

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Wilayah Kota Kupang

Secara astronomis, Kota Kupang terletak antara 10°36'14" - 10°39'58" Lintang Selatan dan, 123°32'23" - 123°37'01" Bujur Timur. Luas wilayah Kota Kupang adalah 180,27 Km². Berdasarkan wilayahnya, batas-batas Kota Kupang adalah:

- Timur: Kecamatan Kupang Tengah dan Taebenu Kabupaten Kupang
- Barat: Kecamatan Kupang Barat dan Selatan Kota Kupang
- Utara: Teluk Kupang
- Selatan: Kecamatan Kupang Barat dan Nekamese

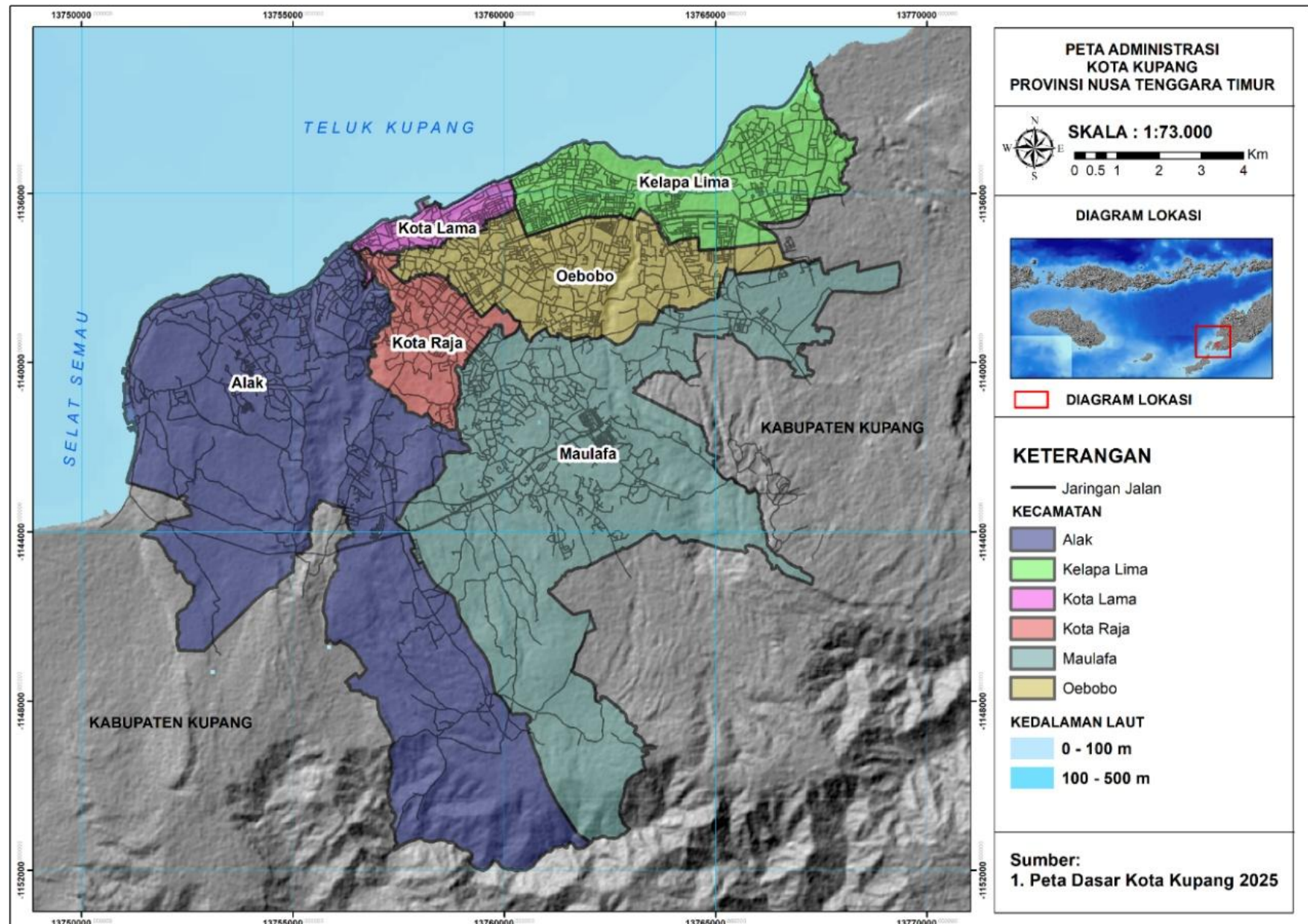
Kota Kupang terdiri dari 6 kecamatan dan 51 kelurahan. Secara rinci luas wilayah daratan menurut kecamatan adalah sebagai berikut:

Tabel 4 1 Luas Wilayah dan Persentase menurut Kecamatan di Kota Kupang

No	Kecamatan	Ibu Kota Kecamatan	Jumlah Kelurahan	Luas Wilayah (Km ²)	Persentase (%)
1	Alak	Penkase Oeleta	12	86,91	48,21
2	Maulafa	Maulafa	9	54,80	30,40
3	Oebobo	Oebobo	7	14,22	7,88
4	Kota Raja	Kota Raja	8	6,10	3,38
5	Kelapa Lima	Kelapa Lima	5	15,02	8,33
6	Kota Lama	Kota Lama	10	3,22	1,80
Total	Kota Kupang		51	180,27	100,00

Sumber: Kota Kupang dalam Angka 2024

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa kecamatan terluas adalah kecamatan Alak, diikuti oleh kecamatan Maulafa, dan tersempit adalah wilayah kecamatan Kota Lama. Kecamatan Alak dan Maulafa merupakan wilayah terluas, dan Kecamatan Alak juga memiliki jumlah kelurahan yang lebih banyak dibandingkan dengan wilayah lainnya. Secara garis besar, gambaran wilayah administrasi Kota Kupang dapat dilihat pada peta administrasi Kota Kupang berikut.



Peta 4 1 Batas Administrasi Kota Kupang

Berikut adalah paparan kondisi umum wilayah Kota Kupang secara fisik, sosial ekonomi, dan kebencanaan.

4.1.1 Fisik Dasar

4.1.1.1 Topografi

Secara umum, wilayah Kota Kupang berada pada kawasan dengan karakteristik topografi bergelombang hingga berbukit rendah, dengan ketinggian bervariasi antara 0 hingga sekitar 255 meter di atas permukaan laut (m dpl). Berdasarkan peta topografi, morfologi wilayah Kota Kupang memperlihatkan perbedaan yang cukup jelas antara bagian utara yang relatif datar dan bagian selatan yang lebih tinggi dan bergelombang.

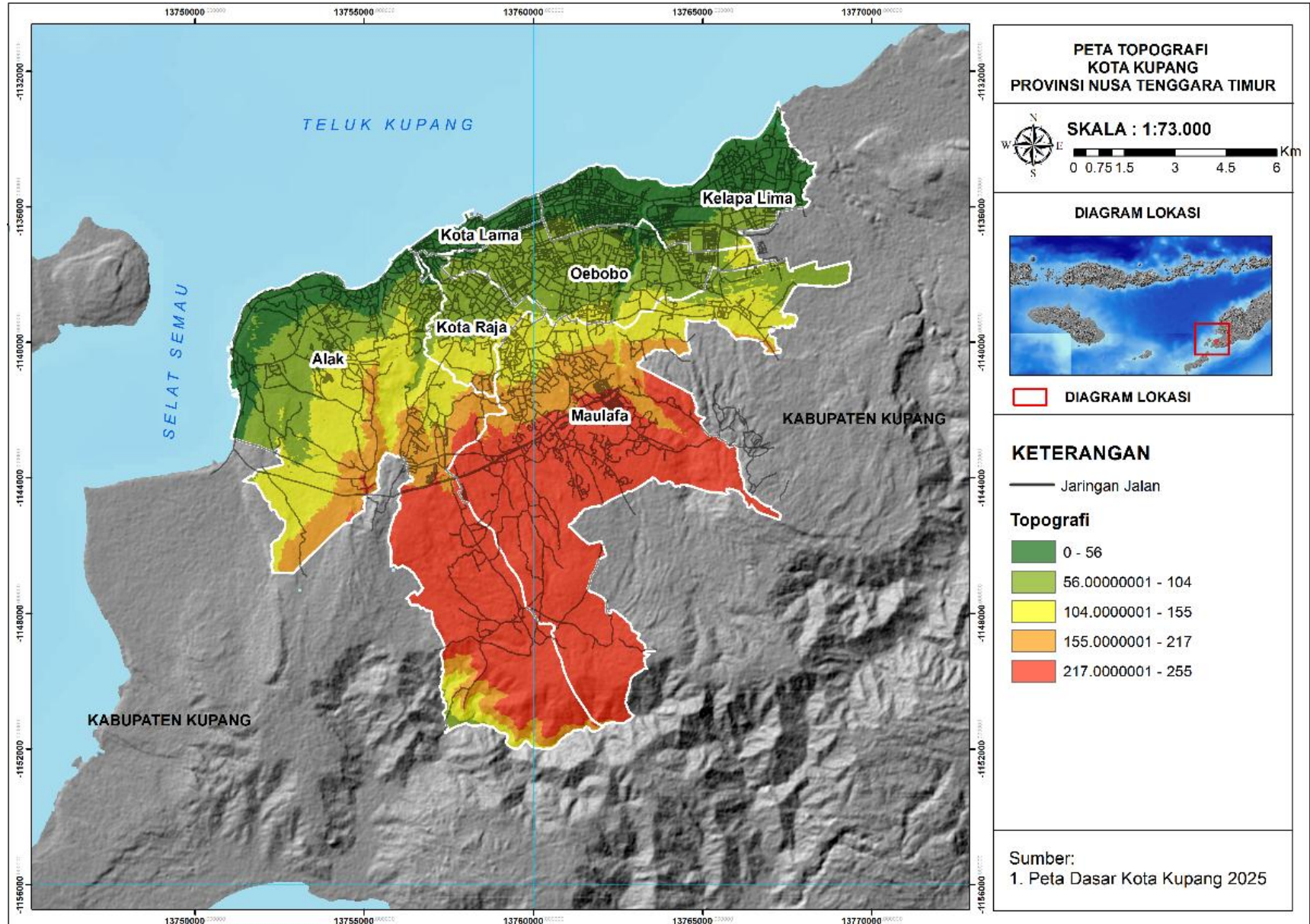
Wilayah dataran rendah dengan elevasi antara 0–56 m dpl mendominasi area pesisir utara dan barat, yang meliputi Kecamatan Kelapa Lima, Kota Lama, Kota Raja, serta sebagian Alak. Daerah ini umumnya merupakan wilayah perkotaan padat penduduk dan pusat kegiatan ekonomi serta pemerintahan, karena kondisi topografinya yang landai dan aksesibilitas yang baik terhadap pesisir Teluk Kupang.

Zona dengan ketinggian menengah (56–155 m dpl) tersebar di bagian tengah Kota Kupang, meliputi sebagian wilayah Oebobo dan Kota Raja. Area ini memperlihatkan kontur yang mulai bergelombang dan berfungsi sebagai peralihan antara dataran rendah di utara dengan perbukitan di bagian selatan. Wilayah ini juga menjadi area permukiman yang berkembang pesat karena memiliki risiko banjir yang lebih rendah dibandingkan daerah pesisir.

Sementara itu, bagian selatan Kota Kupang, terutama di wilayah Kecamatan Maulafa, merupakan area dengan ketinggian antara 155–255 m dpl, yang termasuk kategori perbukitan. Kawasan ini memiliki lereng yang lebih curam dan merupakan daerah tangkapan air (catchment area) penting bagi wilayah sekitarnya. Topografi yang relatif tinggi ini menyebabkan suhu udara di wilayah selatan cenderung lebih sejuk dibandingkan daerah pesisir utara.

Dengan demikian, berdasarkan kondisi topografinya, Kota Kupang dapat dibedakan menjadi dua zona utama, yaitu zona dataran rendah di bagian utara dan barat dengan ketinggian hingga 100 m dpl, serta zona perbukitan dan bergelombang di bagian tengah hingga selatan dengan ketinggian di atas 100 m dpl. Variasi ketinggian ini memengaruhi pola penggunaan lahan, arah perkembangan permukiman, serta potensi terhadap bencana seperti banjir di wilayah rendah dan erosi di wilayah perbukitan.

Secara umum, kemiringan lereng di Kota Kupang berada pada kisaran 0–15%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah kota memiliki kondisi datar hingga bergelombang. Berdasarkan peta kelerengan, daerah dengan lereng 0–8% tersebar di sepanjang pesisir barat dan utara, meliputi wilayah Kelapa Lima, Kota Lama, dan sebagian Alak, yang merupakan kawasan pusat aktivitas perkotaan. Lereng dengan kemiringan 9–15% terdapat di bagian tengah kota, terutama di wilayah Oebobo dan Kota Raja, sebagai zona transisi antara dataran rendah dan perbukitan. Sementara itu, daerah dengan kemiringan lebih dari 15% hingga >40% umumnya berada di bagian selatan Kota Kupang, khususnya di Kecamatan Maulafa, yang memiliki bentuk lahan perbukitan dan berfungsi sebagai kawasan konservasi serta daerah tangkapan air.



Peta 4 2 Topografi Kota Kupang

4.1.1.2 Klimatologi

Pada hakikat penelusuran terhadap kondisi iklim dapat dicermati berdasarkan beberapa indikator antara lain curah hujan, kelembaban udara dan suhu. Iklim di Kota Kupang tidak berbeda dengan bagian wilayah lain di daratan Timor, yaitu hanya dua musim yaitu musim hujan dan kemarau. Musim hujan berlangsung singkat yang umumnya terjadi antara bulan November/Desember sampai dengan Maret/ April. Dan sisanya adalah musim kemarau. Hujan yang turun di Kota Kupang sangat dideterminasi oleh angin monsoon yang bertiup dari Australia, di mana pada saat tersebut membawa banyak uap air sehingga menimbulkan presipitasi dan jatuh sebagai hujan di Kota Kupang.

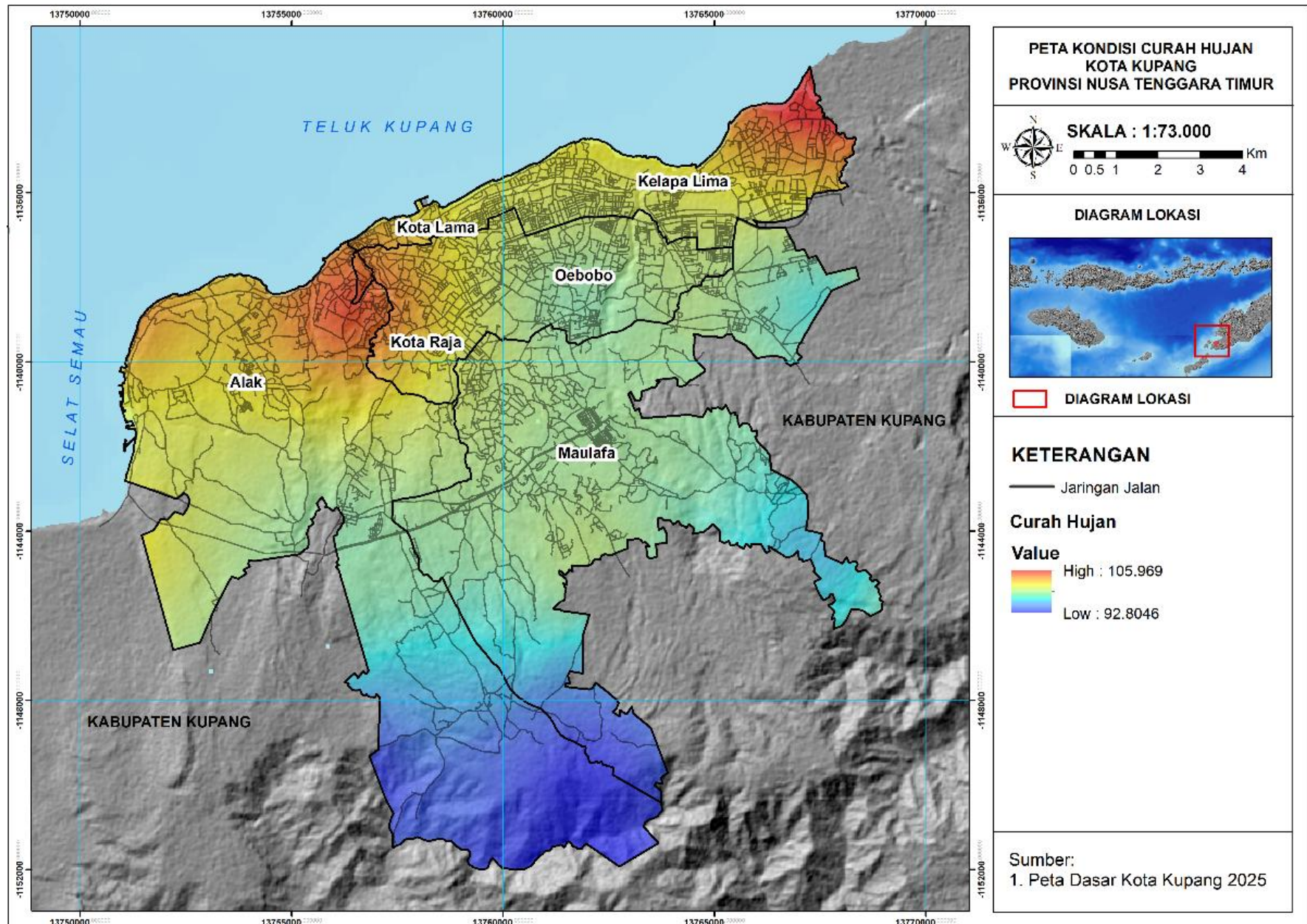
Tabel 4 2 Rata-Rata Curah Hujan Bulanan di Kota Kupang (mm)
Periode 2015–2025

Bulan	Bakunase	Mapoli	Naioni	Oepoi	Staklim Lasiana	Stamet Eltari
Januari	382	387	485	364	439	446
Februari	297	309	344	187	289	311
Maret	291	288	339	118	232	257
April	97	124	180	96	130	131
Mei	30	43	63	20	27	29
Juni	9	5	20	2	7	8
Juli	6	0	15	3	4	5
Agustus	0	1	4	1	1	1
September	2	9	16	8	1	4
Oktober	27	29	31	48	22	36
November	82	79	117	78	87	127
Desember	246	247	334	189	224	259
CH Tahunan (mm)	1.469	1.521	1.948	1.114	1.463	1.614

Sumber: Stasiun BMKG Lasiana Kupang, 2015-2025.

