

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Bencana Kekeringan

Bencana kekeringan adalah suatu peristiwa yang mengancam atau mengganggu kehidupan masyarakat di mana kebutuhan air tetap atau bahkan meningkat, namun persediaan atau cadangan air tanah menurun sehingga ketersediaan air tidak dapat mencukupi kebutuhan harian (Buku Manajemen Bencana, 2022). Menurut UU No 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, bencana kekeringan adalah ketersediaan air yang jauh di bawah kebutuhan air untuk kebutuhan hidup, pertanian, kegiatan ekonomi, dan lingkungan (Ayu Novita, 2022). Kekeringan sebagai bencana merupakan sebuah masalah bagi makhluk hidup, karena apabila makhluk hidup kekurangan air, akan berakibat buruk bagi kesehatan, bahkan bisa menyebabkan kematian, serta akan menimbulkan kekeringan bagi ekosistem.

2.1.1 Definisi Bencana Kekeringan

Kekeringan merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang ditandai dengan berkurangnya curah hujan di bawah kondisi normal selama periode waktu tertentu, sehingga mengakibatkan kekurangan air bagi kegiatan manusia, hewan, dan tanaman (IPCC, 2021). Menurut *United Nations Office for Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2022), kekeringan tidak hanya merupakan fenomena iklim semata, tetapi juga bencana yang dapat terjadi akibat kombinasi faktor meteorologis dan tekanan antropogenik. Kekeringan dikelompokkan menjadi empat jenis, yaitu: (1) kekeringan meteorologis, ditandai oleh berkurangnya curah hujan di bawah rata-rata normal; (2) kekeringan hidrologis, ketika pasokan air di sungai, waduk, dan air tanah berkurang; (3) kekeringan pertanian, yang mengganggu ketersediaan air bagi tanaman; dan (4) kekeringan sosial-ekonomi, yaitu saat kekurangan air mengganggu kegiatan ekonomi masyarakat (Wilhite & Glantz, 1985; BMKG, 2023). Dalam konteks perkotaan, kekeringan menjadi ancaman serius karena tingginya kebutuhan air domestik yang tidak sebanding dengan kapasitas penyediaan air bersih, terutama di wilayah dengan iklim semi-arid seperti Kota Kupang.

2.1.2 Definisi Kekeringan

Kekeringan bukan merupakan bencana yang memiliki dampak langsung ketika terjadi, melainkan merupakan bencana yang memiliki dampak semu yang terjadi secara perlahan dan dampaknya akan dirasakan kemudian (Rivi Neritarani, 2019). Kekeringan merupakan

fenomena alam yang sering terjadi dan menimbulkan bencana akibat tidak seimbangnya antara kebutuhan dan pasokan air untuk berbagai keperluan dan biasanya disebabkan oleh musim kemarau yang lebih panjang dari biasanya (Buku Pintar Penanggulangan Kekeringan, Dion Yulianto, 2021). Kekeringan merupakan bencana alam yang menyebabkan kerugian terbesar di dunia dan memiliki dampak terbesar di antara semua bencana alam yang disebabkan oleh berkurangnya ketersediaan air dan panjangnya musim kemarau akibat anomali iklim (Jurnal Teknik Pengairan, 2021).

2.1.3 Faktor Bencana Kekeringan

Kekeringan merupakan fenomena yang timbul akibat interaksi kompleks antara faktor alamiah dan faktor antropogenik. Secara umum, kekeringan terjadi karena kondisi lokasi yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap perubahan iklim, bencana alam, serta anomali dalam siklus hidrologi (Widya Kusuma, 2019). Keadaan ini diperparah oleh ketidakseimbangan antara curah hujan dan kebutuhan air, yang menyebabkan defisit kelembapan tanah dan penurunan ketersediaan air permukaan maupun air tanah. Berdasarkan karakteristik kekeringan, indikatornya dapat diidentifikasi melalui tingkat keparahan, durasi atau lamanya kekeringan berlangsung, serta luas wilayah terdampak (Wilhite & Glantz, 2005). Ketiga indikator tersebut menggambarkan bagaimana kekeringan dapat berkembang dari peristiwa meteorologis menjadi bencana sosial-ekonomi apabila berlangsung lama dan meluas secara spasial.

