	F_t	MAPE
2014	0	2.050.000	2.534.285	0,236
2015	1	2.965.000	2.767.169	0,067
2016	2	3.030.000	3.000.054	0,009
2017	3	3.279.975	3.232.938	0,014
2018	4	3.565.661	3.465.822	0,028
2019	5	3.851.983	3.698.706	0,039
2020	6	4.179.787	3.931.590	0,059
2021	7	4.279.787	4.164.474	0,027
2022		4.354.787	4.397.359	0,009
2023	9	4.504.787	4.630.243	0,028
2024	10	4.624.000	4.863.127	0,051
.....				
2034	20		7.191.969	
MAPE				5,19%

Sumber : Penyusun, 2025

Perhitungan prediksi UMR di Kabupaten Mojokerto didapatkan MAPE 5,19%, menurut (Hadi dkk., 2024) kriteria MAPE sebagai berikut :

5. <10% : Peramalan Sangat Baik
6. 10-20% : Peramalan Baik
7. 20-50% : Peramalan Cukup
8. >50% : Peramalan Buruk

Nilai 5,19% adalah nilai yang sangat baik dan prediksi regresi linear tersebut valid dan peramalannya valid.

4.8 Analisis Jangkauan Tempat Kerja

Analisis Jangkauan Tempat Kerja dilakukan untuk menghitung seberapa jauh kita bisa menjangkau tempat kerja atau dalam penelitian ini adalah Kawasan Industri, analisis Jangkauan tempat kerja adalah hal yang penting, karena jarak yang tepat antara tempat tinggal dan lokasi kerja dapat memberikan dampak positif terhadap produktivitas dan kesejahteraan mental (Yohanes Paulus Goo Ado dkk., 2023). Tinggal dekat dengan tempat kerja membantu meminimalkan waktu perjalanan, yang pada gilirannya mendukung kualitas tidur yang lebih baik, kestabilan kondisi mental, serta peningkatan efisiensi dalam bekerja,

berikut merupakan tabel kriteria kedekatan dengan tempat kerja menurut (UN Habitat, 2012).

Tabel 4.16 Kriteria Jarak dengan Tempat Kerja

No.	Jarak (km)	Kriteria
1	<1	Sangat Baik
2	1-3	Baik
3	3-6	Cukup Baik
4	6-10	Buruk
5	>10	Sangat Buruk