Keterangan Klasifikasi Hujan Berdasarkan Kategori Mohr:

1. Warna biru = bulan basah ($CH > 100$ mm)
2. Warna kuning = bulan lembab ($60 < CH < 100$ mm)
3. Warna Merah = bulan kering ($CH < 60$ mm)



Peta 43 Kondisi Curah Hujan Kota Kupang

Hasil analisis dari data time-series curah hujan yang bersumber dari beberapa pos pengamatan hujan di wilayah Kota Kupang, yaitu Stasiun Bakunase, Mapoli, Naioni, Oepoi, Staklim Lasiana, dan Stamet Eltari, menunjukkan bahwa rata-rata curah hujan tahunan (annual rainfall) di Kota Kupang relatif tidak jauh berbeda antartasiun, berkisar antara 1.114 mm hingga 1.948 mm per tahun. Berdasarkan Peta Kondisi Curah Hujan Kota Kupang, terlihat adanya variasi spasial yang cukup jelas, di mana wilayah bagian utara seperti Kelapa Lima, Kota Lama, dan sebagian Kota Raja menunjukkan intensitas curah hujan lebih tinggi dibandingkan bagian selatan seperti Maulafa dan perbatasan dengan Kabupaten Kupang, yang memiliki curah hujan lebih rendah.

Jika ditinjau berdasarkan pola sebaran bulanan, hasil pengelompokan curah hujan dengan menggunakan klasifikasi Mohr (1951) menunjukkan bahwa Kota Kupang memiliki bulan basah (curah hujan >100 mm/bulan) selama 5 bulan, yaitu dari Desember hingga April, sedangkan bulan kering (curah hujan <60 mm/bulan) berlangsung selama 7 bulan, yaitu dari Mei hingga November. Pola ini mencerminkan karakteristik iklim monsun tropis yang kuat, di mana curah hujan tinggi terjadi pada periode angin barat dan sebaliknya sangat rendah pada periode angin timur.

Dari hasil pemodelan neraca air, diperoleh bahwa periode surplus air ($P > ETP$) di Kota Kupang hanya terjadi selama 4 bulan, yaitu antara Desember hingga Maret, sedangkan periode defisit air ($P < ETP$) berlangsung selama 8 bulan (April–November). Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Kota Kupang mengalami kekurangan air permukaan hampir sepanjang tahun, terutama pada musim kemarau yang panjang.

Secara spasial, peta curah hujan memperlihatkan gradasi curah hujan menurun dari utara ke selatan, yang sejalan dengan pengaruh topografi dan arah angin dominan. Daerah pesisir utara seperti Kelapa Lima, Kota Lama, dan Alak menerima curah hujan tahunan lebih tinggi (mencapai ± 1.800 – 1.900 mm/tahun), sedangkan bagian selatan seperti Maulafa hanya menerima curah hujan sekitar ± 1.100 – 1.200 mm/tahun. Perbedaan ini berdampak signifikan terhadap pola aliran sungai (DAS), ketersediaan air tanah, serta pengelolaan sumber daya air, khususnya dalam mendukung ketahanan air dan pertanian di wilayah selatan kota yang cenderung lebih kering.

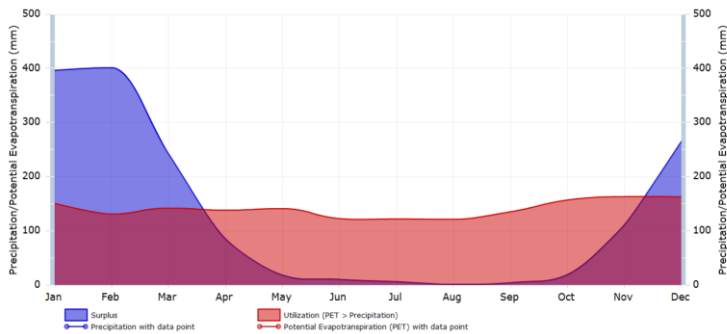
**Tabel 4 3 Kandungan Air Tanah Bulanan (mm/bulan)
di Kota Kupang**

Bulan	Mean Monthly Precipitation (mm)	Mean Monthly Air Temperature (°C)	Model d Estimate of Monthly Total PET (mm)	Model d Estimate of Monthly Total Water Balance (mm)	Keterangan
Januari	396	27.3	150.7	245.3	S
Februari	401	26.9	131.0	270.1	S
Maret	242	26.9	141.8	100.3	S
April	85	27.4	138.1	-53.1	D
Mei	18	27.2	140.9	-122.9	D
Juni	10	26.3	122.5	-115.9	D
Juli	6	26.0	121.9	-120.3	D
Agustus	1	26.0	121.3	-131.0	D
September	4	26.8	135.0	-137.7	D
Oktober	19	28.4	156.7	-52.2	D
November	111	29.0	163.2	-52.2	D
Desember	265	28.0	162.6	102.4	S
Rerata Tahunan	1.558	27.0	1.685,6	-127,5	

Sumber: Stasiun BMKG Lasiana Kupang

Keterangan:

- S = Surplus air ($P > ETP$)
- D = Defisit air ($P < ETP$)



Grafik 4.1 Model Neraca Air (Presipitasi dan ETP) di Kota Kupang

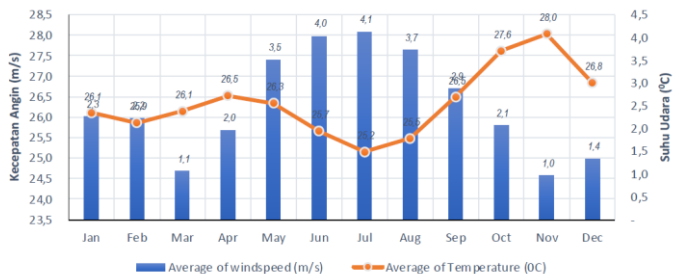
Sumber: Stasiun BMKG Lasiana Kupang

Grafik 4.1 memperlihatkan hasil pemodelan neraca air bulanan di Kota Kupang berdasarkan data time-series curah hujan (presipitasi) dan evapotranspirasi potensial (ETP) dari Stasiun BMKG Lasiana Kupang. Grafik menunjukkan adanya variasi yang sangat jelas antara periode surplus air ($P > ETP$) dan defisit air ($P < ETP$) sepanjang tahun. Berdasarkan hasil analisis, periode surplus air terjadi selama empat bulan, yaitu Desember hingga Maret, ditandai dengan tingginya curah hujan bulanan yang melampaui nilai ETP. Pada bulan-bulan ini, nilai curah hujan berada di atas 240–400 mm/bulan, sementara ETP berkisar antara 130–150 mm/bulan. Kondisi tersebut mengindikasikan tersedianya kelebihan air yang berpotensi meningkatkan pengisian air tanah serta kapasitas tampungan alami seperti embung dan sungai. Sebaliknya, mulai bulan April hingga November, Kota Kupang mengalami periode defisit air yang sangat panjang, ditandai dengan dominasi ETP di atas nilai presipitasi. Nilai ETP pada periode ini rata-rata berada di kisaran 135–165 mm/bulan, sedangkan presipitasi menurun drastis hingga di bawah 60 mm/bulan bahkan mencapai nilai minimum sekitar 1–10 mm pada bulan Agustus. Kondisi ini menunjukkan bahwa kebutuhan air untuk evapotranspirasi tidak terpenuhi oleh presipitasi, sehingga air tanah dan kelembapan tanah berkurang secara signifikan.

Pola neraca air tersebut menggambarkan bahwa iklim di Kota Kupang bersifat tropis kering dengan dominasi musim kemarau panjang, di mana defisit air terjadi hampir dua pertiga dari total bulan dalam setahun. Situasi ini berdampak langsung pada ketersediaan air permukaan

dan air tanah, serta menjadi tantangan dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya untuk irigasi dan kebutuhan domestik selama musim kemarau.

Secara spasial, periode surplus air yang singkat hanya mampu mengisi kembali cadangan air tanah dangkal dan embung, sedangkan periode defisit yang panjang berpotensi menurunkan debit sungai dan menimbulkan kekeringan pada wilayah selatan seperti Kecamatan Maulafa dan sekitarnya. Oleh karena itu, hasil model neraca air ini mempertegas pentingnya pengelolaan konservasi air hujan dan peningkatan kapasitas tampungan buatan guna menjaga keseimbangan kebutuhan air tahunan di Kota Kupang.

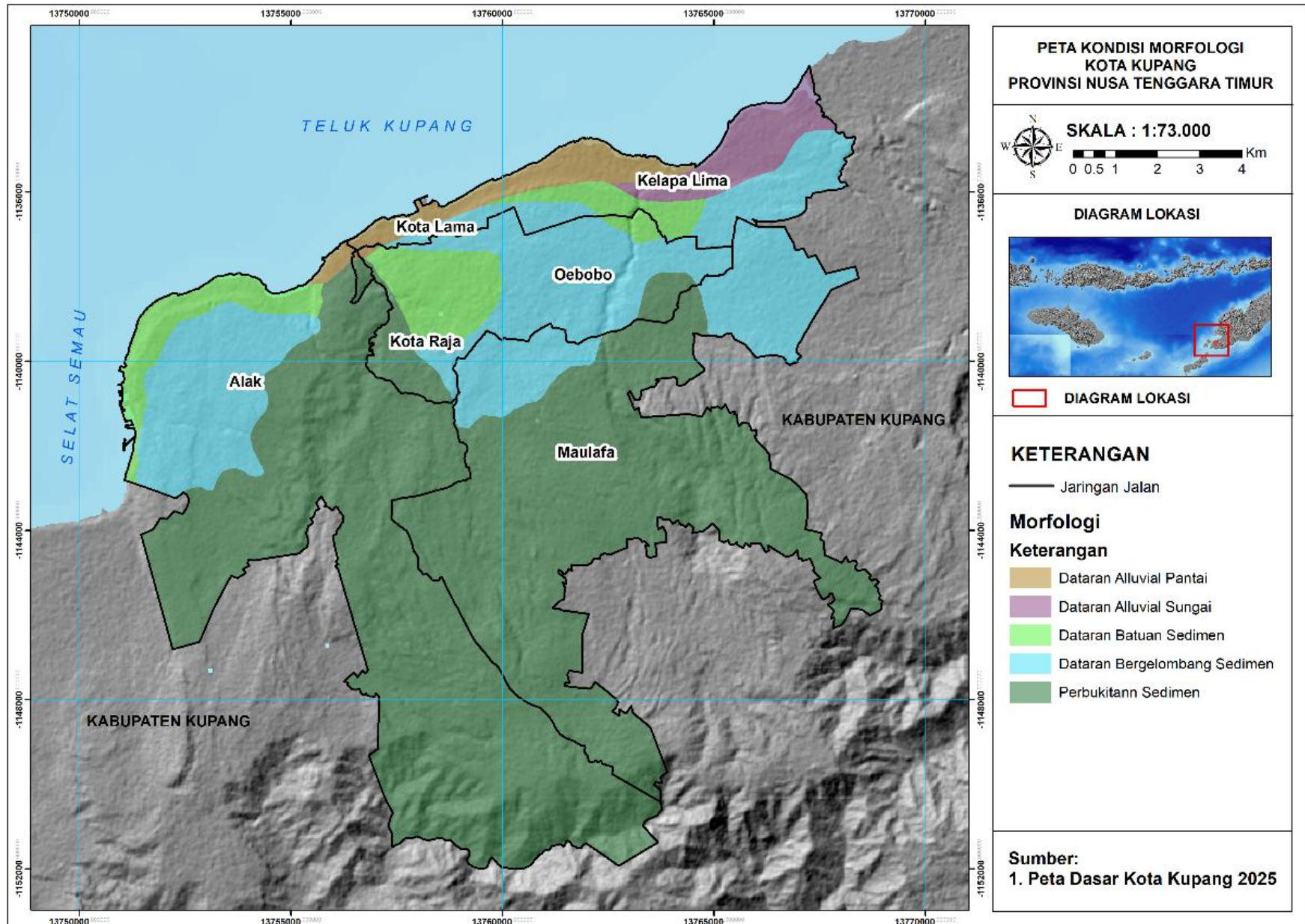


Grafik 4 2 Kecepatan Angin & Suhu Udara di Kota Kupang

Sumber: Stasiun BMKG Lasiana Kupang

4.1.1.3 Morfologi

Morfologi merupakan cabang ilmu geografi fisik yang mempelajari bentuk permukaan bumi beserta proses pembentukannya, baik yang disebabkan oleh faktor internal (seperti aktivitas tektonik dan vulkanik) maupun faktor eksternal (seperti erosi, sedimentasi, dan pelapukan). Secara umum, morfologi menggambarkan variasi bentuk lahan dari dataran rendah hingga daerah perbukitan atau pegunungan, serta mencerminkan kondisi geologi, kemiringan lereng, dan dinamika proses alam yang berlangsung di suatu wilayah. Pemahaman terhadap kondisi morfologi sangat penting dalam perencanaan tata ruang, analisis potensi lahan, serta mitigasi bencana alam, karena bentuk lahan berpengaruh langsung terhadap pola aliran air, kesuburan tanah, dan stabilitas wilayah.



Peta 4 4 Kondisi Morfologi Kota Kupang

Berdasarkan Peta Kondisi Morfologi Kota Kupang, wilayah Kota Kupang terbagi menjadi lima satuan bentuk lahan utama, yaitu dataran alluvial pantai, dataran alluvial sungai, dataran batuan sedimen, dataran bergelombang sedimen, dan perbukitan sedimen. Secara umum, morfologi Kota Kupang menunjukkan gradasi dari utara ke selatan, di mana bagian utara didominasi dataran rendah yang landai dan bagian selatan berupa perbukitan dengan topografi lebih curam.

Bagian utara Kota Kupang, yang meliputi sebagian besar Kecamatan Kelapa Lima dan Kecamatan Kota Lama, didominasi oleh dataran alluvial pantai. Wilayah ini terbentuk akibat proses sedimentasi material halus dari laut di sekitar Teluk Kupang dan memiliki kemiringan lereng rendah. Morfologi dataran pantai ini menjadikannya kawasan padat penduduk serta pusat kegiatan ekonomi dan pemerintahan kota, meskipun rentan terhadap genangan air dan abrasi. Di sisi timur laut Kelapa Lima juga terdapat dataran alluvial sungai, hasil endapan aliran sungai-sungai kecil yang bermuara ke Teluk Kupang, dengan kondisi tanah relatif subur dan potensial untuk kegiatan pertanian serta permukiman.

Bagian tengah Kota Kupang, yang meliputi Kecamatan Kota Raja dan Oebobo, didominasi oleh dataran batuan sedimen dan dataran bergelombang sedimen. Wilayah ini memiliki kemiringan sedang dengan kontur lahan bergelombang dan tersusun atas batuan sedimen berumur Tersier. Kondisi ini menjadikan wilayah tengah kota relatif stabil untuk pembangunan permukiman dan infrastruktur, namun tetap perlu memperhatikan risiko erosi pada lereng-lereng terbuka. Kecamatan Oebobo secara khusus memiliki morfologi transisi dari dataran rendah menuju perbukitan, yang membuat wilayah ini berkembang pesat sebagai kawasan permukiman menengah hingga padat.

Sementara itu, bagian selatan Kota Kupang, yang mencakup sebagian besar Kecamatan Maulafa dan area selatan Kecamatan Alak, didominasi oleh perbukitan sedimen. Bentuk lahan di wilayah ini curam hingga sangat curam, dengan litologi berupa batuan sedimen keras dan drainase cepat. Morfologi perbukitan ini memiliki fungsi ekologis penting sebagai daerah resapan air dan penyedia ruang hijau alami kota. Namun, kondisi topografi yang menanjak menyebabkan wilayah ini kurang sesuai untuk permukiman padat dan memerlukan pengelolaan tata guna lahan yang hati-hati untuk menghindari potensi longsor.

Secara keseluruhan, kondisi morfologi Kota Kupang menunjukkan keterkaitan erat antara bentuk lahan, penggunaan ruang, dan pola perkembangan wilayah. Dataran rendah di utara berperan sebagai pusat aktivitas ekonomi, sementara daerah bergelombang dan perbukitan di tengah hingga selatan berfungsi sebagai area penyangga lingkungan dan pengendali tata air. Pemahaman terhadap karakteristik

morfologi ini menjadi dasar penting dalam mendukung perencanaan pembangunan berkelanjutan dan mitigasi bencana di Kota Kupang.

4.1.1.4 Hidrologi

Wilayah Kota Kupang merupakan daerah yang kering dimana pada musim kemarau mengalami krisis air bersih. Kota Kupang hanya dilalui oleh beberapa aliran sungai yang pada musim hujan baru tampak aliran airnya yaitu:

- a) Kali Dendeng yang bermuara di Pantai Lai Lai Bisi Kopan/LLBK;
- b) Kali Liliba yang bermuara di Pantai Oesapa, dan
- c) Kali Merdeka yang bermuara di pantai Oeba.

Di samping sungai-sungai besar ini terdapat beberapa sungai kecil seperti: Sungai Sefbano, Sungai Oesapa Kecil, Sungai Pasir Panjang, Sungai Nunbaun Delha, dan Sungai Namosain. Sungai-sungai ini hanya berair pada saat hujan dan beberapa saat setelah hujan berhenti dan hanya Sungai Merdeka dan Sungai Oesapa Kecil yang dapat bertahan mengalir hingga pada saat memasuki musim kemarau. Sebagaimana yang dapat terlihat pada tabel di bawah ini yang memperlihatkan perbedaan debit pada beberapa mata air di Kota Kupang yang menunjukkan bahwa pada saat musim kemarau sebagian besar mata air di Kota Kupang dapat berkurang mencapai lebih dari 70% jika dibandingkan debit air pada saat musim hujan.