Menurut Dion Yulianto (2021) dalam Buku Pintar Penanggulangan Kekeringan, penyebab utama kekeringan di Indonesia umumnya berkaitan dengan menurunnya curah hujan di bawah kondisi normal dalam satu musim, sehingga masyarakat kesulitan memperoleh air bersih untuk kebutuhan rumah tangga dan pertanian. Penurunan curah hujan yang signifikan ini dapat disebabkan oleh gangguan pola iklim regional maupun global seperti El Niño–Southern Oscillation (ENSO), yang sering memicu musim kemarau panjang di wilayah Indonesia bagian timur termasuk Nusa Tenggara Timur. Data BMKG (2023) mencatat bahwa pada tahun 2023–2024, sebagian besar wilayah NTT mengalami hari tanpa hujan lebih dari 90 hari, menandakan kekeringan meteorologis yang ekstrem. Dalam konteks perkotaan seperti Kota Kupang, kondisi tersebut diperparah oleh meningkatnya kebutuhan air akibat pertumbuhan penduduk yang pesat dan keterbatasan infrastruktur air bersih, yang menyebabkan kekeringan bertransformasi menjadi permasalahan sosial dan ekonomi yang kompleks.

Selain faktor iklim, kondisi geofisik wilayah juga memiliki peran penting dalam memicu kekeringan. Galih Permadi (2019) menjelaskan bahwa jenis tanah, topografi, dan karakteristik hidrologi suatu daerah berpengaruh besar terhadap kemampuan lahan dalam menahan air. Tanah bertekstur kasar seperti pasir memiliki kemampuan retensi air yang rendah, sehingga wilayah dengan komposisi tanah demikian cenderung lebih cepat mengalami kekeringan. Kondisi ini sesuai dengan karakteristik geologi wilayah Kupang yang didominasi batu gamping dan tanah berbatu, yang menyebabkan air hujan sulit terserap dan cadangan air tanah cepat menipis. Dari sisi hidrologi, berkurangnya debit sungai dan menurunnya muka air tanah menjadi indikator terjadinya kekeringan hidrologis. Penelitian oleh Suni, Karlina, & Sujono (2022) menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan di daerah aliran sungai Liliba mengakibatkan penurunan signifikan pada kapasitas penyerapan air, sehingga memperbesar potensi kekeringan di kawasan hilir.

Faktor manusia juga menjadi penyebab dominan dalam memperburuk kondisi kekeringan. Urbanisasi, konversi lahan hijau menjadi area terbangun, eksploitasi sumber air tanah, serta rendahnya kesadaran konservasi lingkungan menyebabkan terganggunya siklus air alami (Chefany et al., 2024). Pertumbuhan permukiman tanpa perencanaan drainase dan ruang terbuka hijau yang memadai membuat air hujan cepat menjadi limpasan (*runoff*) dan tidak sempat meresap ke dalam tanah. Akibatnya, pada musim kemarau cadangan air tanah menurun drastis dan masyarakat mengalami kekurangan air. Kondisi ini diperburuk oleh sistem pengelolaan air yang belum optimal, seperti kebocoran jaringan pipa PDAM, minimnya fasilitas penyimpanan air hujan, serta kurangnya sistem pengelolaan air terpadu di tingkat kota. Fenomena tersebut sejalan dengan temuan IPCC (2021) yang menegaskan bahwa degradasi lingkungan akibat aktivitas manusia, bila tidak diimbangi dengan kebijakan adaptif, akan meningkatkan frekuensi dan keparahan kekeringan di kawasan urban.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kekeringan tidak hanya disebabkan oleh faktor iklim semata, tetapi merupakan hasil interaksi antara kondisi alam, geologi, hidrologi, dan aktivitas manusia yang tidak berkelanjutan. Dalam konteks perencanaan wilayah dan kota, memahami berbagai faktor penyebab kekeringan sangat penting untuk menyusun strategi mitigasi yang efektif. Pendekatan spasial yang mengintegrasikan data iklim, kondisi fisik, dan dinamika sosial-ekonomi menjadi kunci dalam mengidentifikasi daerah rawan kekeringan dan merumuskan arahan kebijakan menuju kota yang tangguh terhadap perubahan iklim dan kelangkaan air.