Sumber : UN Habitat, 2012

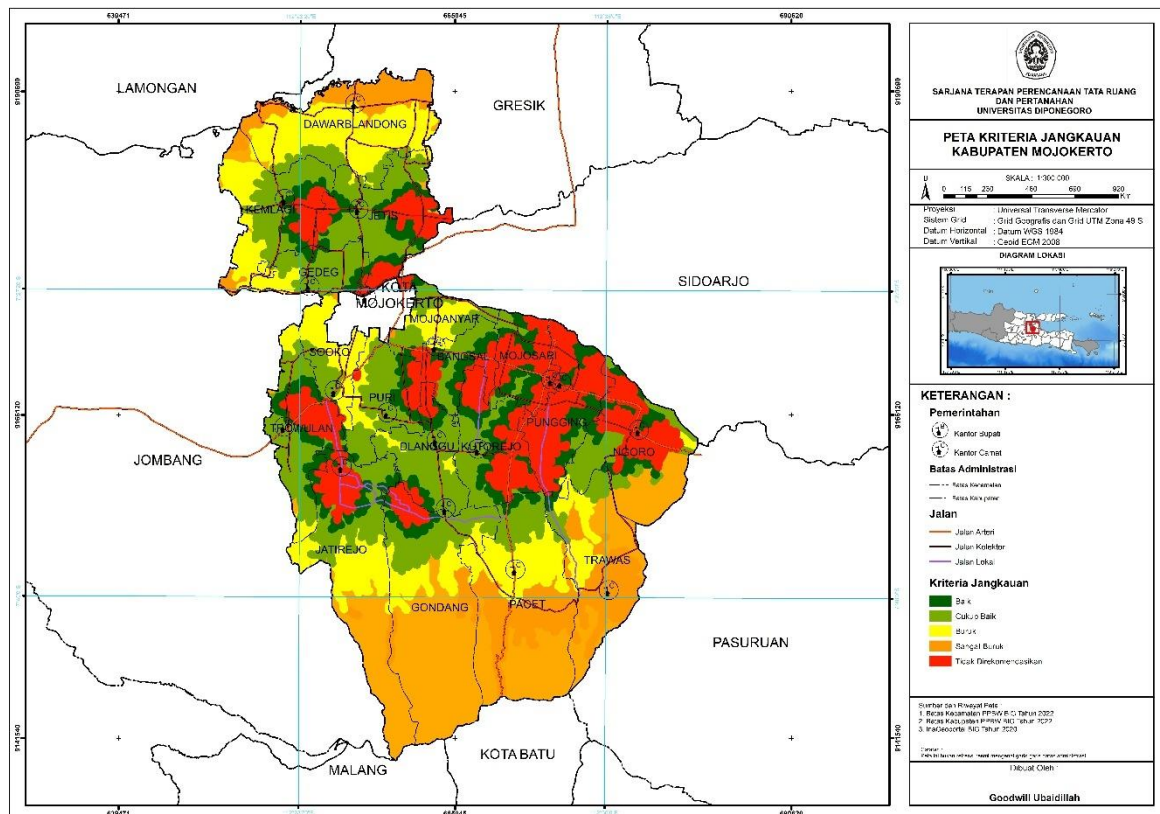
Kriteria tersebut ditetapkan untuk menjamin kualitas dan kuantitas kepada kesejahteraan masyarakat, namun jarak minimal dari kawasan industri juga sangat perlu diperhatikan karena kawasan industri kerap menjadi sumber pencemaran udara, air, dan tanah akibat limbah serta emisi gas berbahaya dari aktivitas produksinya. Zat pencemar seperti debu, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, dan karbon dioksida dapat mencemari udara, menimbulkan berbagai gangguan kesehatan seperti iritasi saluran pernapasan, infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma, hingga kanker. Sementara itu, pembuangan limbah cair industri ke sungai atau tanah mengakibatkan pencemaran lingkungan yang merugikan ekosistem serta membahayakan kesehatan manusia (Ridwan, 2016), di Indonesia telah diatur dalam Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 35 Tahun 2010 adalah minimal 2 kilometer. Jarak ini ditetapkan untuk menghindari dampak negatif industri seperti pencemaran udara, air, dan tanah yang dapat mempengaruhi kualitas lingkungan permukiman sekitar, berikut kajian tentang jarak minimal dan risiko bahaya kawasan industri.

Tabel 4.17 Kajian Tentang Jarak Minimal dengan Industri

Jarak	Keterangan
300 Meter	Kebijakan Amerika Serikat tentang minimal kawasan industri ke permukiman untuk mengurangi paparan polusi udara dan dampak lain seperti kebisingan dan getaran (www.baaqmd.gov, 2010)
300 – 500 Meter	Buffer minimal untuk mengurangi paparan polusi udara, suara, dan risiko kesehatan di sekitar industri berat (Isa dkk., 2024)
800 – 3200 Meter	Studi di AS dan Kanada terkait penyakit epidemiologi mengukur risiko kesehatan terkait paparan industri, dengan risiko lebih tinggi (De Roos dkk., 2010)

Sumber : Penyusun, 2025

Dari beberapa jurnal internasional terlalu dekat dengan kawasan industri akan banyak menimbulkan banyak efek negatif salah satunya adalah penyakit epidemiologi yang mana biasa adalah menyerang bagian pernapasan dan polusi udara berlebihan, berikut merupakan peta kriteria jarak menurut UN Habitat 2012 dan Jurnal lainnya.