Tabel 4 4 Debit Mata Air di Kota Kupang pada Musim Hujan dan Musim Kemarau

No	Mata Air	Debit Musim Hujan (l/dtk)	Debit Musim Kemarau (l/dtk)	Penurunan Debit Saat Kemarau (%)
1	Oepura	118.00	25.00	-78.81
2	Kolhua	35.50	15.00	-57.75
3	Haukoto	17.80	1.00	-94.38
4	Oetona	4.22	4.00	-5.21
5	Kali Fatukoa	12.02	1.00	-91.68
6	Air Lobang	2.80	1.50	-46.43
7	Dendeng	20.30	10.00	-50.74
8	Amnesi	120.50	20.00	-83.40
9	Labat	323.00	20.00	-93.81
10	Airnona	110.00	10.00	-90.91

No	Mata Air	Debit Musim Hujan (l/dtk)	Debit Musim Kemarau (l/dtk)	Penurunan Debit Saat Kemarau (%)
11	Sagu II	174.88	35.00	-79.99
12	Sagu I	150.00	30.00	-80.00
13	Oeba	261.00	40.00	-84.67

Ditilik dari sebaran Daerah Aliran Sungai (DAS), wilayah Kota Kupang memiliki sistem hidrologi yang cukup kompleks dengan sejumlah aliran sungai yang bermuara langsung ke Teluk Kupang dan Selat Semau. Berdasarkan peta DAS Kota Kupang, terdapat 13 DAS yang memengaruhi dinamika hidrologi di wilayah ini. Dari jumlah tersebut, 5 DAS merupakan DAS yang seluruh wilayahnya (100%) berada di dalam batas administrasi Kota Kupang, yaitu DAS Rokoko, DAS Oebobo, DAS Noel Tuai, DAS Noel Nunbaun 1, DAS Osmo Batugang, dan DAS Osmo. Keenam DAS ini berperan penting dalam menjaga keseimbangan tata air lokal serta menjadi sumber utama air permukaan di sekitar pusat kota.

Sementara itu, terdapat 7 DAS lainnya yang bersifat lintas wilayah administrasi antara Kota Kupang dan Kabupaten Kupang, yaitu DAS Kupang, DAS Mafaoti, DAS Oebobo–Liliba, DAS Alak, DAS Meto Batulesa, dan DAS Matani. DAS lintas wilayah ini memiliki kontribusi besar terhadap pasokan air bagi masyarakat Kota Kupang, namun juga menghadirkan tantangan dalam pengelolaan sumber daya air karena keterkaitan antarwilayah administrasi. Berdasarkan posisi topografis dan arah aliran sungai, sebagian besar DAS di Kota Kupang memiliki hulu di wilayah Kabupaten Kupang dan hilir di wilayah administrasi Kota Kupang, sehingga kota ini berperan sebagai daerah penerima aliran (downstream area) dari daerah sekitarnya.

Apabila ditinjau dari posisi DAS terhadap batas wilayah administrasi, DAS Meto Batulesa merupakan satu-satunya DAS yang memiliki hulu di Kota Kupang dan hilir di Desa Sumlili – Kabupaten Kupang, sehingga menjadi pengecualian dari pola umum arah aliran. Sebaliknya, 12 DAS lainnya memiliki hilir di dalam wilayah Kota Kupang, terutama di sepanjang garis pantai utara yang bermuara ke Teluk Kupang. Pola ini menunjukkan bahwa Kota Kupang berperan penting sebagai daerah penampung utama limpasan air permukaan dari kawasan perbukitan dan dataran tinggi di Kabupaten Kupang bagian selatan dan timur.

Jika dilihat berdasarkan hasil delineasi pada peta, DAS Kolono Bolok mendominasi wilayah barat Kota Kupang, mencakup Kecamatan Alak dan sebagian Kota Raja. DAS Kupang membentang di bagian

tengah kota, meliputi sebagian wilayah Kota Raja, Oebobo, dan Maulafa, sedangkan DAS Batulesa berada di bagian selatan dengan karakter morfologi bergelombang hingga berbukit. Di sisi lain, DAS Oesapa dan DAS Belo mencakup wilayah timur Kota Kupang, khususnya di sekitar Kelapa Lima dan perbatasan Kabupaten Kupang. Pembagian ini menggambarkan bahwa sistem DAS di Kota Kupang tidak hanya berfungsi sebagai komponen ekologis, tetapi juga sebagai faktor penentu dalam pengelolaan sumber daya air, tata guna lahan, serta mitigasi banjir dan kekeringan musiman.

Tabel 4 5 Sebaran Daerah Aliran Sungai di Kota Kupang

No	Nama DAS	Total Luas DAS (ha)	Luas DAS dalam Kota Kupang (ha)	% Luas DAS dalam Kota Kupang	Wilayah Administrasi yang Tercakup	Keterangan Utama
1	Kolono Bolok	3.621.6	119.7	3	Kecamatan Alak, sebagian Kota Raja	DAS pesisir barat; bermuara ke Selat Semau; karakter sedimen pantai dan bergelombang.
2	Kupang	4.555	4.245.7	93%	Kota Raja, Oebobo, Maulafa	DAS utama di pusat kota; hulu di Maulafa dan hilir di Teluk Kupang.
3	Batulesa	6.600	1.950	30%	Maulafa bagian selatan	DAS lintas wilayah; hulu di Kota Kupang dan hilir di Desa Sumlili (Kab. Kupang).
4	Oesapa	2.000	1.700	85%	Oebobo bagian timur, Kelapa Lima	DAS pantai timur; bermuara langsung ke Teluk Kupang;

No	Nama DAS	Total Luas DAS (ha)	Luas DAS dalam Kota Kupang (ha)	% Luas DAS dalam Kota Kupang	Wilayah Administratif yang Tercakup	Keterangan Utama
						aliran relatif pendek.
5	Belo	4.700	1.500	32%	Kelapa Lima bagian timur	DAS timur laut; bagian hulu berada di Kab. Kupang; wilayah dataran tinggi hingga pantai.

Sumber: Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Kupang, 2023.

Fenomena yang muncul pada saat musim penghujan, *runoff* (aliran permukaan atau limpasan air di permukaan) sering menjadi permasalahan yang pada gilirannya menimbulkan banjir, termasuk air hujan yang turun terbuang begitu saja. Untuk mengatasinya maka telah terbangun sejumlah embung, yang pada hakikatnya memiliki manfaat, dalam hal ini sebagai wujud konservasi air, meningkatkan infiltrasi dan memanfaatkan air tersedia secara lebih optimal. Untuk itu telah terbangun sejumlah embung seperti tersaji pada **Tabel 4.6** Keberadaan embung yang ada diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat dan lingkungan sekitarnya, tidak saja sebagai solusi untuk pemenuhan kebutuhan air, akan tetapi juga dapat bermanfaat secara ekonomi dan lingkungan.

Tabel 4 6 Sebaran Embung di Kota Kupang

No	Nama Embung	Lokasi	Kapasitas (m ³)	Keterangan
1	Embung Beumoku	Kel. Lasiana	22.999,00	Berair
2	Embung Kuasaet	Kel. Naioni	21.427,00	Berair
3	Embung Oetalu	Kel. Naioni	18.976,00	Berair
4	Embung Nainuban	Kel. Naioni	20.568,00	Berair
5	Embung Naioni	Kel. Naioni	19.653,00	Berair
6	Embung Sokon	Kel. Naioni	24.974,00	Berair
7	Embung Fatukoa II	Kel. Fatukoa	21.859,00	Berair

No	Nama Embung	Lokasi	Kapasitas (m ³)	Keterangan
8	Embung Manulai II, 1	Kel. Manulai II	1.785,00	Berair
9	Embung Manulai II, 2	Kel. Manulai II	29.560,00	Berair
10	Embung Manulai II, 3	Kel. Manulai II	14.000,00	Berair
11	Embung Manulai II, 4	Kel. Manulai II	8.250,00	Berair
12	Embung Manulai II, 5	Kel. Manulai II	22.500,00	Berair
13	Embung Manulai II, 6	Kel. Manulai II	10.400,00	Berair
14	Embung Manulai II, 7	Kel. Manulai II	8.800,00	Berair
15	Embung Manulai II, 8	Kel. Manulai II	11.700,00	Berair
16	Embung Manulai II, 9	Kel. Manulai II	4.800,00	Berair
17	Embung Manutapen 1	Kel. Manutapen	7.200,00	Berair
18	Embung Manutapen 2	Kel. Manutapen	16.800,00	Berair
19	Embung Manutapen 3	Kel. Manutapen	13.200,00	Berair
20	Embung Manutapen 4	Kel. Manutapen	3.750,00	Berair
21	Embung Manutapen 5	Kel. Manutapen	12.600,00	Berair
22	Embung Nunbaun Delha	Kel. Nunbaun Delha	33.000,00	Berair
23	Embung Nenomeza	Kel. Penkase Oeleta	26.780,00	Berair
24	Embung Oelnaenasi	Kel. Penkase Oeleta	22.999,00	Berair
25	Embung Alak I	Kel. Penkase Oeleta	19.609,00	Berair
26	Embung Sonaf	Kel. Penkase Oeleta	18.209,00	Berair
27	Embung Oelnaidale	Kel. Penkase Oeleta	22.760,00	Berair
28	Embung Nunusae	Kel. Penkase Oeleta	21.850,00	Berair
29	Embung Kuakali	Kel. Penkase Oeleta	26.680,00	Berair

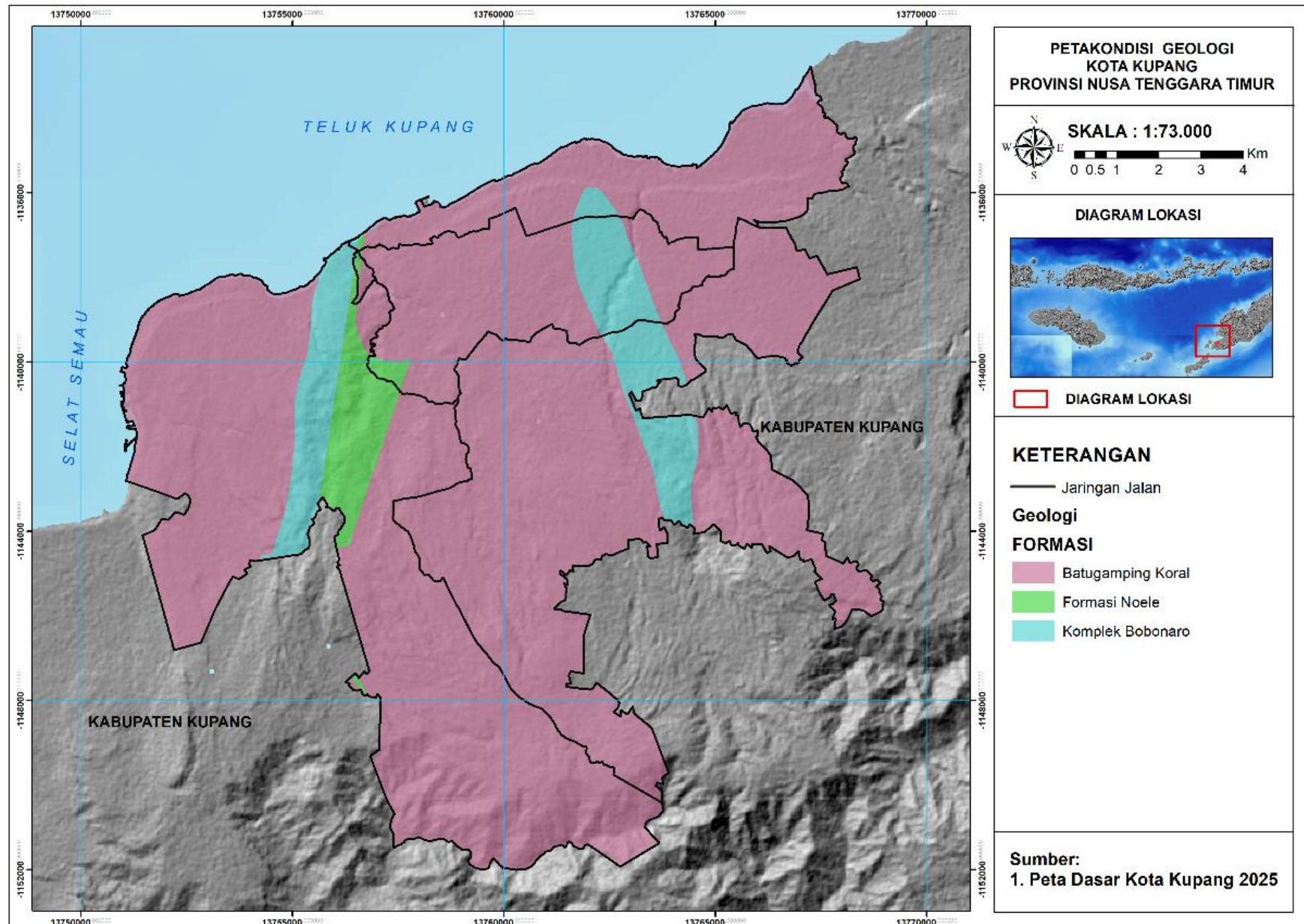
No	Nama Embung	Lokasi	Kapasitas (m ³)	Keterangan
30	Embung Oekolo	Kel. Penkase Oeleta	45.242,00	Berair
31	Embung Oekolo Kecil	Kel. Penkase Oeleta	9.250,00	Berair
32	Embung Nononesnam	Kel. Penkase Oeleta	35.017,00	Berair
33	Embung Fatunaek	Kel. Penkase Oeleta	19.889,00	Berair
	Total Kapasitas		671.086,00	

Sumber: Dinas PUPR Kota Kupang, Tahun 2017

4.1.1.5 Geologi

Tanah di wilayah Kota Kupang secara umum terbentuk dari bahan karst dan bahan non vulkanis. Hal tersebut ditunjukkan oleh terdapatnya bahan-bahan mediteran/rencina/litosol hampir di seluruh wilayah kecamatan di Kota Kupang. Berdasarkan struktur dan karakteristik geologi pada sebaran tanah di Kota Kupang, pada hakikatnya berupa struktur kekar, lipatan dan sesar mikro. Struktur kekar dijumpai pada batu gamping koral, sedangkan lipatan dijumpai di wilayah Bakunase dengan poros Utara-Selatan. Sesar mikro dijumpai pada daerah yang tersusun dari batu lempung formasi bobonaro.

Daerah pedataran aluvial sungai (sungai-sungai Matahitu, Tilog dan Nunkurus) diperkirakan merupakan daerah depresi akibat dari pengaruh sesar normal (barat ke timur). Daerah depresi tersebut dilalui oleh sesar mendatar (*dextral*) dengan arah barat-timur, jalurnya memanjang dari wilayah sebelah timur, melalui daerah Pulukayu/Tuakpukan - Manikin/Nunsui hingga Tanjung Oesapa dan wilayah pantai Kota Kupang. Kondisi ini mengakibatkan daerah pedataran aluvial sungai tersebut semakin tidak stabil, terlebih lagi apabila sesar normal dan sesar mendatar (*dextral*) tersebut merupakan sesar aktif yang memungkinkan terakumulasinya pusat-pusat gempa. Demikian juga sesar mendatar (*sinistral*) yang melalui daerah Oematanunu-Kota Kupang (berarah hampir utara-selatan) yang mengakibatkan adanya daerah depresi di sekitar pedataran Batulesa (Sungai Batulesa). Ini juga telah mengakibatkan adanya pola-pola sesar tersebut yang diperkirakan telah memicu terjadinya erosi maupun gerakan tanah. Sedangkan keberadaan sesar mendatar (*sinistral*) di daerah Baun diperkirakan dapat memicu terjadinya erosi dan gerakan tanah yang mengarah sampai ke Kota Kupang.



Peta 4 5 Kondisi Geologi Kota Kupang

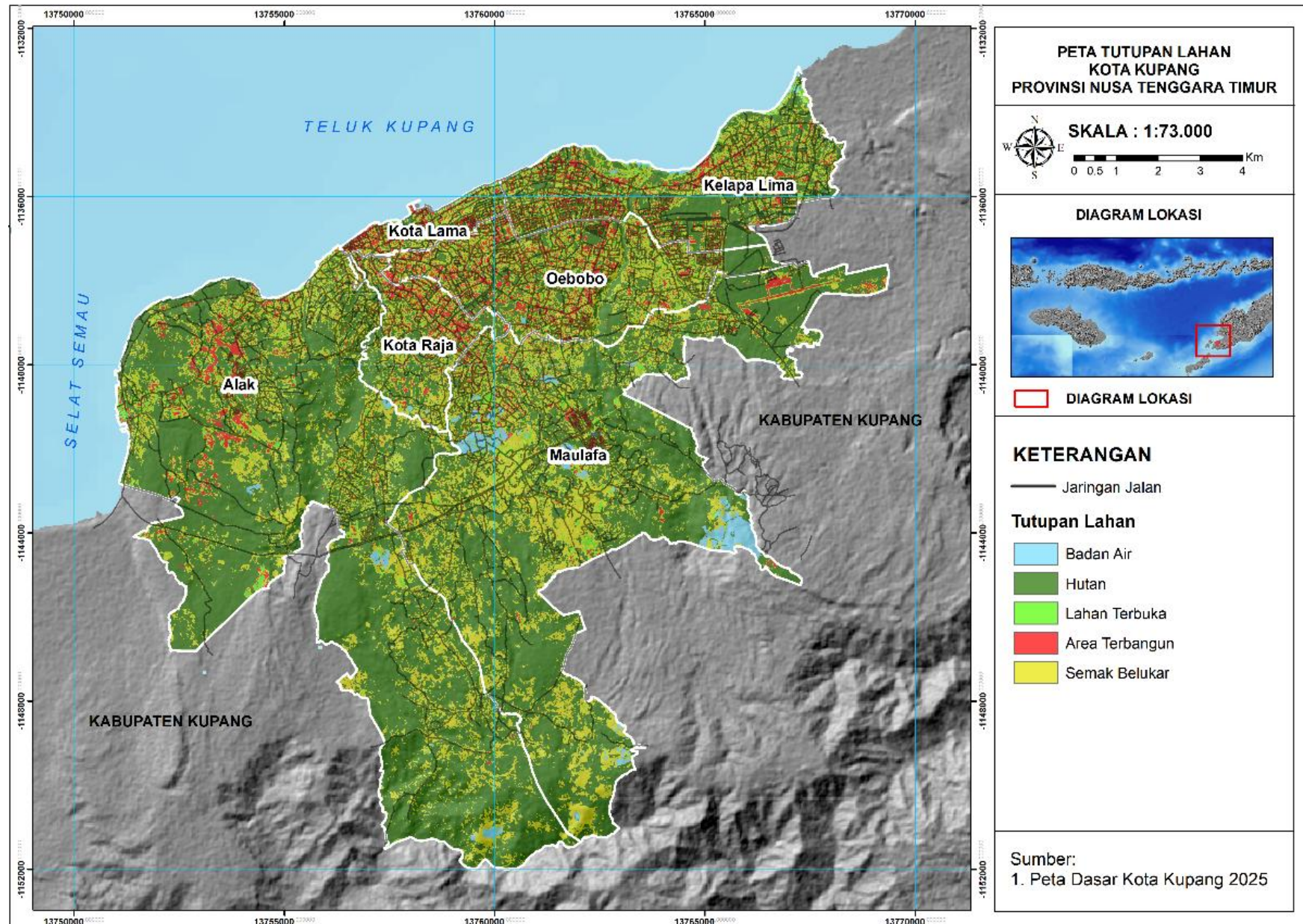
Sebaran batuan penyusun tanah di wilayah Kota Kupang terbagi ke dalam formasi yang berumur lebih tua dan satuan batuan yang berumur lebih muda, yaitu : a) Formasi Bobonaro, yang terdapat di kawasan sekitar Kelurahan Manutapen dan di sepanjang Sungai Liliba di daerah Kolhwa; b) Formasi Noele, ditemukan di Kelurahan Manutapen dan Oebufu dengan penyebaran yang sempit. Satuan ini rentan terhadap erosi dan longsoran karena bagian bawah satuan ini adalah kompleks Bobonaro yang dapat berfungsi sebagai bidang gelincir seperti yang terjadi pada longsoran di Oebufu. Longsoran yang terjadi di Oebufu digolongkan dalam dua tipe, yaitu: tipe gerakan tanah jatuhnya dan rayapan. Lokasi ini pada relief yang miring landai-miring dapat dijadikan daerah perkebunan, sedangkan daerah dengan bentuk relief miring sedang-terjal dijadikan lahan konservasi dengan sistem terasering dengan sistem drainase yang dapat menyalurkan air; c) Batu gamping koral, satuan ini penyebarannya sangat luas yaitu menempati hampir 90% dari wilayah Kota Kupang, Satuan ini tersusun oleh lumpur, pasir, kerikil, kerakal hingga bongkah yang berasal dari batuan yang berasal hulunya yaitu batu gamping dan bongkah-bongkah asing dalam batu lempung. Lumpur dan pasir halus banyak terdapat di dataran banjir, sedangkan pada dataran aluvial umumnya terdiri atas pasir, kerikil, kerakal hingga bongkah dengan pengotoran oleh lumpur yang berasal dari batuan lempung Bobonaro.