2.2 Pemodelan Spasial

Pemodelan spasial merupakan salah satu pendekatan analitis dalam kajian geografi, perencanaan wilayah, dan ilmu lingkungan yang bertujuan untuk memahami pola, hubungan, serta dinamika fenomena di permukaan bumi berdasarkan dimensi ruang. Menurut Longley et al. (2015), pemodelan spasial adalah proses mentransformasikan data keruangan menjadi informasi baru melalui operasi analitis yang mempertimbangkan hubungan lokasi, jarak, bentuk, dan interaksi spasial antarobjek geografis. Pemodelan ini digunakan secara luas dalam analisis bencana, perubahan lingkungan, tata guna lahan, epidemiologi, ekonomi wilayah, hingga perencanaan transportasi.

Dalam konteks perencanaan dan analisis lingkungan, pemodelan spasial digunakan untuk menggambarkan bagaimana karakteristik suatu wilayah memengaruhi fenomena tertentu, seperti kekeringan, banjir, erosi, atau perubahan tutupan lahan. Malczewski (1999) menjelaskan bahwa pemodelan spasial memungkinkan peneliti melakukan simulasi dan prediksi terhadap fenomena lingkungan berdasarkan variabel-variabel spasial yang relevan. Pemodelan ini tidak hanya menggambarkan kondisi eksisting, tetapi juga menyediakan informasi prediktif sehingga dapat digunakan dalam penyusunan kebijakan berbasis bukti (*evidence-based planning*).

Pemodelan spasial pada dasarnya terdiri dari tiga komponen utama, yaitu data spasial, metode analisis, dan sistem informasi geografis (SIG). Data spasial dapat berupa citra satelit, data vektor (batas wilayah, jalan, bangunan), dan data raster (indeks vegetasi, curah hujan, suhu). SIG berfungsi sebagai alat untuk mengolah dan menganalisis data tersebut melalui operasi overlay, interpolasi, ekstraksi zonal, klasifikasi, dan transformasi geometrik. Menurut ESRI (2018), SIG menyediakan platform yang memungkinkan hubungan antar variabel dapat divisualisasikan dalam bentuk peta tematik dan model prediktif.

Dalam kajian kekeringan, pemodelan spasial menjadi sangat penting karena fenomena kekeringan bersifat tidak merata secara geografis dan dipengaruhi oleh variabel-variabel yang tersebar secara spasial, seperti kondisi vegetasi, tutupan lahan, populasi, kelembapan tanah, suhu permukaan, dan jarak terhadap sumber air. Penggunaan indeks berbasis citra satelit seperti NDVI, NDWI, dan NDDI menghasilkan representasi spasial yang lebih akurat mengenai kondisi vegetasi dan tingkat kekeringan suatu wilayah (Gu et al., 2007). Indeks-indeks ini memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap biomassa, kandungan air permukaan daun, dan stres kekeringan, sehingga dapat

membantu mengidentifikasi zona yang rentan dengan tingkat ketelitian yang lebih tinggi.