Sumber : Penyusun, 2025

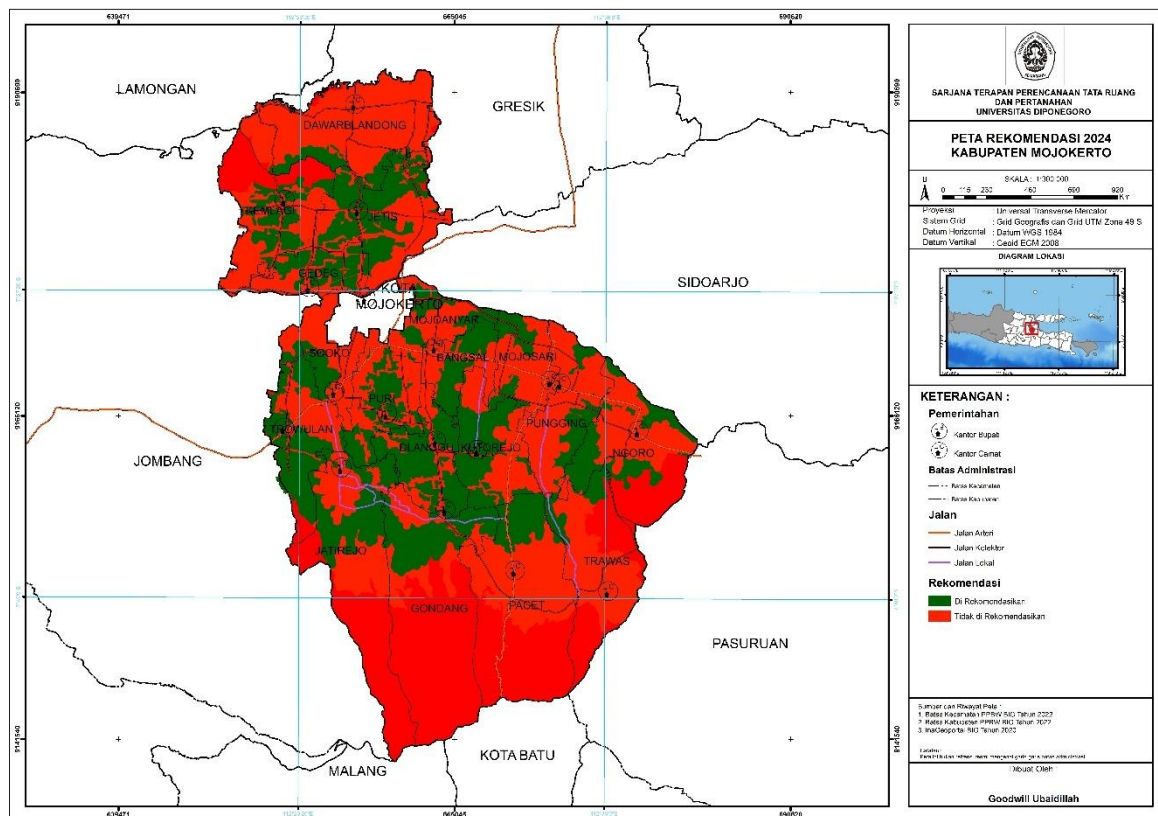
Gambar 4.10 Peta Kriteria Jangkauan

Peta kriteria jarak ke tempat industri terdapat 5 klasifikasi yaitu baik, cukup baik, buruk, sangat buruk, dan tidak direkomendasikan, untuk yang tidak direkomendasikan adalah kawasan yang jaaraknya ≤ 2 Km, untuk yang baik adalah 2-3 km, kemudian cukup baik adalah 3-6 km , buruk adalah 6-10 km, dan sangat buruk adalah lebih dari 10 km.