4.1.1.6 Tutupan Lahan

Berdasarkan hasil analisis citra Sentinel-2 tahun 2025 menggunakan metode klasifikasi Random Forest di wilayah Kota Kupang, diperoleh lima kelas utama tutupan lahan yang menggambarkan kondisi penutup permukaan bumi di wilayah ini. Secara umum, Kota Kupang didominasi oleh tutupan vegetasi yang terdiri dari hutan dan semak belukar, terutama di wilayah selatan dan timur yang memiliki topografi perbukitan. Kelas hutan mencakup area dengan tutupan pepohonan lebat yang berfungsi sebagai kawasan resapan air, sedangkan semak belukar tersebar di wilayah transisi antara lahan hutan dan kawasan terbangun.

Selain itu, terdapat area lahan terbuka yang merupakan lahan tanpa penutupan vegetasi signifikan dan seringkali berhubungan dengan aktivitas manusia seperti area pembangunan baru atau lahan kering musiman. Kelas area terbangun terkonsentrasi di bagian utara dan barat, terutama di Kecamatan Kelapa Lima, Kota Lama, Oebobo, dan Alak, yang merupakan pusat aktivitas perkotaan dan permukiman padat. Sementara itu, badan air mencakup wilayah pesisir serta beberapa embung dan sungai di bagian selatan dan tenggara Kota Kupang.

Sebaran kelima kelas tutupan lahan ini menunjukkan adanya kontras yang jelas antara wilayah pesisir utara yang lebih urban dan wilayah selatan yang lebih alami dan vegetatif, mencerminkan pola perkembangan kota yang mengikuti kondisi topografi dan ketersediaan lahan datar.

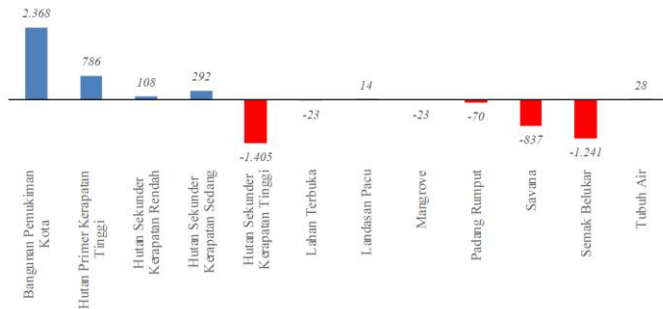


Peta 4 6 Tutupan Lahan Kota Kupang

Meski penutupan lahan hutan di Kota Kupang cukup dominan (cukup luas), akan tetapi Riwu Kaho, dkk (2020); Riwu Kaho & Sinaga (2021) yang meneliti pada semua lokasi kawasan hutan di Kota Kupang menemukan beberapa jenis gangguan (*disturbances*) terhadap kawasan hutan di Kota Kupang seperti perambahan kawasan hutan untuk kegiatan perladangan atau aktivitas pertanian, membangun rumah pondok dan bangunan permanen, tempat pembuangan sampah, tempat ternak lepas (*free grazing*), maupun kebakaran hutan dan lahan.

Penelitian yang dilakukan oleh Riwu Kaho dan Sinaga (2021) mengenai neraca sumber daya alam spasial di Kota Kupang menunjukkan bahwa dalam kurun waktu dua dekade terakhir, telah terjadi perubahan tutupan lahan yang cukup besar. Selama 21 tahun, area permukiman dan bangunan perkotaan mengalami peningkatan luas mencapai sekitar 2.368 hektar, diikuti oleh pertambahan pada beberapa jenis tutupan lahan lainnya seperti hutan primer berkerapatan tinggi (786 ha), hutan sekunder berkerapatan sedang (292 ha), hutan sekunder berkerapatan rendah (108 ha), tubuh air (28 ha), dan landasan pacu (14 ha).

Sebaliknya, jenis tutupan lahan seperti semak belukar (-1.241 ha), hutan sekunder berkerapatan tinggi (-1.405 ha), dan savana (-837 ha) mengalami penurunan yang signifikan. Penurunan juga teridentifikasi pada lahan terbuka, mangrove, dan padang rumput. Temuan ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya oleh Riwu Kaho dkk. (2020) yang menyebutkan bahwa alih fungsi lahan (*land use change*) menjadi salah satu tantangan utama dalam pengelolaan dan pengembangan wilayah Kota Kupang.



Grafik 4.3 Grafik Neraca Tutupan Lahan Kota Kupang Tahun 2020 Terhadap Tahun 1999

Sumber: Riwu Kaho dan Sinaga, 2021

4.1.2 Kondisi Ekonomi

Kondisi ekonomi mencakup pemerataan ekonomi dilakukan terhadap indikator pertumbuhan PDRB, laju inflasi provinsi, PDRB per kapita, indeks gini, pemerataan pendapatan versi Bank Dunia, Indeks Ketimpangan Williamson (indeks ketimpangan regional), persentase penduduk diatas garis kemiskinan, angka kriminalitas yang tertangani. Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) adalah indikator yang menggambarkan keadaan perekonomian penduduk di suatu wilayah/daerah. Ukuran yang dapat dihasilkan dari penghitungan PDRB antara lain adalah rata-rata pendapatan per kapita, struktur ekonomi dan pertumbuhan ekonomi. PDRB atas dasar harga berlaku Kota Kupang terus meningkat dari Rp.20.571.174.200 pada tahun 2017 menjadi Rp.24.344.492.150 pada tahun 2021. Sumbangan terbesar dalam PDRB tahun 2021 berasal dari sektor lapangan usaha konstruksi dengan kontribusi sebesar 15,15 persen (Rp.3.687.077.900), sedangkan sumbangan terendah dari sektor pertambangan dan penggalian yakni sebesar 0,10 persen (Rp.23.633.270).

4.1.3 Kondisi Sosial

Kondisi sosial mencakup pembangunan sumber daya manusia dalam kesejahteraan sosial, sarana pendidikan dan sarana kesehatan yang terdapat di Kota Kupang.

4.1.3.1 Kesejahteraan Sosial

Kondisi sumber daya manusia dan sosial kemasyarakatan di Kota Kupang dapat dilihat dari Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan sebaran Rumah Tangga Miskin (RTM). Indeks Pembangunan Manusia terdiri dari 3 komponen, yaitu Indeks Harapan Hidup, Indeks Pendidikan dan Indeks Daya Beli Masyarakat. Adapun kemiskinan adalah keadaan di mana terjadi ketidakmampuan untuk memenuhi kebutuhan dasar seperti makanan, pakaian, tempat berlindung, pendidikan, dan kesehatan. Kemiskinan dapat disebabkan oleh kelangkaan alat pemenuhan kebutuhan dasar, ataupun sulitnya akses terhadap pendidikan dan pekerjaan. Menurut BPS Kota Kupang (2022), jumlah penduduk miskin di Kota Kupang pada tahun 2018 sebanyak 40.440 jiwa (9,61 %), pada tahun 2019 sebanyak 39.860 jiwa (9,22 %) dan pada tahun 2020 sebanyak 39.720 jiwa (8,96 %). Ini menunjukkan ada penurunan jumlah penduduk miskin dalam 3 tahun terakhir di Kota Kupang dari sisi jumlah maupun persentase. Menurut Basis Data Terpadu Kesejahteraan Sosial tahun 2020, jumlah penduduk miskin yang termasuk dalam Decil 1, Decil 2 dan sebagian Decil 3 dan Decil 4 (kelompok sangat miskin, kelompok miskin, kelompok sangat rentan dan kelompok rentan) berjumlah 77.671 jiwa atau 17,04%. Kecamatan dengan persentase terbesar adalah Alak (23,18%) dengan jumlah terbanyak (18.599 jiwa). Sedangkan kecamatan

dengan persentase terkecil adalah kecamatan Oebobo (13,11%) tetapi jumlah penduduk miskin terkecil ada di kecamatan Kota Lama (5,344).

Tabel 4 7 Jumlah Penduduk Hasil Sensus Penduduk Tahun 2024 Kota Kupang per Kecamatan

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Jumlah Penduduk Miskin (jiwa)	Persentase Penduduk Miskin (%)
1	Alak	80.246	18.599	23,18
2	Maulafa	102.145	17.921	17,54
3	Oebobo	102.824	13.476	13,11
4	Kota Raja	58.071	10.112	17,41
5	Kelapa Lima	77.251	12.219	15,82
6	Kota Lama	35.310	5.344	15,13
Total	Kota Kupang	455.847	77.671	17,04

Sumber: Kota Kupang Dalam Angka 2024

4.1.3.2 Kondisi Sarana Pendidikan

Sarana pendidikan yang ada di Kota Kupang terdiri dari TK/RA 118 unit, SD/MI 154 unit (negeri 84 unit, swasta 70 unit), SMP/MTs 61 unit (negeri 21 unit dan swasta 40 unit), SMU/SMK/MA 66 unit (negeri 22 dan swasta 44) dan perguruan tinggi sebanyak 17 unit. Jumlah fasilitas pendidikan per kecamatan seperti pada Tabel 2.11. Sarana pendidikan dapat digunakan sebagai media pembelajaran pengurangan risiko bencana, khususnya pada anak-anak usia sekolah.

Tabel 4 8 Jumlah Fasilitas Pendidikan Kota Kupang Tahun 2021

No	Kecamat an	TK/R A	SD/ MI	SMP/M Ts	SMA/SMK/ MA	Perguru an Tinggi
1	Alak	20	29	9	10	4
2	Maulafa	27	33	16	13	2
3	Oebobo	27	25	17	18	3
4	Kota Raja	18	29	5	9	1
5	Kelapa Lima	13	20	8	13	4
6	Kota Lama	13	18	6	3	3
Tot al	Kota Kupang	118	154	61	66	17

Sumber: Kota Kupang Dalam Angka 2024

Keberhasilan pembangunan di bidang pendidikan dapat dilihat berdasarkan perkembangan Angka Partisipasi Murni (APM) dan Angka Partisipasi Kasar (APK). Angka Partisipasi Murni (APM) adalah

perbandingan antara jumlah siswa usia sekolah yang sesuai dengan jenjang pendidikan tertentu dengan jumlah penduduk yang usianya sesuai dengan jenjang pendidikan tersebut dan dinyatakan dalam persen. Angka partisipasi ini berguna untuk mengetahui banyaknya anak usia sekolah yang bersekolah pada jenjang yang sesuai dengan usianya. Semakin tinggi nilai APM, semakin banyak anak usia sekolah yg bersekolah sesuai usia resmi di jenjang pendidikan tertentu. Nilai idealnya 100%. Nilai 100% menunjukkan bahwa semua penduduk berusia yang sesuai dengan usia resmi jenjang pendidikan tertentu, bersekolah pada jenjang pendidikan yang sesuai dengan usia resmi tersebut. Misalnya, untuk SD, usia resmi seorang anak SD adalah 7-12. Misalnya, untuk Kota Kupang (Tabel II-12), nilai APM untuk SD adalah 92,15%. Ini berarti ada 92,15% penduduk usia 7-12 yang terdaftar dan bersekolah di SD sedangkan 7,85% sisanya tidak atau belum terdaftar di SD (mungkin karena putus sekolah).

Angka Partisipasi Kasar (APK) adalah perbandingan antara siswa pada jenjang pendidikan tertentu dengan penduduk usia sekolah yang sesuai dengan jenjang pendidikan tersebut dan dinyatakan dalam persen. Angka partisipasi ini berguna untuk mengetahui banyaknya siswa yang bersekolah pada jenjang pendidikan tertentu. Semakin tinggi nilai APK, semakin banyak anak usia sekolah yg bersekolah di jenjang pendidikan tertentu. Nilai APK di atas 100% berarti ada anak yang berusia di luar usia yang sesuai untuk jenjang pendidikan tertentu yang juga bersekolah pada jenjang pendidikan tersebut. Misalnya, nilai APK untuk jenjang SD di Kota Kupang adalah 107,00%. Ini menunjukkan bahwa ada 7% dari penduduk usia sekolah di luar batas usia resmi anak SD yang masih bersekolah di jenjang SD (dengan asumsi bahwa semua anak usia 7-12 tahun terdaftar di SD). Dengan kata lain, ada 7% anak SD di Kota Kupang yang usianya di luar 7-12 tahun (kemungkinan besar di atas 12 tahun). Data tabel di bawah ini menunjukkan bahwa APK di Kota Kupang berada di 94% sampai di atas 100% untuk SD dan SMA. Ini berarti bahwa angka partisipasi sekolah di Kota Kupang cukup baik. Akan tetapi, di SD dan SMA masih ada siswa yang usianya tidak sesuai dengan usia resmi untuk kedua jenjang pendidikan tersebut. Untuk APM, baik SD, SMP, maupun SMA di Kota Kupang berada di bawah 100%. APM menurun dengan meningkatnya jenjang pendidikan dari SD ke SMA, bahkan APM untuk SMA hanya sekitar 67%.

Tabel 4 9 Angka Partisipasi Kasar dan Angka Partisipasi Murni SD sederajat, SMP sederajat, dan SMA sederajat Kota Kupang Tahun 2023

Angka Partisipasi	SD Sederajat	SMP Sederajat	SMA Sederajat
Angka Partisipasi Kasar (APK)			
Kota Kupang	107,00	94,72	112,47
NTT	111,35	90,41	88,66
Angka Partisipasi Murni (APM)			
Kota Kupang	92,15	75,13	67,31
NTT	95,98	73,47	58,15

Sumber: Kota Kupang dalam Angka 2024

4.1.3.3 Kondisi Sarana Kesehatan

Sarana kesehatan seperti puskesmas, rumah sakit dan balai pengobatan yang pada saat terjadi bencana dapat membantu dalam melakukan upaya penyelamatan korban bencana serta melakukan mobilisasi tim kesehatan ke lokasi bencana. Sarana kesehatan di Kota Kupang antara lain mencakup Puskesmas sebanyak 33 unit, Puskesmas pembantu 87 unit, dan Rumah Sakit Umum 6 unit.

Tabel 4 10 Jumlah Fasilitas Kesehatan di Kota Kupang Tahun 2024

No	Kecamatan	Rumah Sakit	Poli Klinik	Puskesmas	Pustu	Apotek	Jumlah
1	Alak	1	2	4	10	2	19
2	Maulafa	3	3	2	9	8	25
3	Oebobo	4	7	2	5	7	25
4	Kota Raja	2	3	1	4	6	16
5	Kelapa Lima	1	2	1	4	5	12
6	Kota Lama	1	1	3	4	6	15
Jumlah / Total	Kota Kupang	11	18	13	36	34	112

Sumber: Kota Kupang Dalam Angka 2024

4.1.4 Kondisi Kependudukan

Penduduk dapat menjadi input dalam penilaian kerentanan aspek sosial. Parameter kepadatan penduduk digunakan dengan asumsi

bahwa semakin tinggi tingkat kepadatan penduduk maka semakin rentan terhadap bencana. Parameter laju pertumbuhan penduduk digunakan dengan asumsi bahwa semakin tinggi tingkat laju pertumbuhan penduduk yang dapat menimbulkan aktivitas-aktivitas baru, maka akan semakin rentan. Parameter persentase jumlah usia tua-balita digunakan dengan asumsi bahwa semakin banyak jumlah penduduk usia tua-balita, maka akan semakin rentan secara fisik dan dalam hal tingkat pengetahuan. Hasil registrasi penduduk Kota Kupang, jumlah penduduk tahun 2021 tercatat 455.847 jiwa dengan rincian 226.195 jiwa perempuan dan 229.652 jiwa laki-laki. Kepadatan penduduk rata-rata sebesar 2.528,69 orang per km². Sebaran penduduk di Kota Kupang tidak merata di setiap kecamatan. Jumlah penduduk di Kecamatan Oebobo paling banyak, yakni sebesar 102.824 jiwa, sedangkan terendah di Kecamatan Kota Lama sebesar 35.310 jiwa.