Pemodelan spasial kini berkembang melalui pemanfaatan berbagai teknologi geospasial modern, seperti Sistem Informasi Geografis (SIG), kartografi digital, penginderaan jauh, fotogrametri digital, big data geospasial, serta algoritma *Machine Learning* dan GeoAI (Artificial Intelligence). Selain itu, pendekatan berbasis *deep learning* dan teknologi imersif seperti GeoVR (Virtual Reality) turut memperkaya kemampuan analisis spasial, dan tidak menutup kemungkinan berbagai inovasi teknologi baru akan terus hadir di masa mendatang. Pemodelan spasial tidak lagi terbatas pada analisis deskriptif, tetapi telah meluas ke pemodelan prediktif dengan memanfaatkan algoritma *Machine Learning*. Algoritma seperti *Random Forest*, *Support Vector Machine*, dan *Artificial Neural Network* mampu mengolah data spasial dalam jumlah besar dan menemukan pola non-linear yang sulit dijelaskan dengan metode statistik tradisional (Hastie, Tibshirani & Friedman, 2009). Pendekatan ini sudah banyak digunakan dalam analisis kekeringan, perubahan iklim, prediksi banjir, serta pemodelan perubahan tutupan lahan. Pada penelitian di Korea Selatan, Park et al. (2019) menunjukkan bahwa *Random Forest* mampu memprediksi kekeringan vegetasi dengan akurasi tinggi karena dapat menangkap pengaruh multi-variabel secara bersamaan.

Pemodelan spasial prediktif memiliki beberapa keunggulan. Pertama, model prediktif dapat memproyeksikan kondisi masa depan berdasarkan pola historis dan variabel yang memengaruhi suatu fenomena. Kedua, pemodelan spasial memungkinkan identifikasi area prioritas mitigasi sehingga sumber daya dapat dialokasikan secara lebih efektif. Ketiga, model prediktif dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai skenario perubahan, misalnya dampak kenaikan populasi, ekspansi area terbangun, atau perubahan iklim terhadap tingkat kekeringan di masa depan.

Dengan demikian, pemodelan spasial dalam penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai dasar untuk mengidentifikasi risiko masa depan, mendukung pengambilan keputusan, serta membantu pemerintah Kota Kupang merancang strategi mitigasi dan adaptasi kekeringan yang lebih efektif dan berbasis data.

2.3 Kajian Spasial dalam Penilaian Kekeringan

Kajian spasial merupakan pendekatan penting dalam menilai dan memetakan tingkat kekeringan suatu wilayah. Pendekatan ini menggunakan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan

analisis geospasial untuk mengintegrasikan berbagai variabel lingkungan, sosial, dan ekonomi yang berpengaruh terhadap kekeringan ke dalam satu sistem pemetaan yang terukur secara spasial. Menurut Trisasongko et al. (2016), analisis spasial memungkinkan peneliti untuk memahami hubungan antara kondisi biofisik dan aktivitas manusia dalam membentuk pola suatu wilayah terhadap kekeringan. Melalui teknik overlay, interpolasi, dan pembobotan spasial, SIG mampu mengidentifikasi area yang paling rentan, menilai pola sebarannya, serta menentukan prioritas wilayah yang membutuhkan intervensi perencanaan.

Dalam konteks perencanaan wilayah dan kota, kajian spasial tidak hanya berfungsi sebagai alat pemetaan risiko, tetapi juga sebagai dasar dalam merumuskan kebijakan tata ruang adaptif terhadap bencana. Menurut Rahman et al. (2023) dalam penelitian *Geospatial Assessment of Drought Risk in South Asia*, pendekatan spasial berbasis data multi-sumber (seperti curah hujan, suhu, vegetasi, dan penggunaan lahan) mampu mengidentifikasi dinamika kekeringan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Data satelit seperti MODIS, Landsat, atau Sentinel banyak digunakan untuk menganalisis indeks vegetasi (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), indeks kekeringan (*Normalized Drought Dryness Index* – NDDI), serta indeks suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature* – LST), yang kemudian digabungkan dengan data sosial ekonomi untuk menghasilkan peta distribusi kekeringan yang komprehensif. Pendekatan ini efektif untuk memvisualisasikan perbedaan tingkat risiko kekeringan antarwilayah dan memperlihatkan keterkaitan antara kondisi fisik wilayah dengan dampak sosial-ekonomi yang ditimbulkannya.