4.9 Rekomendasi Kawasan Permukiman

Analisis rekomendasi kawasan permukiman untuk Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR), adalah hasil dari *overlay* peta kriteria jangkauan dari tempat kerja (Industri) dan batas maksimal harga tanah dari perhitungan KPR, di Kabupaten Mojokerto dengan UMR Rp 4.624.000, KPR yang bisa diajukan adalah 30% dari gaji atau 1.350.000 per bulan, maka dengan tenor pembayaran 15-20 tahun, masyarkat bisa membeli rumah dengan harga

Rp 200.000.000 – Rp 200.000.000, dengan mendapatkan spesifikasi rumah menurut Menteri PUPR Nomor 242/KPTS/M/2020 dan Peraturan Menteri Perumahan dan Kawasan Permukiman (PKP) Nomor 5 Tahun 2025 dengan luas 48 meter persegi untuk rumah swadaya, dan luas tanah 60-200 meter persegi, maka dapat dihitung menurut dibedah antara biaya untuk membangun rumah dan harga tanah, menurut (Renovasi Rumah Pro, 2025) biaya untuk membangun rumah per meter di tahun 2025 adalah 4 juta / meter persegi, untuk luasan rumah 48 meter persegi maka dibutuhkan biaya sekitar Rp 240.000.000, sehingga Rp. 240.000.000 – Rp. 192.000.000 = Rp. 58.000.000, peraturan penyediaan tanah KPR sekarang adalah 72 meter persegi, sehingga didapatkan harga tanah maksimal adalah sekitar Rp 700.000/meter persegi, sehingga didapatkan peta rekomendasi kawasan permukiman MBR tahun 2024 seperti berikut.