**Tabel 4 11 Jumlah Penduduk Hasil Sensus Penduduk Tahun 2021
Kota Kupang per Kecamatan**

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Persentase Penduduk (%)	Kepadatan Penduduk (jiwa/Km ²)	Pertumbuhan Penduduk (%)
1	Alak	80.246	17,60	923,32	4,34
2	Maulafa	102.145	22,41	1.863,96	4,26
3	Oebobo	102.824	22,56	7.230,94	2,25
4	Kota Raja	58.071	12,74	9.519,84	1,66
5	Kelapa Lima	77.251	16,95	5.143,21	2,36
6	Kota Lama	35.310	7,75	10.965,84	1,68
Total	Kota Kupang	455.847	100,00	2.528,69	2,96

Sumber: DIBI-BNPB, tahun 2022

Pertumbuhan penduduk tidak merata di setiap kecamatan, di mana Kecamatan Alak pertumbuhannya paling tinggi yaitu 4,34, sedangkan pertumbuhannya terendah di Kecamatan Kota Raja yaitu 1,66. Jumlah penduduk, kepadatan dan pertumbuhan penduduk dapat dilihat pada Tabel 2.9, sebagai berikut:

Tabel 4 12 Jumlah Penduduk Berdasarkan Kelompok Umur dan Jenis Kelamin di Kota Kupang Tahun 2021

Kelompok Umur	Perempuan	Laki-Laki	Total
0 – 4	21.415	22.298	43.713
5 – 9	17.757	18.238	35.995
10 – 14	15.260	16.034	31.294
15 – 19	18.579	18.158	36.737
20 – 24	21.562	21.100	42.662
25 – 29	25.263	25.980	51.243
30 – 34	23.433	24.603	48.036
35 – 39	20.244	21.050	41.294
40 – 44	16.465	16.875	33.340
45 – 49	13.164	12.807	25.971
50 – 54	10.426	10.436	20.862
55 – 59	7.921	8.273	16.194
60 – 64	5.602	6.153	11.755
65 – 69	3.983	3.720	7.703
70 – 74	2.312	2.059	4.371
75+	2.809	1.868	4.677
Total	226.195	229.652	455.847

Sumber: Kota Kupang Dalam Angka 2024

4.2 Gambaran Umum Kebencanaan

4.2.1 Sejarah Kejadian Bencana

Kondisi kejadian masing-masing jenis bencana di Kota Kupang sangat dipengaruhi oleh kondisi geografis dan fisiologi wilayah, serta oleh aspek pemanfaatan ruang, jaringan infrastruktur, sumber daya manusia, masyarakat, dan tatanan pemerintahan. Berdasarkan data DIBI-BNPB tahun 2022, jumlah kejadian bencana, dampak dan perhitungan total kerugian di Kota Kupang pada periode tahun 2008-2021.

Tabel 4 13 Jenis, Jumlah, Dampak dan Kerugian akibat Bencana di Kota Kupang, 2008-2021

No	Bencana	Jumlah Kejadian	Meninggal	Hilang	Luka-luka	Mengungsi	Menderita	Rumah Rusak Berat	Rumah Rusak Sedang	Rumah Rusak Ringan	Kerusakan Lahan	Kerugian Material (Rp)
1	Gelombang Pasang dan Abrasi	2	-	-	-	720	2.159	7	-	414	-	50.000.000
2	Longsor	13	1	-	-	-	77	23	5	3	-	77.000.000
3	Angin Puting Beliung	39	-	-	4	461	4.713	115	106	12.269	-	136.000.000
4	Banjir	10	8	1	10	1.763	113.740	733	869	11.746	59	-
5	Kekeringan	2	-	-	-	-	95.137	-	-	-	-	-
Total		66	9	1	14	2.944	215.826	878	980	13.296	59	263.000.000

Sumber: DIBI-BNPB tahun 2022

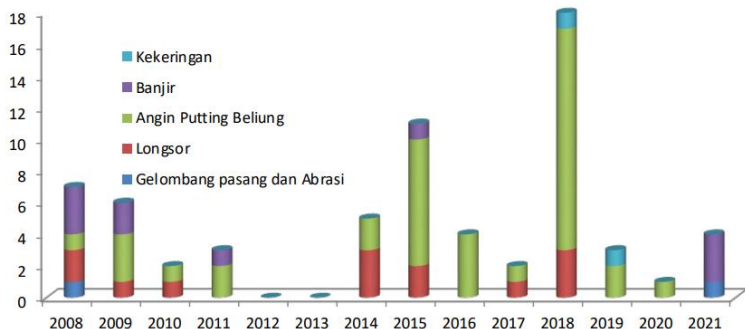


Gambar 4 1 Kerugian Bencana di Kota Kupang

Sumber: Detiknews, 2026

4.2.2 Kecenderungan Bencana di Kota Kupang

Data kejadian bencana di Kota Kupang menunjukkan perubahan setiap tahunnya. Perubahan kecenderungan dapat dilihat dari frekuensi kejadian dan rentang tahun kejadian. Kecenderungan kebencanaan yang meningkat di Kota Kupang ditunjukkan pada Gambar 2.13 yang mencakup semua kejadian bencana yang terjadi di Kota Kupang.



Grafik 4 4 Tren Kejadian Bencana di Kota Kupang 14 Tahun Terakhir (2008 – 2021)

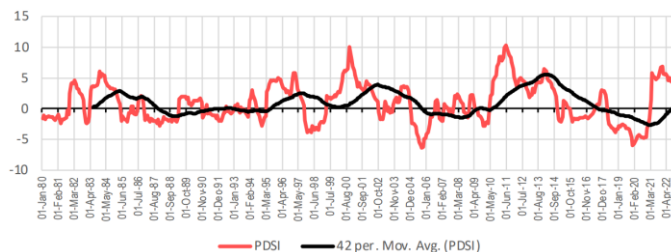
Sumber: Data dan Informasi Bencana Indonesia (DIBI) Tahun 2022

Dari grafik tersebut bisa dilihat bahwa terdapat kecenderungan kejadian bencana di Kota Kupang dalam rentang waktu tahun 2008-2021 yaitu:

1. Bencana puting beliung terjadi pada tahun 2008, 2009, 2010, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 dan 2020.
2. Bencana Tanah longsor terjadi pada tahun 2008, 2009, 2010, 2014, 2015, 2017 dan 2018
3. Bencana banjir terjadi pada tahun 2008, 2009, 2011, 2015 dan 2021. Bencana banjir paling parah terjadi pada tahun 2021, yakni dampak dari Siklon Tropis Seroja.
4. Bencana banjir cenderung terjadi bersamaan dengan bencana angin puting beliung
5. Bencana kekeringan terjadi pada tahun 2018 dan 2019.
6. Bencana gelombang pasang dan abrasi terjadi pada tahun 2008 dan 2021

4.2.3 Potensi Bencana Kekeringan di Kota Kupang

DIBI mencatat kejadian kekeringan di Kota Kupang sebanyak 2 kali dalam 14 tahun terakhir. Sementara dokumen KRB Provinsi NTT mengklasifikasikan bahaya kekeringan dalam Kelas Tinggi. Bencana kekeringan di Kota Kupang terjadi berulang. Kejadian pertama tercatat terjadi pada tahun 2018 dan terus terjadi pada tahun 2019. Kejadian paling parah terjadi pada tahun 2018 dengan dampak yang terjadi akibat kejadian ini adalah 60.397 orang menderita. Secara umum, kejadian bencana kekeringan di Kota Kupang mengakibatkan 95.137 orang menderita. Berdasarkan analisis tingkat kekeringan Kota Kupang tahun 1980 – 2022 berdasarkan Palmer Drought Severity Index (PDSI) dari data TerraClimate, wilayah Kota Kupang telah sering mengalami kejadian kekeringan, terutama pada tahun 1997–1998, tahun 2005–2006, dan tahun 2019–2020, yang terindikasi mengalami kekeringan ekstrem.



Grafik 4 5 Indeks Kekeringan Palmer Tahun 1980 – 2022 di Kota Kupang

Sumber: Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Kupang. 2023

Meskipun berdasarkan data DIBI kejadian bencana kekeringan di Kota Kupang hanya tercatat sebanyak dua kali selama periode 2008–2021, kondisi tersebut tidak menunjukkan bahwa ancaman kekeringan di wilayah ini rendah. Berbeda dengan bencana yang bersifat tiba-tiba (*rapid onset*) seperti banjir atau angin puting beliung, kekeringan merupakan bencana yang berkembang secara perlahan (*slow onset disaster*) sehingga dampaknya terakumulasi dalam jangka waktu yang panjang dan tidak selalu tercatat sebagai kejadian bencana setiap tahun. Oleh karena itu, penilaian terhadap kondisi kekeringan tidak dapat didasarkan semata-mata pada frekuensi kejadian, tetapi perlu mempertimbangkan indikator biofisik yang mampu menggambarkan kondisi aktual wilayah.

Hal ini juga sejalan dengan karakteristik iklim semi-arid di Provinsi Nusa Tenggara Timur, di mana kekeringan merupakan fenomena yang terjadi secara berulang akibat defisit curah hujan dan musim kemarau yang relatif panjang, meskipun tidak selalu ditetapkan sebagai kejadian bencana dalam basis data kebencanaan.



Gambar 4 2 Bencana Kekeringan di Kota Kupang

Sumber: Mongabay, 2025

4.3 Pengkajian Kekeringan berdasarkan karakteristik Bencana Kekeringan di Kota Kupang

Karakteristik tingkat kekeringan di Kota Kupang dapat dipahami melalui analisis indeks kekeringan berbasis penginderaan jauh, yaitu *Normalized Difference Drought Index* (NDDI). Indeks ini merupakan integrasi dari *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) yang secara simultan mampu menggambarkan kondisi kesehatan vegetasi serta kandungan air dalam tanah. Pendekatan ini memberikan keunggulan karena tidak hanya melihat aspek vegetasi, tetapi juga ketersediaan air sebagai indikator utama kekeringan.

4.3.1 NDDI

Metode *Normalized Difference Drought Index* (NDDI) merupakan pendekatan berbasis penginderaan jauh yang digunakan untuk mendeteksi dan memantau tingkat kekeringan lahan dengan menggabungkan dua indeks utama, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Kedua indeks ini memberikan informasi yang saling melengkapi mengenai kondisi vegetasi dan tingkat ketersediaan air di suatu wilayah, sehingga ketika dikombinasikan menjadi NDDI, hasilnya mampu menggambarkan kondisi kekeringan secara lebih komprehensif baik secara spasial maupun temporal (Rahman, Sukmono, & Yuwono, 2017).

Indeks NDVI berfungsi untuk menilai tingkat kehijauan dan kesehatan vegetasi dengan memanfaatkan pantulan spektral cahaya merah (Red) dan inframerah dekat (Near Infrared/NIR). Vegetasi yang sehat akan menyerap cahaya merah untuk proses fotosintesis dan memantulkan cahaya NIR lebih banyak, sehingga menghasilkan nilai NDVI yang tinggi. Sebaliknya, vegetasi yang mengalami stres, kering, atau tidak bervegetasi (misalnya area lahan terbuka dan permukiman) akan menunjukkan nilai NDVI yang rendah atau bahkan negatif.

Sedangkan NDWI digunakan untuk mengukur kandungan air dan kelembapan vegetasi serta permukaan tanah dengan membandingkan pantulan antara cahaya hijau (Green) dan inframerah dekat (NIR). Nilai NDWI yang tinggi menandakan kondisi vegetasi dengan kandungan air yang baik, sementara nilai yang rendah menunjukkan penurunan kelembapan akibat penguapan tinggi atau curah hujan yang rendah.

Dalam penelitian ini, pengolahan NDDI dilakukan menggunakan data **citra Sentinel-2 Level-2A** yang telah melalui proses

koreksi atmosferik dan masking awan. Band yang digunakan dalam perhitungan meliputi:

- B4 (Red) dan B8 (NIR) untuk menghitung NDVI, dan
- B3 (Green) serta B8 (NIR) untuk menghitung NDWI.

Tahapan pengolahan data meliputi, pertama, Pemotongan Area Penelitian (Clipping) Sesuai Batas Administrasi Kota Kupang, tahap ini merupakan tahap pertama dalam pengolahan data adalah pemotongan area penelitian atau clipping sesuai dengan batas administrasi Kota Kupang. Pemotongan ini penting untuk memastikan bahwa analisis hanya dilakukan pada wilayah yang relevan dan terfokus, sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat dan tidak terpengaruh oleh data luar batas yang tidak terkait. Dalam hal ini, shapefile batas administrasi Kota Kupang digunakan sebagai referensi untuk memotong citra satelit agar hanya mencakup wilayah yang akan dianalisis. Langkah ini juga memudahkan dalam mengelola data dan memastikan bahwa seluruh analisis spasial tetap terjaga dalam kerangka wilayah yang jelas.

Tahap kedua adalah koreksi Awan dan Bayangan Awan, untuk Memastikan Data Bebas dari Gangguan Atmosfer yang bertujuan untuk membersihkan data citra satelit dari gangguan atmosfer yang dapat mempengaruhi akurasi pengukuran. Citra satelit seringkali terkontaminasi oleh awan dan bayangan awan yang menutupi permukaan bumi dan menyebabkan nilai spektral yang salah, terutama pada daerah yang tertutup awan tebal. Dalam pengolahan ini, algoritma Scene Classification Layer (SCL) pada citra Sentinel-2 digunakan untuk mendeteksi awan dan bayangannya. Dengan menggunakan masking awan, hanya data yang tidak terpengaruh awan yang akan diproses lebih lanjut, memastikan bahwa hasil analisis mencerminkan kondisi permukaan yang sebenarnya tanpa gangguan atmosfer.

Tahap ketiga adalah perhitungan NDVI dan NDWI untuk setiap piksel dalam area penelitian. Setelah data dikoreksi, langkah berikutnya adalah perhitungan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan NDWI (*Normalized Difference Water Index*) untuk setiap piksel dalam area penelitian. NDVI dihitung menggunakan rasio antara band NIR (Near Infrared) dan Red, yang memberikan gambaran mengenai kesehatan vegetasi dan kepadatan tanaman di suatu wilayah. Nilai NDVI yang tinggi menunjukkan vegetasi yang sehat dan lebat, sementara nilai yang rendah menunjukkan daerah dengan sedikit atau tanpa vegetasi. Di sisi lain, NDWI dihitung dengan menggunakan band Green dan NIR, dan memberikan informasi mengenai kandungan air di permukaan tanah atau vegetasi. Nilai NDWI yang tinggi menandakan tanah atau tanaman yang

kaya akan air, sementara nilai yang rendah menunjukkan kekurangan kelembapan. Kedua indeks ini digunakan untuk menganalisis kondisi vegetasi dan kelembapan tanah, yang keduanya sangat penting dalam penilaian kekeringan.

Tahap keempat adalah kalkulasi NDDI dengan menerapkan persamaan di atas. Setelah perhitungan NDVI dan NDWI dilakukan, langkah selanjutnya adalah kalkulasi NDDI.

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI}$$

Persamaan ini menggabungkan dua indeks tersebut untuk menghasilkan nilai yang mencerminkan tingkat kekeringan di suatu wilayah. Nilai NDDI yang tinggi menunjukkan kekeringan yang parah, karena mencerminkan kurangnya kelembapan dan stres yang tinggi pada vegetasi. Sebaliknya, nilai NDDI yang rendah menunjukkan kondisi yang lebih baik, dengan vegetasi yang sehat dan cukup air. Perhitungan ini dilakukan untuk setiap piksel dalam wilayah penelitian, menghasilkan peta spasial tingkat kekeringan yang dapat diinterpretasikan lebih lanjut. Kalkulasi NDDI memungkinkan untuk memetakan kondisi kekeringan secara lebih rinci dan dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut, seperti prediksi kerentanan kekeringan.

Tahap terakhir adalah, Klasifikasi Tingkat Kekeringan Berdasarkan Kriteria Renza et al. (2010). Nilai NDDI yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori untuk menggambarkan tingkat kekeringan yang terjadi di area penelitian. Tabel klasifikasi ini dibagi menjadi lima kategori berdasarkan rentang nilai NDDI, yaitu:

Tabel 4 14 Klasifikasi Kekeringan NDDI

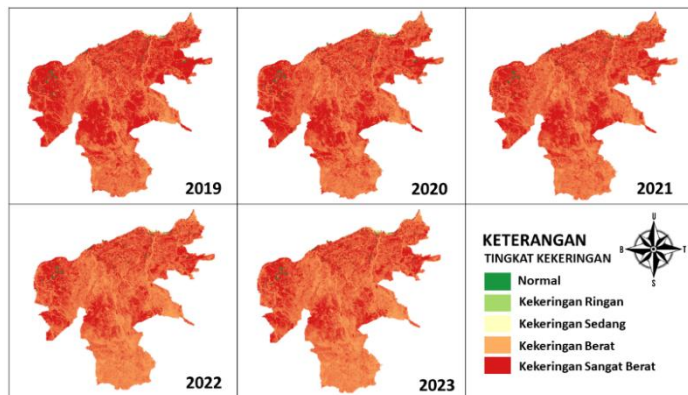
Nilai NDDI	Tingkat Kekeringan
-0,05 – 0,01	Normal
0,01 – 0,15	Kekeringan Ringan
0,15 – 0,25	Kekeringan Sedang
0,25 – 1	Kekeringan Berat
> 1	Kekeringan Sangat Berat

Sumber: Renza, 2010

- Normal (NDDI -0,05 – 0,01): Kondisi vegetasi yang sehat dengan kelembapan yang cukup.

- Kekeringan Ringan (NDDI 0,01 – 0,15): Mulai ada penurunan kelembapan, namun tidak berdampak signifikan pada vegetasi.
- Kekeringan Sedang (NDDI 0,15 – 0,25): Penurunan kelembapan yang lebih jelas, dengan stres vegetasi yang cukup signifikan.
- Kekeringan Berat (NDDI 0,25 – 1): Kondisi yang sangat kering dengan dampak besar pada vegetasi.
- Kekeringan Sangat Berat (NDDI > 1): Kekeringan ekstrem yang menyebabkan kerusakan vegetasi dan kehilangan air tanah yang sangat tinggi.

Hasil perhitungan dan pengolahan NDDI tahun 2019 - 2023 dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah.



Peta 4 7 Hasil Indeks Kekeringan (NDDI) Kota Kupang Tahun 2019-2023

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Selama periode 2019 hingga 2023, Kota Kupang secara konsisten menghadapi kondisi kekeringan yang sangat parah. Peta NDDI menunjukkan bahwa hampir seluruh wilayah kota mengalami kekeringan berat dan sangat berat setiap tahunnya, ditandai dengan dominasi warna merah tua pada peta. Tidak ada perubahan signifikan yang terlihat dari tahun ke tahun, yang mengindikasikan bahwa kondisi kekeringan ini bersifat kronis dan berlanjut tanpa adanya perbaikan yang berarti. Kondisi ini menekankan pentingnya tindakan segera dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air untuk mengurangi dampak kekeringan dan meningkatkan ketahanan kota di masa mendatang.