Selain itu, kajian spasial berperan penting dalam mendukung implementasi kebijakan kota tangguh (*resilient city*). Menurut IPCC (2021), kota yang tangguh terhadap perubahan iklim harus mampu mengidentifikasi secara spasial wilayah-wilayah yang berisiko tinggi dan mengintegrasikannya ke dalam perencanaan tata ruang, sistem infrastruktur, serta kebijakan lingkungan. Dalam hal ini, peta kekeringan dapat digunakan untuk menentukan zonasi prioritas adaptasi, seperti kawasan yang memerlukan pembangunan embung, peningkatan ruang terbuka hijau, atau pengelolaan sumber daya air terpadu. Kajian spasial juga menjadi dasar penting bagi pemerintah daerah dalam mengembangkan strategi mitigasi berbasis lokasi (*place-based mitigation strategy*), di mana tindakan pencegahan dan adaptasi disesuaikan dengan kondisi fisik dan sosial masing-masing wilayah.

Di Indonesia, penerapan kajian spasial untuk penilaian kekeringan telah dilakukan di berbagai daerah. Misalnya, penelitian oleh Suni, Karlina, & Sujono (2022) di Daerah Aliran Sungai Liliba (Kupang) memanfaatkan metode SPI (*Standardized Precipitation Index*) dan PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) untuk mengidentifikasi area dengan tingkat kekeringan tinggi, yang hasilnya menunjukkan bahwa wilayah hilir dengan kepadatan penduduk tinggi memiliki tingkat kekeringan paling besar. Sementara itu, studi Lasmana et al. (2025) menggunakan kombinasi citra satelit dan data klimatologi untuk menilai tingkat defisit air di Kabupaten Kupang, yang kemudian dikorelasikan dengan perubahan tutupan lahan. Hasil penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis spasial dapat menjadi alat yang kuat untuk menghubungkan faktor biofisik dengan faktor sosial-ekonomi dalam menilai risiko kekeringan di wilayah perkotaan.

Dengan demikian, kajian spasial menjadi pendekatan komprehensif dalam memahami, menilai, dan memetakan kekeringan. Penerapan metode ini diharapkan dapat membantu pemerintah daerah, khususnya Kota Kupang, dalam merumuskan kebijakan pembangunan kota tangguh terhadap kekeringan. Melalui pemetaan spasial, strategi mitigasi dapat disusun secara lebih tepat sasaran, misalnya dengan memprioritaskan kawasan yang memiliki kepadatan penduduk tinggi namun rendah kapasitas adaptifnya, atau kawasan lindung yang mulai kehilangan fungsi ekologisnya. Integrasi antara data spasial, analisis tingkat kekeringan, dan kebijakan tata ruang inilah yang menjadi fondasi penting bagi terwujudnya kota yang adaptif terhadap perubahan iklim dan berkelanjutan secara lingkungan.

2.4 Penelitian Terdahulu

Tabel 2 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis & Judul	Tujuan Penelitian	Variabel Utama	Metode Penelitian	Hasil Temuan	Perbedaan dengan Penelitian Saya
1	Wang et al. (2020) – <i>Urban Drought Vulnerability Assessment: Integrati</i>	Mengembangkan kerangka kerja penilaian kerentanan kekeringan perkotaan berbasis gabungan	Ketersediaan air, curah hujan, kepadatan penduduk, kebijakan air.	Analisis indeks komposit & GIS spatial overlay .	Menunjukkan bahwa kota dengan pertumbuhan penduduk cepat memiliki	Penelitian saya fokus pada model prediksi spasial berbasis NDVI, populasi, dan area