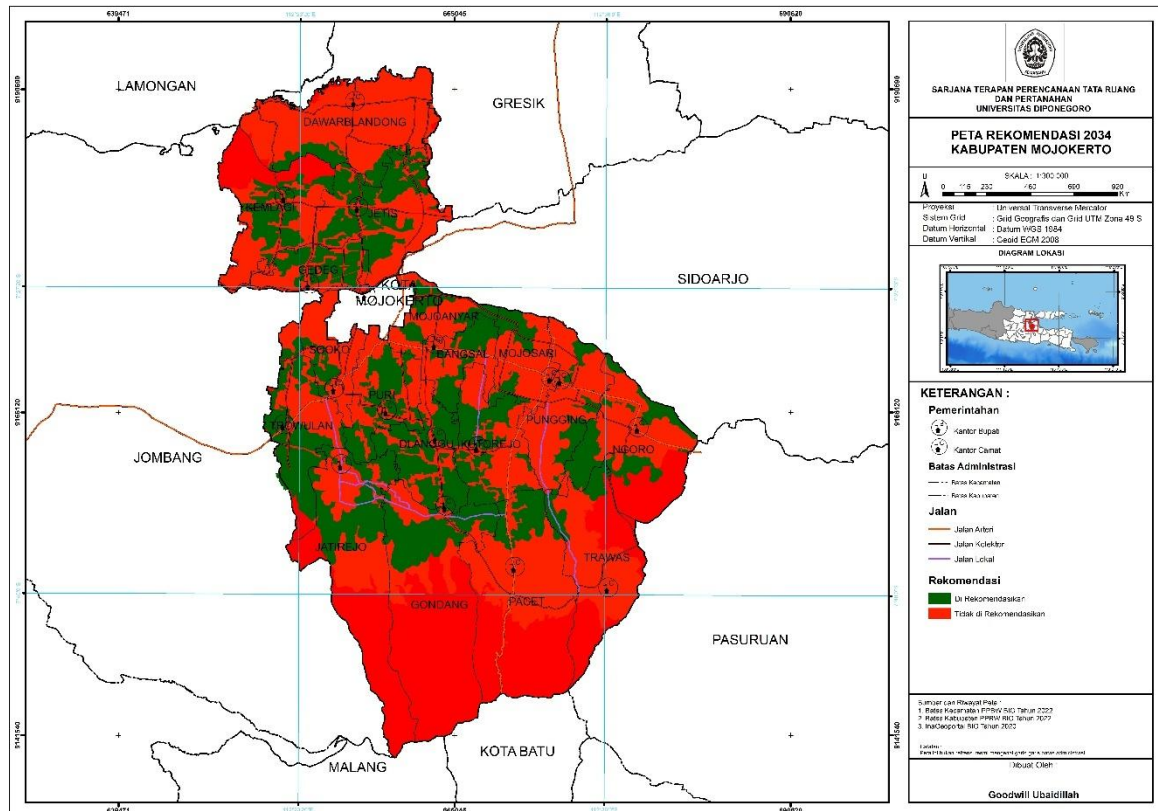


Sumber : Penyusun, 2025

Gambar 4.11 Peta Rekomendasi Tahun 2024

Kriteria “Direkomendasikan” dan “Tidak di Rekomendasikan” adalah memelalui proses *overlay* dari peta kriteria jangkauan dan maksimal harga tanah yang mampu di beli oleh MBR berdasarkan analisis, untuk yang direkomendasikan adalah dengan kriteria jarak “Baik” dan “Cukup Baik”, dan Harga Tanah dibawah Rp. 700.000/m², dan untuk yang tidak direkomendasikan adalah jangkauan dengan kriteria “Buruk”, “Sangat Buruk”, dan “Tidak

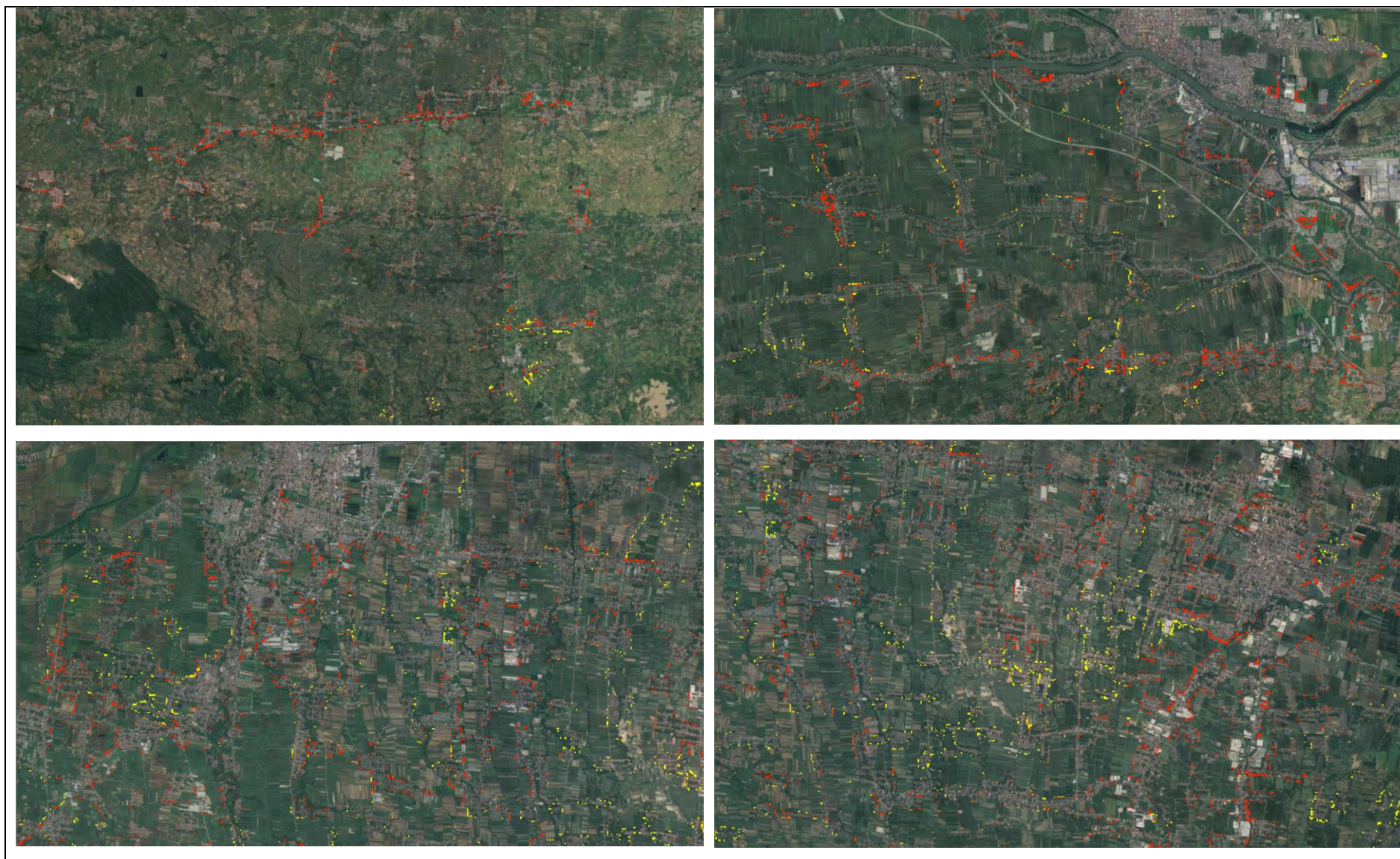
di Rekomendasikan”, dan juga harga tanah yang diatas Rp. 700.000/m², rekomendasi juga berlanjut di tahun 2034 dengan perhitungan yang sama, UMR di Kabupten Mojokerto di prediksi senilai Rp7.191.969, sehingga nilai ekonomi naik sekitar 60%, sehingga didapatkan maksimal pengajuan KPR adalah Rp 360.000.000 dengan pedoman yang sama dan koefesien harga biaya bangun rumah naik sekitar 55%, maka Rp 380.000.000 – Rp 297.600.000 =Rp 82.400.00, sehingga dengan luas tanah 72 m², sehingga harga tanah maksimal adalah Rp 1.100.000/m², berikut merupakan peta rekomendasi di tahun 2034.