Berdasarkan hasil analisis NDDI periode 2019–2023, Kota Kupang menunjukkan karakteristik kekeringan yang bersifat kronis dan berulang. Hampir seluruh wilayah kota didominasi oleh kategori kekeringan berat hingga sangat berat, yang ditunjukkan oleh nilai NDDI yang tinggi dan relatif stabil dari tahun ke tahun. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kekeringan di Kota Kupang bukan merupakan fenomena sementara, melainkan kondisi lingkungan yang sudah mengakar akibat faktor iklim semi-arid dan rendahnya curah hujan.

Selain itu, karakteristik kekeringan di Kota Kupang tidak dapat dilepaskan dari tekanan antropogenik. Pertumbuhan populasi dan ekspansi area terbangun menyebabkan berkurangnya daerah resapan air, sehingga memperparah kondisi kekeringan. Hal ini diperkuat oleh temuan bahwa wilayah dengan kepadatan penduduk tinggi dan area terbangun luas cenderung memiliki tingkat kekeringan yang lebih tinggi.

Dengan demikian, karakteristik kekeringan di Kota Kupang dapat dirumuskan sebagai:

- 1) Bersifat kronis dan berulang,
- 2) Didominasi oleh kategori kekeringan berat hingga sangat berat,
- 3) Memiliki variasi spasial antar wilayah, dan
- 4) Dipengaruhi secara signifikan oleh faktor iklim dan aktivitas manusia.

4.3.2 Zonal Statistics

Dalam penelitian ini, metode *Zonal Statistics* digunakan untuk menghitung nilai rata-rata NDDI (*Normalized Difference Drought Index*) dan luas area terbangun di setiap kelurahan di Kota Kupang. *Zonal Statistics* adalah metode analisis spasial yang memanfaatkan zona tertentu yang telah didefinisikan sebelumnya, dalam hal ini adalah batas administrasi kelurahan. Setiap kelurahan di Kota Kupang dianggap sebagai sebuah zona atau area yang terpisah untuk menghitung statistik nilai-nilai raster yang ada, seperti nilai NDDI dan luas area terbangun.

Proses pertama dalam *Zonal Statistics* adalah definisi zona atau batas kelurahan yang digunakan sebagai acuan dalam analisis. Setiap kelurahan memiliki batas administrasi yang jelas, yang biasanya berupa shapefile. Dengan menggunakan shapefile batas kelurahan, analisis hanya dilakukan pada area yang relevan, sehingga hasil yang diperoleh dapat memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kondisi kekeringan dan pengaruh urbanisasi di masing-masing kelurahan.

Selanjutnya, analisis dilakukan pada data raster yang berisi informasi tentang NDDI dan luas area terbangun. Nilai NDDI menggambarkan tingkat kekeringan berdasarkan kondisi vegetasi dan

ketersediaan air di permukaan tanah, sedangkan area terbangun mencakup wilayah yang telah mengalami urbanisasi seperti bangunan, jalan, dan infrastruktur lainnya. *Zonal Statistics* memungkinkan kita untuk menghitung rata-rata nilai NDDI dan luas area terbangun untuk setiap kelurahan, sehingga kita bisa memperoleh informasi lebih spesifik mengenai kondisi kekeringan dan tingkat urbanisasi di masing-masing kelurahan.

Selain itu, dalam analisis ini, data populasi juga dimasukkan untuk memberikan konteks lebih lanjut mengenai tekanan penduduk di setiap kelurahan. Data populasi ini sangat penting, karena daerah dengan populasi tinggi akan lebih rentan terhadap kekeringan, terutama jika luas area terbangun di daerah tersebut cukup besar. Populasi yang padat dapat meningkatkan kebutuhan air, dan kondisi ini akan memperburuk dampak kekeringan. Dengan menggabungkan data populasi dengan hasil *Zonal Statistics* dari NDDI dan luas area terbangun, kita dapat mengidentifikasi kelurahan-kelurahan yang paling rentan terhadap kekeringan. Kelurahan dengan tingkat kekeringan tinggi, area terbangun luas, dan populasi padat akan menghadapi tekanan yang lebih besar terkait dengan kekeringan.

Hasil dari analisis *Zonal Statistics* ini disajikan dalam bentuk tabel yang mencakup rata-rata NDDI, luas area terbangun, dan populasi di setiap kelurahan. Tabel ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi kekeringan dan pengaruh urbanisasi di setiap kelurahan. Sebagai contoh, kelurahan dengan rata-rata NDDI tinggi menunjukkan kondisi kekeringan yang lebih buruk, sementara kelurahan dengan luas area terbangun besar dan populasi tinggi menunjukkan potensi risiko kekeringan yang lebih besar. Pemetaan hasil *Zonal Statistics* ini sangat berguna untuk merencanakan strategi mitigasi kekeringan yang lebih efektif, terutama di kelurahan-kelurahan yang paling rentan terhadap krisis air dan kerusakan ekosistem akibat kekeringan. Selengkapnya, tabel rata-rata indeks kekeringan (NDDI), Area Terbangun, dan Populasi hasil *Zonal Statistics* disajikan melalui tabel 4.15.

**Tabel 4 15 Rata-rata Indeks Kekeringan, area terbangun dan
Populasi menurut Kecamatan di Kota Kupang**

Kelurahan	Rata-Rata		
	Indeks Kekeringan (NDDI)	Area Terbangun	Populasi
Airmata	0,82	7,00	1986
Airnona	0,62	6,91	8927
Bakunase	0,58	6,23	6122
Bakunase Dua	0,54	6,51	7796
Tuak Daun Merah	1,08	6,62	10825
Tode Kisar	5,78	7,00	1259
Sikumana	0,72	6,95	21964
Solor	3,01	6,94	3074
Naimata	0,82	6,63	5987
Penfui	1,05	3,03	6894
Namosain	1,01	5,86	13524
Alak	0,92	4,09	10169
Fatubesi	3,34	6,66	5622
Fatufeto	0,67	7,00	5367
Fatukoa	0,66	2,59	7671
Fatululi	0,78	7,00	18175
Fontein	0,83	7,00	4916
Bello	0,94	6,56	8490
Batu Plat	0,70	4,55	6672
Bonipoi	1,19	7,00	2097
Kolhua	0,41	2,39	9308
Lai Lai Bisi Kopan	-3,77	6,80	855
Lasiana	1,09	6,49	15993
Kuanino	0,84	7,00	8610
Kayu Putih	0,99	7,00	11512
Kelapa Lima	0,35	6,98	16519
Merdeka	1,10	7,00	2196

Kelurahan	Rata-Rata		
	Indeks Kekeringan (NDDI)	Area Terbangun	Populasi
Naikoten Dua	-0,09	7,00	11674
Naikoten Satu	12,38	5,90	3921
Naioni	0,68	1,31	3279
Maulafa	0,68	6,62	19777
Manutapen	0,61	6,57	8909
Nefonaek	0,86	7,00	4711
Naikolan	0,80	7,00	81964
Manulai II	0,92	2,61	8148
Liliba	0,87	5,89	17883
Mantasi	0,50	7,00	1128
Penkase Oeleta	0,97	5,10	10032
Nunbaun Delha	0,64	6,68	4696
Nunbaun Sabu	0,83	6,73	4550
Nunhila	0,62	6,94	3090
Nunleu	0,25	7,00	5529
Oepura	0,72	6,23	17952
Oesapa	0,54	5,70	24794
Oesapa Barat	1,39	6,11	10798
Oesapa Selatan	0,96	5,00	3704
Oetete	1,22	7,00	8277
Oeba	0,75	7,00	5380
Oebobo	0,77	6,81	13853
Oebufu	1,11	6,96	18804
Pasir Panjang	1,15	6,88	8599

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Dengan menggunakan metode *Zonal Statistics*, penelitian ini memberikan informasi yang lebih terperinci mengenai kondisi kekeringan di masing-masing kelurahan di Kota Kupang, serta tekanan penduduk dan urbanisasi yang dapat memperburuk dampak kekeringan. Secara spasial, karakteristik kekeringan juga menunjukkan variasi antarkelurahan. Beberapa wilayah seperti Tode Kisar, Naikoten I, dan

Fatubesi memiliki nilai NDDI yang sangat tinggi, yang mencerminkan tingkat kekeringan ekstrem. Sebaliknya, terdapat wilayah dengan nilai relatif lebih rendah seperti Kolhwa dan Kelapa Lima, meskipun tetap berada dalam kategori rentan. Variasi ini menunjukkan bahwa distribusi kekeringan dipengaruhi oleh faktor lokal seperti tutupan lahan, kepadatan penduduk, dan kondisi topografi.

Hasil analisis ini akan membantu dalam perencanaan pengelolaan sumber daya alam dan pengambilan kebijakan yang lebih tepat sasaran, terutama dalam rangka menanggulangi krisis kekeringan dan memastikan ketahanan air bagi masyarakat Kota Kupang.

4.4 Penentuan Pendekatan Ideal dalam Memprediksi Bencana Kekeringan

Pendekatan ideal dalam memprediksi bencana kekeringan di Kota Kupang harus mampu mengakomodasi kompleksitas hubungan antara variabel lingkungan dan sosial. Dalam penelitian ini, pendekatan berbasis *Machine Learning* dipilih karena memiliki kemampuan dalam mengolah data multidimensi dan menangkap pola nonlinier yang tidak dapat diidentifikasi dengan metode konvensional.

Pendekatan prediksi dilakukan dengan mengintegrasikan tiga variabel utama, yaitu indeks kekeringan (NDDI), populasi, dan area terbangun. Ketiga variabel ini dipilih karena merepresentasikan tiga dimensi penting dalam kekeringan, yaitu kondisi lingkungan, tekanan manusia, dan perubahan penggunaan lahan. Integrasi variabel ini menghasilkan model yang lebih komprehensif dibandingkan dengan pendekatan yang hanya berbasis klimatologi.

4.4.1 Simulasi Faktor Kekeringan

Simulasi kerentanan kekeringan dalam penelitian ini dilakukan dengan menghitung skor kerentanan berdasarkan tiga faktor utama yang memengaruhi tingkat kekeringan di setiap zona di Kota Kupang, yaitu Indeks kekeringan atau NDDI (*Normalized Difference Drought Index*), populasi, dan area terbangun.

Dalam penelitian ini, pembobotan variabel simulasi kerentanan kekeringan dilakukan menggunakan pendekatan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode ini dipilih karena mampu memberikan dasar pengambilan keputusan yang sistematis berdasarkan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) antarvariabel. AHP juga umum digunakan dalam analisis perencanaan, pengelolaan sumber daya air, hingga penilaian risiko bencana karena mampu

menggabungkan pendapat pakar (*expert judgement*) dengan struktur analisis yang terukur.

Tiga variabel utama yang dinilai adalah indeks kekeringan (NDDI), area terbangun, dan populasi penduduk. Dalam proses AHP, para pakar atau peneliti memberikan penilaian tingkat kepentingan relatif antarvariabel terhadap tujuan penelitian, yakni menentukan faktor yang paling berpengaruh terhadap kerentanan kekeringan di Kota Kupang. Berdasarkan hasil perbandingan berpasangan, indeks kekeringan (NDDI) dinilai memiliki pengaruh yang lebih dominan karena langsung menggambarkan kondisi biofisik kekeringan melalui kombinasi NDVI dan NDWI, sehingga bobotnya lebih besar dibandingkan dengan dua variabel lainnya. Area terbangun dan populasi dinilai memiliki tingkat kepentingan yang setara, karena keduanya merupakan faktor tekanan sekunder yang memperburuk kondisi kekeringan melalui peningkatan kebutuhan air, penurunan infiltrasi, dan meningkatnya limpasan permukaan. Langkah penyusunan analisis AHP dijelaskan sebagai berikut.

1. Penyusunan Matriks Perbandingan Berpasangan

Langkah pertama dalam metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) adalah menyusun matriks perbandingan berpasangan antara ketiga kriteria:

- 1) Indeks Kekeringan (NDDI)
- 2) Area Terbangun
- 3) Populasi Penduduk

Pada matriks tersebut, nilai perbandingan diberikan menggunakan skala Saaty (1–9) yang menggambarkan tingkat kepentingan relatif antarkriteria.

Tabel 4 16 Matriks Perbandingan Berpasangan (*Pairwise Comparison*)

Variabel Kerentanan Kekeringan

Kriteria Model Kekeringan	Indeks Kekeringan	Area Terbangun	Populasi
Indeks Kekeringan	1	1,33	1,33
Area Terbangun	0,75	1	1
Populasi	0,75	1	1

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan Tabel 4.18, diketahui bahwa antara 3 bobot perbandingan antarkriteria yang telah ditentukan, Indeks kekeringan lebih penting daripada Area Terbangun dan Populasi sehingga diberikan nilai 1,33. Sedangkan kriteria area terbangun dan Populasi memiliki nilai yang sama yaitu 1, artinya sama-sama penting.

2. Normalisasi Matriks dan Penghitungan Nilai *Eigen* (Prioritas)

Setelah matriks disusun, setiap nilai dibagi dengan jumlah kolomnya untuk menghasilkan matriks normalisasi. Hasil normalisasi tersebut akan dihitung nilai rata-ratanya per baris untuk memperoleh nilai *eigen vector*, yaitu bobot prioritas tiap kriteria.

Tabel 4 17 Matriks Normalisasi Kriteria

TOTAL BOBOT KRITERIA				Total	Rata Rata
	Kekeringan	Area Terbangun	Populasi		
Kekeringan	0,40	0,40	0,40	1,20	0,40
Area Terbangun	0,30	0,30	0,30	0,90	0,30
Populasi	0,30	0,30	0,30	0,90	0,30

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Berdasarkan Tabel 4.19, didapatkan hasil nilai eigen (prioritas) yaitu, Indeks Kekeringan sebesar 0,40, serta Area Terbangun dan Populasi masing-masing bernilai 0,30. Indeks Kekeringan (NDDI) memiliki bobot 40%, yang menunjukkan bahwa kondisi fisik kekeringan merupakan faktor yang paling dominan dalam menentukan tingkat kerentanan, sedangkan ekspansi kawasan terbangun menurunkan resapan air dan meningkatkan *run-off*, sehingga berdampak besar pada kerentanan kekeringan. Kemudian, semakin tinggi populasi, semakin besar tekanan terhadap kebutuhan air dan berpotensi meningkatkan kerentanan. Kedua kriteria (area terbangun dan populasi) memiliki bobot yang sama karena keduanya memberikan dampak sosial-ekonomi yang relatif sebanding terhadap risiko kekeringan. Dengan demikian, pembobotan akhir menjadi NDDI (0,40), Area Terbangun (0,30), Populasi (0,30). Bobot ini nantinya digunakan untuk menghasilkan skor indeks kekeringan total pada setiap kelurahan dan memprediksi kondisi tahun 2030 dan 2040.

Hasil pembobotan menunjukkan bahwa indeks kekeringan (NDDI) memperoleh bobot tertinggi sebesar 0,40. Bobot ini mencerminkan peran dominan faktor biofisik dalam membentuk tingkat kekeringan. Indeks NDDI secara langsung menangkap kondisi vegetasi dan kelembapan tanah, sehingga perubahan pada nilai NDDI merupakan indikator paling sensitif terhadap kekeringan di wilayah semi-arid seperti Kota Kupang. Penelitian Gu et al. (2007) dan Renza et al. (2010) juga menegaskan bahwa kombinasi perubahan NDVI dan NDWI memberikan gambaran yang paling akurat terhadap intensitas kekeringan, sehingga wajar apabila variabel ini diberi bobot paling besar dalam model kerentanan.

Dua variabel lainnya, yaitu area terbangun dan populasi penduduk, masing-masing memperoleh bobot 0,30. Kedua variabel ini berperan sebagai faktor tekanan yang memperburuk kondisi kekeringan melalui mekanisme yang berbeda. Area terbangun mencerminkan tingkat urbanisasi yang berpengaruh pada tingginya limpasan permukaan, berkurangnya infiltrasi, serta menurunnya kapasitas lahan dalam menyimpan air. Hal ini selaras dengan temuan Orimoloye et al. (2019) dan Mistry & Suryanarayana (2023) yang menunjukkan bahwa peningkatan area terbangun berkorelasi kuat dengan memburuknya kondisi kekeringan pada wilayah kota. Sementara itu, populasi penduduk menggambarkan besarnya tekanan penggunaan air domestik. Semakin tinggi jumlah penduduk, semakin besar pula kebutuhan air bersih, dan semakin rentan wilayah tersebut terhadap kekeringan, terutama pada kawasan yang tidak memiliki pasokan air baku yang memadai. Penelitian Smirnov et al. (2016) mendukung temuan tersebut dengan menyatakan bahwa pertumbuhan penduduk merupakan salah satu pemicu meningkatnya kerentanan terhadap kelangkaan air.

Selanjutnya, proses perhitungan dimulai dengan mengalikan nilai rata-rata NDDI di setiap zona dengan bobot 0,4 yang mencerminkan pengaruh signifikan kondisi vegetasi terhadap tingkat kekeringan. Selanjutnya, nilai populasi dan luas area terbangun masing-masing dikalikan dengan bobot 0,3. Populasi di setiap kelurahan menjadi faktor penting karena tingginya kepadatan penduduk berpotensi memperburuk dampak kekeringan, sementara area terbangun menggambarkan seberapa luas wilayah yang telah terurbanisasi, yang dapat mengurangi kapasitas penyerapan air tanah dan memperburuk genangan dan kekeringan. Penentuan bobot ini juga mempertimbangkan temuan-temuan dari penelitian sebelumnya yang menekankan bahwa faktor-faktor ini, kondisi vegetasi, populasi, dan urbanisasi, merupakan determinan utama terhadap kekeringan di wilayah perkotaan.

Setelah masing-masing nilai faktor dikalikan dengan bobot yang sesuai, hasilnya dijumlahkan untuk menghasilkan skor kerentanan kekeringan bagi setiap zona (kelurahan). Skor akhir ini memberikan gambaran spasial tentang tingkat kerentanan kekeringan yang terjadi di setiap kelurahan, dengan mempertimbangkan kesehatan vegetasi, kepadatan penduduk, dan luasnya area terbangun. Semakin tinggi skor kekeringan yang dihasilkan, semakin besar kemungkinan zona tersebut mengalami kerusakan ekosistem dan krisis air akibat kekeringan.