No	Penulis & Judul	Tujuan Penelitian	Variabel Utama	Metode Penelitian	Hasil Temuan	Perbedaan dengan Penelitian Saya
	<i>ng Socio-Economics, Physical, and Policy Index</i>	indikator fisik, sosial ekonomi, dan kebijakan.			kerentan an tinggi meski curah hujan stabil.	terbangun , bukan indeks kebijakan.
2	Alharbi et al. (2022) – <i>Assessment of Drought Vulnerability through Multi-Sensor Satellite Data</i>	Mengukur tingkat kekeringan menggunakan data satelit multisensor dan data bantu lapangan.	NDVI, NDWI, suhu permukaan , kelembapan tanah.	Analisis citra satelit (Landsat & MODIS) dan korelasi spasial.	Metode integrasi citra satelit meningkatkan akurasi deteksi kekeringan.	Penelitian saya mengadaptasi NDDI (gabungan NDVI dan NDWI) dan memasukkannya dalam pemodelan <i>Machine Learning</i> spasial.
3	Machairas & Van de Ven (2023) – <i>Urban Groundwater Drought Vulnerability in Lowland Cities</i>	Mengategorikan tingkat kerentanan kekeringan air tanah di kota dataran rendah.	Kedalaman air tanah, curah hujan, kepadatan bangunan.	Analisis AHP & spasial GIS.	Area padat bangunan memiliki risiko kekeringan lebih tinggi.	Penelitian saya menambahkan prediksi spasial (tahun 2030–2040) , bukan sekadar kategorisasi statis.
4	Saha et al. (2021) – <i>Spatial Assessment of Drought</i>	Menilai tingkat kekeringan menggunakan pendekatan multi-	Curah hujan, suhu, NDVI, topografi, penggunaan lahan.	Fuzzy-AHP + overlay spasial.	Menghasilkan peta zonasi kekeringan dengan	Saya menggunakan NDDI dan model Machine Learning , bukan

No	Penulis & Judul	Tujuan Penelitian	Variabel Utama	Metode Penelitian	Hasil Temuan	Perbedaan dengan Penelitian Saya
	<i>Vulnerability using Fuzzy-AHP</i>	kriteria berbasis Fuzzy-AHP.			tingkat kepercayaan tinggi.	pembobotan subjektif Fuzzy-AHP.
5	Senapati et al. (2021) – <i>Geospatial Assessment of Agricultural Drought Vulnerability</i>	Menyusun model tiga dimensi (exposure-sensitivity-adaptive capacity) untuk kekeringan pertanian.	Curah hujan, evapotranspirasi, indeks vegetasi, kapasitas adaptasi sosial.	Model indeks spasial berbasis raster.	Wilayah dengan curah hujan tinggi tapi adaptasi rendah tetap rentan.	Penelitian saya menitikberatkan pada wilayah perkotaan (Kupang) , bukan pertanian.
6	Sarkar et al. (2024) – <i>Delineating the Drought Vulnerability Zones in Bangladesh</i>	Menentukan zona kerentanan kekeringan menggunakan 24 variabel fisik dan sosial.	Curah hujan, suhu, kepadatan penduduk, luas area terbangun.	Analisis AHP dan overlay GIS.	Menghasilkan peta prioritas intervensi kekeringan nasional.	Saya hanya menggunakan tiga variabel utama (NDDI, populasi, area terbangun) dengan pendekatan prediktif spasial.
7	Santhya mi et al. (2025) – <i>Spatio-temporal Modelling for Hydrological Drought using NDDI</i>	Menganalisis dinamika spasial dan temporal kekeringan berdasarkan indeks NDDI.	NDVI, NDWI, NDDI.	Analisis spasial-temporal citra MODIS & Landsat.	Tren kekeringan meningkat signifikan di daerah urban.	Saya menambah aspek prediksi hingga tahun 2040 dan melibatkan variabel non-biofisik (populasi, area