Sumber : Penyusun, 2025

Gambar 4.12 Peta Rekomenadasi Tahun 2034

Kriteria “Direkomendasikan” dan “Tidak di Rekomendasikan” adalah memelalui proses *overlay* dari peta kriteria jangkauan dan maksimal harga tanah yang mampu di beli oleh MBR berdasarkan analisis, untuk yang direkomendasikan adalah dengan kriteria jarak “Baik” dan “Cukup Baik”, dan Harga Tanah dibawah Rp. 1.100.000/m², dan untuk yang tidak direkomendasikan adalah jangkauan dengan kriteria “Buruk”, “Sangat Buruk”, dan “Tidak di Rekomendasikan”, dan juga harga tanah yang diatas Rp. 1.100.000/m², berikut merupakan peta *overlay* peta rekomendasi berdasarkan penambahan hasil prediksi permukiman.



Sumber : Penyusun,2025

Gambar 4.13 Peta Hasil Overlay Rekomendasi dan Perkembangan Permukiman 2034

Peta rekomendasi kawasan permukiman di gambar 4.13 merupakan hasil *overlay* antara rekomendasi kawasan permukiman di tahun 2034 dengan hasil penambahan permukiman di tahun 2034, dan berikut merupakan luas per klasifikasi rekomendasi tahun 2024 dan 2034.

Tabel 4.18 Luasan Rekomendasi

Tahun	Luas (Ha)		
	Di Rekomendasikan	Tidak di Rekomendasikan	Total
2024	29.642,90	68.782,97	98.425,9
2034	28.666,38	69.759,48	98.425,9
2034 Prediksi	277,96	891,04	1.169

Sumber : Penyusun, 2025

Tabel 4.13 menunjukkan bahwa di tahun 2024 luasan yang direkomendasikan seluas 269.642 ha di tahun 2034 menurun 10.000 ha di angka 28.666 ha, dan di tahun 2034 yang di *overlay* dengan hasil penambahan prediksi permukiman hanya seluas 278 ha dari penambahan 1.169 ha.