Skor yang dihitung melalui simulasi ini kemudian digunakan sebagai variabel target dalam model *Machine Learning*. Model ini dilatih untuk mempelajari pola hubungan antara skor kerentanan dan karakteristik lingkungan serta sosial-ekonomi di Kota Kupang. Dengan menggunakan data latih yang mencakup skor kerentanan, NDDI, populasi, dan area terbangun, model *Machine Learning* ini dapat memperkirakan tingkat kekeringan di berbagai zona di masa depan, bahkan di luar periode analisis historis. Proses ini tidak hanya membantu memetakan daerah-daerah yang paling terdampak kekeringan, tetapi juga mendukung upaya perencanaan dan mitigasi risiko kekeringan yang lebih efektif di masa yang akan datang.

4.5.2 Evaluasi Kinerja Model *Machine Learning*

Dalam penelitian ini, tiga model *Machine Learning*, Random Forest (RF), Support *Vector Machine* (SVM), dan *Artificial Neural Network* (ANN), dilatih menggunakan data zonal statistik dari tahun 2023 untuk memprediksi skor kerentanan kekeringan. Ketiga model ini dipilih karena memiliki karakteristik yang berbeda dalam menangani data non-linear dan kompleks, sehingga diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat tentang kerentanan kekeringan di Kota Kupang.

Setiap model dievaluasi berdasarkan koefisien determinasi (R^2), yang merupakan ukuran dari seberapa baik model dapat menjelaskan variansi dalam data. Nilai R^2 berkisar antara 0 hingga 1, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan model yang lebih baik dalam menangkap pola data dan meminimalkan kesalahan prediksi. Tabel berikut menunjukkan hasil evaluasi kinerja masing-masing model *Machine Learning* berdasarkan R^2 . Tabel *R-squared* dari tiap model *Machine Learning* dapat dilihat pada Tabel 4.22.

**Tabel 4 18 Evaluasi Kinerja Model *Machine Learning*
Berdasarkan R-squared (R^2)**

Model <i>Machine Learning</i>	<i>R-Squared</i> (R^2)
<i>Random Forest</i>	0.9871
<i>Support Vector Machine</i> (SVM)	-0.2614
<i>Artificial Neural Network</i> (ANN)	0.9003

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Model *Random Forest* menghasilkan R^2 sebesar 0.9871, yang menunjukkan kinerja prediksi yang sangat baik. Nilai R^2 yang tinggi ini mengindikasikan bahwa model dapat menjelaskan hampir seluruh variasi dalam data dengan kesalahan yang relatif kecil. *Random Forest* bekerja dengan baik dalam menangani dataset besar dan kompleks, serta mampu mengidentifikasi interaksi antara variabel yang memengaruhi skor kerentanan kekeringan. Hasil ini menunjukkan bahwa *Random Forest* adalah model yang sangat akurat dan reliabel dalam memprediksi kerentanan kekeringan di Kota Kupang.

Di sisi lain, model *Support Vector Machine* (SVM) memperoleh R^2 sebesar -0.2614, yang menunjukkan performa yang sangat buruk. Nilai R^2 negatif mengindikasikan bahwa model tidak dapat memodelkan hubungan dalam data dengan baik, bahkan hasil prediksinya lebih buruk dibandingkan dengan model yang hanya menggunakan rata-rata data. Kemungkinan besar, hasil ini disebabkan oleh kesalahan dalam pemilihan parameter atau kernel yang digunakan dalam model SVM, yang tidak sesuai dengan karakteristik data kerentanan kekeringan.

Sedangkan, Model *Artificial Neural Network* (ANN) menghasilkan R^2 sebesar 0.9003, yang menunjukkan bahwa model ini memiliki kinerja yang baik dalam memprediksi skor kerentanan kekeringan, tetapi tidak sebaik *Random Forest*. Meskipun ANN dapat mempelajari pola data nonlinier dengan baik, hasil R^2 ini menunjukkan bahwa model masih memiliki tingkat kesalahan prediksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Random Forest*. Ini bisa terjadi karena jaringan saraf mungkin membutuhkan lebih banyak data atau

penyetelan parameter yang lebih hati-hati untuk mencapai akurasi yang lebih tinggi.

Berdasarkan hasil evaluasi ini, *Random Forest* dipilih sebagai model terbaik untuk memprediksi skor kerentanan kekeringan di Kota Kupang. R^2 yang sangat tinggi (0.9871) menunjukkan bahwa model ini memiliki kemampuan prediksi yang sangat akurat dan dapat menghasilkan estimasi yang sangat andal dalam memetakan tingkat kekeringan. Keunggulan Random Forest dalam menangani data besar, kompleks, dan nonlinier menjadikannya pilihan utama dalam simulasi prediksi ini.

Meskipun ANN memiliki performa yang cukup baik dengan R^2 sebesar 0.9003, dan SVM tidak berhasil memberikan hasil yang memadai, Random Forest menunjukkan akurasi dan konsistensi yang lebih superior, sehingga menjadi model yang paling dapat diandalkan untuk tujuan prediksi jangka panjang. Hasil ini juga memberikan dasar yang kuat bagi perencanaan mitigasi kekeringan yang lebih efektif di Kota Kupang, karena model ini dapat memprediksi dengan sangat akurat kerentanan kekeringan yang mungkin terjadi di masa depan.

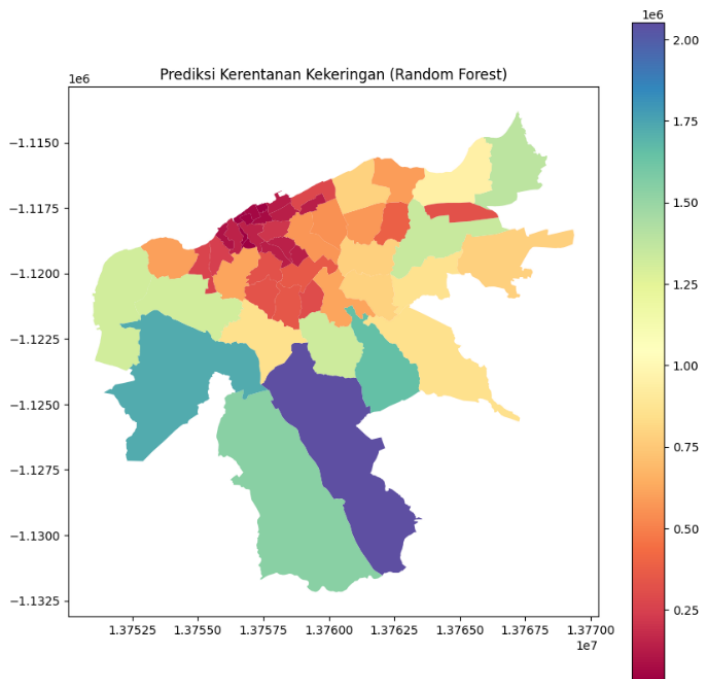
Pemilihan *Random Forest* sebagai model yang paling sesuai didasarkan pada evaluasi kinerja dan kemampuannya dalam memberikan hasil prediksi yang sangat baik. Grafik yang menunjukkan hasil performa model ini dapat dilihat pada Grafik 4, yang menggambarkan akurasi prediksi dari ketiga model *Machine Learning* yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, *Random Forest* terbukti mampu memberikan hasil yang lebih baik dalam memodelkan kerentanan kekeringan, sehingga memberikan *insight* yang lebih dalam dan relevan bagi perencanaan kebijakan mitigasi di Kota Kupang.

4.5 Pemodelan Spasial Penyusunan Prediksi Bencana Kekeringan Berdasarkan Karakteristik Tingkat Kekeringan

Pemodelan spasial kerentanan kekeringan pada penelitian ini dilakukan untuk menggambarkan bagaimana dinamika kekeringan di Kota Kupang terbentuk serta memprediksi pola risikonya di masa mendatang. Penyusunan prediksi bencana kekeringan dilakukan dengan mengintegrasikan hasil identifikasi karakteristik kekeringan dan pendekatan model yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, prediksi dilakukan menggunakan model Random Forest yang telah terbukti memiliki tingkat akurasi tertinggi. Metode yang digunakan tidak hanya mengidentifikasi kondisi kekeringan pada tahun dasar (2023), tetapi juga mensimulasikan bagaimana kerentanan tersebut berubah hingga tahun 2030 dan 2040. Proses prediksi diawali dengan penyusunan skor kerentanan kekeringan yang merupakan hasil pembobotan dari tiga variabel utama, yaitu NDDI (40%), populasi (30%), dan area terbangun (30%). Pembobotan ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan tetap menjadi faktor dominan, namun tekanan manusia juga memiliki kontribusi signifikan terhadap bencana kekeringan. Secara keseluruhan, tahapan pemodelan terdiri dari tiga proses utama, yaitu (1) simulasi skor kerentanan kekeringan, (2) evaluasi kinerja model *Machine Learning*, dan (3) prediksi spasial kerentanan kekeringan jangka menengah dan jangka panjang. Ketiga tahapan ini membentuk kerangka pemodelan yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan mitigasi dan adaptasi kekeringan di Kota Kupang.

4.5.1 Prediksi Bencana Kekeringan Kota Kupang

Prediksi bencana kekeringan Kota Kupang didapatkan setelah melalui tahapan pelatihan dan evaluasi beberapa model *Machine Learning*. Hasil menunjukkan bahwa model Random Forest memberikan performa terbaik dengan nilai R-Squared (R^2) paling tinggi dibandingkan dengan model *Support Vector Machine* (SVM) dan *Artificial Neural Network* (ANN). Berdasarkan kinerja ini, model Random Forest dipilih untuk digunakan dalam memprediksi kerentanan terhadap kekeringan di masa depan. Visualisasi prediksi kerentanan kekeringan disajikan melalui Gambar 4.



Gambar 4 3 Prediksi Kekeringan Menggunakan Model Random Forest

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Hasil prediksi menunjukkan bahwa beberapa wilayah di Kota Kupang memiliki risiko kekeringan yang relatif rendah, yang ditandai dengan warna hijau pada peta. Wilayah-wilayah seperti Naioni, Manulai II, dan Fatukoa termasuk dalam kategori ini. Faktor-faktor yang mendukung ketahanan di wilayah-wilayah ini meliputi ketersediaan sumber daya air yang lebih baik, populasi yang lebih rendah, dan area terbangun yang terbatas. Kondisi ini memungkinkan tanah untuk mempertahankan kelembapan lebih lama, mengurangi risiko kekeringan yang parah. Wilayah-wilayah ini memiliki potensi yang lebih baik untuk menghadapi kondisi kekeringan, meskipun pemantauan dan pengelolaan sumber daya air tetap diperlukan untuk menjaga ketahanan.

Selanjutnya, wilayah dengan risiko kekeringan menengah di Kota Kupang ditandai dengan warna kuning pada peta dan mencakup daerah seperti Kolhua, Bello, dan Sikumana. Meskipun tidak berada dalam kategori risiko tertinggi, wilayah-wilayah ini masih memerlukan perhatian khusus. Populasi yang cukup signifikan dan area terbangun yang berkembang pesat dapat meningkatkan tekanan pada sumber daya air dan tanah di wilayah-wilayah ini. Oleh karena itu, diperlukan tindakan preventif dan strategi pengelolaan air yang efektif untuk mengurangi risiko kekeringan yang mungkin meningkat di masa depan.

Beberapa wilayah di Kota Kupang, seperti Kelurahan Airmata, Manutapen, Bonipoi, dan Oepura, menunjukkan risiko kekeringan yang tinggi, yang ditandai dengan warna merah dan oranye pada peta. Tingginya populasi dan luasnya area terbangun di wilayah-wilayah ini berkontribusi secara signifikan terhadap rendahnya kapasitas tanah untuk menyimpan air, yang pada gilirannya meningkatkan kerentanan terhadap kekeringan. Urbanisasi yang cepat dan padatnya penduduk memperburuk situasi, membuat wilayah-wilayah ini sangat rentan terhadap kekeringan. Oleh karena itu, diperlukan intervensi segera dalam bentuk strategi mitigasi dan adaptasi iklim yang lebih kuat, serta perencanaan tata ruang yang lebih bijak untuk mengurangi dampak kekeringan di wilayah-wilayah ini.

Sedangkan, Wilayah Batuplat, Namosain, dan Kelurahan Oetete menempati posisi sebagai wilayah dengan risiko kekeringan sangat tinggi, yang ditandai dengan warna oranye kemerahan pada peta. Kondisi di wilayah-wilayah ini sangat memprihatinkan, terutama karena kombinasi dari urbanisasi yang masif dan kepadatan penduduk yang tinggi. Faktor-faktor ini mengurangi kemampuan tanah untuk menyimpan air, meningkatkan risiko kekeringan secara signifikan. Wilayah-wilayah ini memerlukan perhatian yang sangat serius dalam

hal pengelolaan sumber daya air dan penerapan strategi mitigasi yang intensif. Tindakan yang cepat dan tepat diperlukan untuk mengurangi dampak potensial dari kekeringan yang parah di masa mendatang. Selengkapanya, hasil prediksi tingkat kerentanan kekeringan di Kota Kupang berdasarkan kelurahan dapat dilihat melalui Tabel 4.23.

Selain itu, temuan menarik yang diidentifikasi ialah fenomena penurunan tingkat kekeringan dari kategori tinggi menuju kategori lebih rendah atau stabil pada beberapa kelurahan, yang merupakan temuan penting karena bertolak belakang dengan tren umum peningkatan kerentanan di Kota Kupang. Secara teoritis, kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas adaptif lingkungan masih berfungsi dengan baik. Artinya, meskipun wilayah tersebut sebelumnya memiliki tingkat kekeringan tinggi (ditunjukkan oleh nilai NDDI yang tinggi), terdapat faktor lain yang mampu menekan peningkatan kerentanan sehingga tidak berkembang menjadi kondisi yang lebih buruk di masa depan.

Jika ditinjau dari variabel indeks kekeringan (NDDI), penurunan tingkat kekeringan dapat terjadi ketika kondisi vegetasi dan kelembapan tanah mengalami perbaikan relatif. Pada beberapa wilayah dengan nilai NDDI tinggi seperti Tode Kisar (5,78) dan Naikoten Satu (12,38), tingkat kekeringan secara lingkungan memang ekstrem. Namun, kondisi ini tidak selalu berbanding lurus dengan kerentanan jangka panjang apabila tidak diikuti oleh degradasi lanjutan. Dalam beberapa kasus, wilayah dengan tekanan manusia yang rendah memungkinkan vegetasi untuk tetap bertahan atau pulih, sehingga secara bertahap menurunkan tingkat kekeringan relatif.

Dari sisi populasi, penurunan tingkat kekeringan sangat dipengaruhi oleh rendahnya tekanan kebutuhan air. Data menunjukkan bahwa beberapa wilayah dengan NDDI tinggi justru memiliki jumlah penduduk yang relatif kecil, seperti Tode Kisar (1.259 jiwa) dan Merdeka (2.196 jiwa). Kondisi ini menyebabkan konsumsi air tidak terlalu besar, sehingga cadangan air tanah tidak mengalami eksploitasi berlebihan. Dengan demikian, meskipun secara alami wilayah tersebut kering, tekanan terhadap sistem hidrologi tetap terkendali, yang berkontribusi pada penurunan atau stabilitas tingkat kekeringan.

Selanjutnya, variabel area terbangun juga memainkan peran penting dalam fenomena ini. Wilayah dengan tingkat kekeringan yang menurun umumnya memiliki area terbangun yang tidak sepenuhnya dominan atau masih memiliki ruang terbuka. Contohnya adalah Penfui yang memiliki area terbangun relatif rendah (3,03), sehingga memungkinkan proses infiltrasi air tetap berlangsung dengan baik.

Rendahnya tingkat urbanisasi membantu menjaga keseimbangan hidrologi, karena air hujan masih dapat meresap ke dalam tanah dan mengisi kembali cadangan air tanah.

Selain itu, interaksi antara ketiga variabel tersebut menunjukkan bahwa penurunan tingkat kekeringan terjadi akibat ketidakseimbangan tekanan antara faktor alami dan faktor manusia. Pada wilayah dengan NDDI tinggi tetapi populasi rendah dan urbanisasi terbatas, faktor alami memang menunjukkan kondisi kering, namun tidak diperparah oleh aktivitas manusia. Sebaliknya, pada wilayah dengan populasi tinggi dan area terbangun luas, kondisi kekeringan cenderung meningkat karena tekanan yang terus bertambah terhadap sumber daya air.

Fenomena ini juga mengindikasikan bahwa kekeringan tidak bersifat statis, melainkan dapat mengalami perubahan tergantung pada dinamika lingkungan dan sosial. Penurunan tingkat kekeringan pada beberapa wilayah menunjukkan adanya potensi resiliensi lokal, yaitu kemampuan wilayah untuk mempertahankan kondisi atau bahkan memperbaiki tingkat kerentanannya. Hal ini menjadi penting dalam konteks perencanaan wilayah, karena menunjukkan bahwa intervensi seperti pengendalian pembangunan dan perlindungan ruang terbuka hijau dapat memberikan dampak nyata terhadap pengurangan risiko kekeringan.

Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa penurunan tingkat kekeringan dari tinggi ke lebih rendah bukanlah suatu anomali, melainkan hasil dari kombinasi kondisi lingkungan yang masih mendukung, tekanan populasi yang rendah, serta tingkat urbanisasi yang terkendali.

Tabel 4 19 Distribusi Prediksi Tingkat Kerentanan Kekeringan di Kota Kupang (2019-2023)

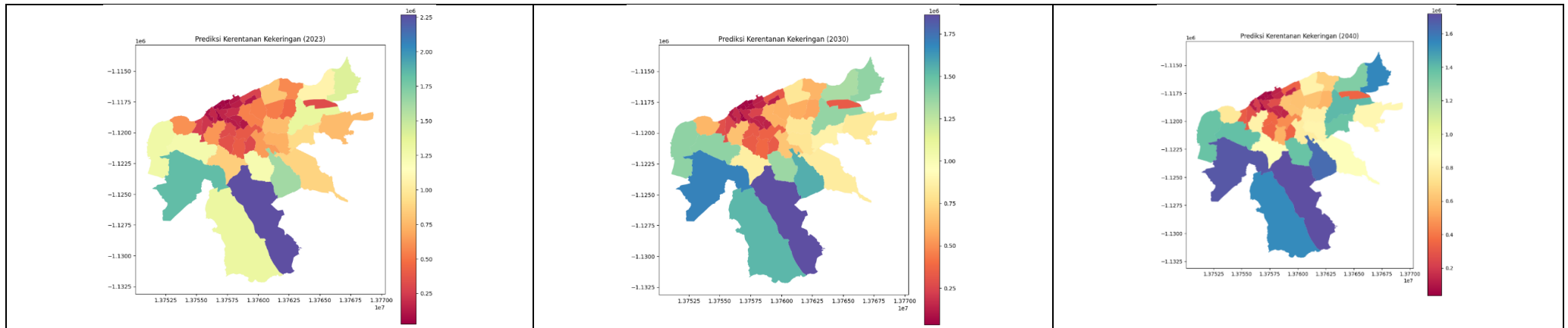
No	Kelurahan	Tingkat Kerentanan Kekeringan
1	Manulai 2	Rendah
2	Alak	Rendah
3	Manutapen	Tinggi
4	Mantasi	Tinggi
5	Fatufeto	Rendah
6	Nunhila	Rendah

No	Kelurahan	Tingkat Kerentanan Kekeringan
7	Nunbaun Delha	Rendah
8	Nunbaun Sabu	Rendah
9	Namosain	Sangat Tinggi
10	Penkase Oeleta	Tinggi
11	Batuplat	Rendah
12	Naioni	Rendah
13	Fatukoa	Sedang
14	Sikumana	Sedang
15	Bello	Sedang
16	Kolhua	Sedang
17	Penfui	Rendah
18	Naimata	Sedang
19	Maulafa	Sedang
20	Oepura	Tinggi
21	Naikolan	Rendah
22	Oetete	Sangat Tinggi
23	Oebobo	Tinggi
24	Fatululi	Tinggi
25	Oebufu	Sedang
26	TDM	Tinggi
27	Kayu Putih	Sedang
28	Liliba	Sedang
29	Bakunase	Sedang
30	Bakunase II	Sedang
31	Airmona	Sedang
32	Naikoten I	Tinggi
33	Naikoten II	Sangat Tinggi
34	Kuanino	Sangat Tinggi
35	Nunleu	Tinggi

No	Kelurahan	Tingkat Kerentanan Kekeringan
36	Fontein	Tinggi
37	Kelapa Lima	Sedang
38	Oesapa	Rendah
39	Oesapa Barat	Sedang
40	Oesapa Selatan	Sedang
41	Lasiana	Rendah
42	Air Mata	Sangat Tinggi
43	LLBK	Tinggi
44	Bonipoi	Tinggi
45	Merdeka	Tinggi
46	Solor	Tinggi
47	Tode Kisar	Tinggi
48	Oeba	Sedang
49	Fatubesi	Tinggi
50	Nefonaik	Rendah
51	Pasir Panjang	Tinggi

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Selanjutnya, untuk memahami potensi dampak kekeringan pada tahun 2023 dan tahun-tahun yang akan datang, yaitu pada tahun 2030 dan 2040, peneliti menyajikan visualisasi hasil prediksi yang telah dikembangkan. Visualisasi ini menyajikan data secara komprehensif, menggambarkan pola distribusi dan tingkat kekeringan di berbagai wilayah kelurahan di Kota Kupang. Visualisasi prediksi kekeringan pada tahun 2023, 2030 dan 2040 dapat dilihat melalui Gambar 5.



Peta 4 8 Prediksi Kekeringan Tahun 2023, 2030, dan 2040

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Peta 4.8 prediksi kekeringan di Kota Kupang untuk tahun 2023 menunjukkan variasi tingkat kerentanan berdasarkan skala warna, di mana semakin rendah warnanya (merah), semakin tinggi kerentanannya, dan sebaliknya, semakin tinggi warnanya (hijau), semakin rendah kerentanannya. Peta ini didasarkan pada tiga variabel utama: NDDI (*Normalized Difference Drought Index*) yang menyumbang 40% dalam perhitungan skor kekeringan, populasi dengan kontribusi 30%, dan area terbangun yang juga memberikan kontribusi 30%. NDDI memberikan gambaran mengenai kondisi kelembapan tanah dan ketersediaan air, sementara populasi dan area terbangun mencerminkan tekanan manusia terhadap sumber daya air.

Dari peta 4.8, terlihat bahwa wilayah bagian utara dan tengah seperti Maulafa, Oesapa, dan Namosain memiliki kekeringan yang sangat tinggi, ditunjukkan dengan warna merah. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh kombinasi NDDI yang rendah, populasi padat, dan area terbangun yang luas. Sebaliknya, wilayah bagian selatan seperti Naioni, Fatukoa, dan Manulai II menunjukkan tingkat kekeringan yang rendah, yang ditandai dengan warna hijau, yang mungkin terkait dengan kondisi kelembapan tanah yang lebih baik, populasi yang lebih sedikit, atau area terbangun yang lebih sedikit. Wilayah lain seperti Alak, Kolhua, dan Bello menunjukkan kerentanan sedang dengan warna kuning hingga ungu, yang menunjukkan kondisi yang berada di antara kedua ekstrem tersebut.

Tabel 4 20 Kategori Kerentanan Kekeringan Tahun 2023, 2030, dan 2040 (Hasil Pemodelan Random Forest)

Kelurahan	Kategori 2023	Kategori 2030 (Prediksi)	Kategori 2040 (Prediksi)	Keterangan Utama
Oebobo	Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Populasi padat, area terbangun luas, kelembapan rendah
Kelapa Lima	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Urbanisasi cepat, tekanan air meningkat
Oetete	Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Pusat aktivitas kota, RTH terbatas
Airnona	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Kepadatan meningkat, NDVI turun
Bakunase I	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Perluasan permukiman, air tanah menurun

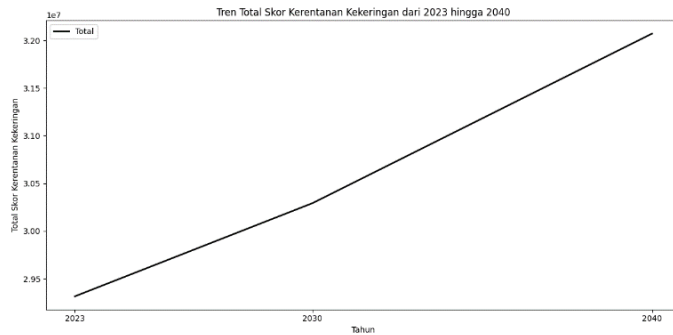
Kelurahan	Kategori 2023	Kategori 2030 (Prediksi)	Kategori 2040 (Prediksi)	Keterangan Utama
Bakunase II	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Tekanan populasi tinggi
Nefonaek	Sedang	Tinggi	Tinggi	Penurunan vegetasi bertahap
Naikoten I	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Aktivitas komersial tinggi
Naikoten II	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Area terbangun meningkat cepat
Fontein	Rendah	Sedang	Sedang	Vegetasi lebih banyak
Kupang Kota	Sedang	Sedang	Tinggi	Pertumbuhan sedang
Lahilai Bissi Kopan	Sedang	Tinggi	Tinggi	Urbanisasi bertahap
Fatululi	Sedang	Tinggi	Tinggi	Kelembapan menurun
Kuanino	Sedang	Tinggi	Tinggi	RTH berkurang
Liliba	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Sumur dangkal menurun
Lasiana	Rendah	Rendah	Sedang	Zona pesisir masih punya kelembapan relatif baik
Oesapa	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Perumahan padat; hotspot kebakaran sering
Oesapa Barat	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Kepadatan tinggi
Fatukoa	Rendah	Rendah	Rendah	Wilayah vegetasi luas, tekanan air rendah
Naioni	Rendah	Rendah	Rendah	Kelembapan tanah tinggi, area hijau besar
Manulai II	Rendah	Rendah	Rendah	Tekanan penduduk kecil, tidak padat
Bello	Sedang	Tinggi	Tinggi	Dekat area bukit kering
Maulafa	Tinggi	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Salah satu wilayah paling padat
Sikumana	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	Pertumbuhan penduduk cepat

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Hasil analisis Tabel 4.24 menunjukkan bahwa tingkat kerentanan kekeringan di Kota Kupang membentuk pola spasial yang berbeda pada setiap kelompok wilayah. Kelurahan seperti Naioni, Manulai II, dan Fatukoa termasuk dalam kategori kerentanan rendah yang relatif stabil dari waktu ke waktu. Ketiga wilayah ini memiliki karakteristik ekologis yang lebih baik, seperti tutupan vegetasi yang luas, tekanan populasi yang lebih rendah, serta area terbangun yang terbatas, sehingga kapasitas tanah untuk menyimpan air tetap terjaga meskipun terjadi musim kemarau panjang. Sementara itu, wilayah seperti Fontein dan Kota Kupang menunjukkan peningkatan kerentanan pada tingkat sedang, di mana urbanisasi terjadi lebih bertahap dan tidak seintensif kawasan pusat kota. Kenaikan kategori kerentanan ini mencerminkan adanya perubahan pemanfaatan lahan, tetapi masih berada dalam batas yang dapat dikendalikan.

Di sisi lain, sejumlah kelurahan seperti Oebobo, Oetete, Airnona, Bakunase, Naikoten, dan Kelapa Lima mengalami lonjakan kerentanan yang cukup signifikan, bergerak dari kategori “sedang” menuju “tinggi” bahkan “sangat tinggi” dalam periode 2023–2040. Wilayah-wilayah ini merupakan pusat pertumbuhan kota dengan kepadatan penduduk yang tinggi, dominasi area terbangun, serta minimnya ruang terbuka hijau, sehingga tekanan terhadap ketersediaan air bersih semakin besar dari tahun ke tahun. Peningkatan kerentanan pada kelurahan tersebut menggambarkan hubungan erat antara urbanisasi pesat, penurunan kapasitas resapan air, dan tingginya intensitas aktivitas penduduk.

Selain itu, terdapat wilayah yang dikategorikan memiliki risiko ekologis tinggi, seperti Oesapa, Oesapa Barat, dan Bello. Ketiga wilayah ini ditandai oleh nilai NDVI yang rendah dan vegetasi yang mudah mengering, sehingga sangat rentan terhadap kebakaran lahan pada musim kemarau. Kombinasi antara kondisi tanah kering, tutupan vegetasi yang menurun, serta angin timur yang kuat menyebabkan wilayah tersebut memiliki tingkat kerawanan ekologis yang lebih besar dibandingkan dengan kelurahan lainnya. Secara keseluruhan, pola kerentanan ini memberikan gambaran bahwa pusat kota dan wilayah dengan tekanan ekologis tinggi memerlukan prioritas mitigasi, sementara wilayah pinggiran dengan vegetasi kuat berpotensi menjadi zona penyangga dalam menghadapi kekeringan jangka panjang.



Grafik 4 7 Tren Total Skor Kekeringan 2023-2040

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Grafik tren total skor kekeringan menunjukkan bahwa risiko kekeringan di Kota Kupang mengalami peningkatan konsisten dari tahun 2023 hingga 2040. Pada tahun 2023, total skor kekeringan berada pada kisaran 29,3 juta dan mengalami kenaikan pada tahun 2030 menjadi sekitar 30,3 juta. Peningkatan ini mencerminkan pertambahan tekanan terhadap sumber daya air akibat pertumbuhan penduduk dan perluasan area terbangun yang mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap dan menyimpan air. Tren ini semakin jelas pada tahun 2040, ketika total skor kerentanan meningkat secara signifikan hingga mencapai lebih dari 32 juta. Lonjakan skor dalam periode 2030–2040 ini menunjukkan bahwa akumulasi kerentanan tidak hanya disebabkan oleh faktor iklim, tetapi juga oleh dinamika urbanisasi, penurunan tutupan vegetasi, dan peningkatan kebutuhan air rumah tangga yang tidak diimbangi oleh peningkatan kapasitas infrastruktur air. Secara keseluruhan, grafik ini memberikan gambaran bahwa Kota Kupang berpotensi menghadapi tekanan kekeringan yang jauh lebih berat di masa depan dan membutuhkan intervensi mitigasi yang lebih komprehensif agar peningkatan risiko tersebut dapat dikendalikan.



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Beberapa kelurahan lain seperti Fatukoa, Naioni, Manulai II,

rendah, serta tekanan demografis yang tidak sebesar di pusat kota. Wilayah-wilayah ini berperan sebagai zona penyangga ekologis yang membantu mempertahankan kelembapan tanah dan mengurangi intensitas kekeringan jangka panjang. Meskipun demikian, tren yang tetap bergerak naik mengindikasikan bahwa efek perubahan iklim dan distribusi hujan yang semakin tidak merata tetap memengaruhi hampir seluruh wilayah.

Kelurahan yang memiliki risiko ekologis tinggi seperti Oesapa, Oesapa Barat, dan Bello juga memperlihatkan peningkatan skor kekeringan yang signifikan. Kenaikan tren pada wilayah ini terkait dengan kondisi vegetasi yang mudah mengering, nilai NDVI rendah, serta posisi geografis yang rentan terhadap angin timur dan musim kering panjang. Kombinasi faktor fisik dan sosial menjadikan wilayah-wilayah tersebut semakin membutuhkan perhatian dalam perencanaan mitigasi kekeringan. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa bencana kekeringan di Kota Kupang tidak hanya meningkat secara agregat, tetapi juga memperlihatkan pola spasial yang berulang, di mana wilayah pusat kota mengalami peningkatan tercepat, wilayah pinggiran stabil namun tetap naik, dan wilayah ekologi kritis mengalami lonjakan signifikan. Tren kenaikan pada seluruh kelurahan menegaskan perlunya strategi adaptasi dan mitigasi kekeringan yang terarah, terutama melalui penguatan infrastruktur air, penataan ruang terbuka hijau, serta manajemen air tanah yang lebih berkelanjutan.

Analisis ini mengindikasikan bahwa wilayah dengan kerentanan tinggi perlu mendapat perhatian khusus dalam manajemen air, termasuk program konservasi air dan peningkatan infrastruktur irigasi. Selain itu, perencanaan pembangunan di daerah rentan harus dilakukan secara hati-hati untuk menghindari peningkatan kerentanan, sementara di wilayah dengan populasi tinggi dan kerentanan tinggi, langkah-langkah pengurangan tekanan pada sumber daya air sangat diperlukan. Pemahaman mengenai distribusi kerentanan kekeringan ini sangat penting untuk merancang kebijakan mitigasi risiko yang efektif di Kota Kupang.

Berdasarkan hasil indeks kekeringan di Kota Kupang tahun 2030, dapat dilihat bahwa bagian utara Kota Kupang memiliki tingkat kekeringan yang sangat tinggi, ditunjukkan oleh warna merah yang dominan. Wilayah seperti Bakunase, Bakunase II, Naikoten I, Naikoten II, dan Airnona berada di antara daerah dengan kerentanan tertinggi. Tingginya kerentanan di wilayah-wilayah ini disebabkan oleh kombinasi dari nilai NDDI yang rendah, populasi yang padat, dan area terbangun yang luas, yang meningkatkan risiko kekeringan.

Di sisi lain, wilayah yang berwarna oranye hingga kuning seperti Oebobo, Pasir Panjang, dan Kayu Putih menunjukkan tingkat kekeringan yang sedang. Meskipun risiko kekeringan masih ada, daerah-daerah ini memiliki sedikit lebih banyak ketersediaan air atau tekanan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang berwarna merah. Sementara itu, bagian barat laut seperti Namosain dan Penkase Oeleta yang berwarna hijau menunjukkan tingkat kekeringan yang lebih rendah. Ini mungkin karena kondisi NDDI yang lebih baik dan kemungkinan populasi serta pembangunan yang lebih rendah di wilayah ini, yang memungkinkan tanah untuk tetap mempertahankan kelembapannya.

Ilustrasi ini memperlihatkan bahwa wilayah tengah dan utara Kota Kupang memerlukan perhatian khusus dalam hal manajemen air dan mitigasi risiko kekeringan. Wilayah-wilayah yang lebih rentan harus difokuskan pada pengembangan strategi pengelolaan air yang efektif dan upaya konservasi untuk mengurangi dampak kekeringan yang semakin parah di masa depan. Secara keseluruhan, hasil prediksi untuk tahun 2030 menekankan perlunya fokus mitigasi di wilayah-wilayah dengan tingkat kekeringan yang tinggi di bagian utara dan tengah Kota Kupang. Strategi seperti pengelolaan air yang lebih baik, kontrol pertumbuhan populasi, dan perencanaan pembangunan yang berkelanjutan akan sangat penting untuk mengurangi risiko kekeringan. Sementara itu, wilayah dengan tingkat kekeringan rendah harus dipertahankan melalui upaya konservasi lingkungan yang berkelanjutan dan pengelolaan air yang efisien untuk memastikan mereka tetap terlindungi dari potensi kekeringan di masa depan.

Sedangkan peta prediksi kekeringan di Kota Kupang tahun 2040 secara jelas mengidentifikasi wilayah-wilayah dengan tingkat kekeringan yang bervariasi. Wilayah dengan warna merah tua, seperti Oebobo, Oetete, Airnona, dan Bakunase, diindikasikan akan menghadapi risiko kekeringan yang paling tinggi. Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap tingginya kekeringan ini kemungkinan besar meliputi skor NDDI (*Normalised Difference Drought Index*) yang tinggi, populasi yang padat, dan tingkat pembangunan yang intensif. Sementara itu, wilayah dengan warna merah, seperti Oebufo dan Kayu Putih, juga menunjukkan tingkat kekeringan yang tinggi, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dengan daerah merah tua. Daerah yang diwarnai oranye, seperti Naikoten I dan II serta Oepura, memiliki kerentanan kekeringan menengah, yang mengindikasikan risiko kekeringan yang moderat. Di sisi lain, wilayah dengan warna kuning seperti Kolhua, Bello, dan Sikumana diprediksi memiliki kekeringan yang lebih rendah, sementara daerah dengan warna hijau muda seperti Penfui dan Naimata menunjukkan risiko yang rendah. Terakhir, wilayah yang diwarnai hijau tua hingga biru,

seperti Naioni, Lasiana, Manulai II, dan Alak, memiliki tingkat kekeringan terendah. Secara keseluruhan, peta ini mengindikasikan bahwa bagian tengah dan timur Kota Kupang akan memerlukan perhatian khusus dalam mitigasi risiko kekeringan, sementara bagian barat dan selatan lebih resisten terhadap kekeringan.