No	Penulis & Judul	Tujuan Penelitian	Variabel Utama	Metode Penelitian	Hasil Temuan	Perbedaan dengan Penelitian Saya
						terbangun).
8	Affandy et al. (2024) – <i>Assessment of Agricultural Drought Using NDDI (Corong River Basin)</i>	Mengukur dan memprediksi kekeringan pertanian dengan pendekatan NDDI.	NDVI, NDWI, NDDI.	Analisis citra satelit Landsat 8 dan data curah hujan.	NDDI efektif dalam mendeteksi kekeringan musiman.	Saya menerapkan NDDI dalam konteks perkotaan , bukan pertanian.
9	Zarei et al. (2023) – <i>Assessing Population Exposure to Drought Hazards</i>	Menilai paparan populasi terhadap risiko kekeringan.	Kepadatan penduduk, penggunaan lahan, sumber air.	Spatial exposure mapping dan regresi.	Populasi padat meningkatkan risiko kekeringan dan kerugian ekonomi.	Saya menggabungkan aspek populasi dengan indeks NDDI dan area terbangun dalam model prediksi .
10	Rahmi et al. (2023) – <i>Remote Sensing and GIS Application for Monitoring Drought Vulnerability in Indonesia</i>	Mereview penerapan penginderaan jauh dan GIS untuk pemantauan kekeringan di Indonesia.	NDVI, NDWI, SPI, PDSI.	Studi literatur & analisis komparatif.	RS & GIS efektif untuk pemetaan kekeringan nasional.	Saya menggunakan modelan spasial terapan di level kelurahan Kota Kupang , bukan tinjauan umum nasional.

Sumber: Hasil Kajian Literatur, 2025

2.5 Landasan Penelitian

Tabel 2 2 Landasan Penelitian

No	Ahli / Sumber	Teori / Konsep	Variabel dalam Teori
1	Gu, Brown, Verdin & Wardlow (2007)	Teori <i>Normalized Difference Drought Index</i> (NDDI) – NDDI digunakan untuk mendeteksi kekeringan melalui kombinasi indeks vegetasi dan kelembapan air.	• NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>), • NDWI (<i>Normalized Difference Water Index</i>), • NDDI, tingkat kekeringan (normal–sangat berat).
2	Renza et al. (2010)	Klasifikasi Tingkat Kekeringan Berdasarkan Nilai NDDI – pembagian skala kekeringan untuk interpretasi spasial.	• Nilai NDDI, kategori kekeringan (normal, ringan, sedang, berat, sangat berat).
3	Sena & Ebi (2020)	Teori Dampak Kekeringan terhadap Sistem Sosial dan Ekonomi – kekeringan berdampak pada sistem sumber daya dan kesejahteraan masyarakat.	• Curah hujan, • ketersediaan air, • ketahanan pangan, • kesehatan masyarakat, • kesejahteraan ekonomi.
4	Smirnov et al. (2016)	Teori Hubungan Antara Pertumbuhan Penduduk dan Kekeringan Global – peningkatan populasi memperbesar tekanan terhadap sumber daya air dan memicu kekeringan.	• Pertumbuhan populasi, • kebutuhan air, • ketersediaan air, • tingkat kekeringan.
5	Orimoloye et al. (2019)	Teori Dampak Urbanisasi terhadap Kondisi Hidrologi – perubahan tata guna lahan memengaruhi daya serap dan kelembapan tanah.	• Luas area terbangun, • tutupan lahan vegetasi, • air tanah, • curah hujan, • indeks kekeringan.
6	Park (2019)	Teori Random Forest untuk Prediksi Kekeringan – algoritma ensemble decision tree	• Data input (NDDI, topografi, curah hujan, vegetasi), • jumlah pohon keputusan,

No	Ahli / Sumber	Teori / Konsep	Variabel dalam Teori
		untuk estimasi nonlinier kondisi kekeringan.	• nilai prediksi, R^2 (akurasi model).
7	Sundararajan et al. (2021)	Teori Machine Learning dalam Pemodelan Kekeringan – pemanfaatan algoritma kecerdasan buatan untuk analisis prediktif berbasis data spasial.	• Algoritma (Random Forest, SVM, ANN), • data input (NDVI, NDWI, NDDI), • variabel target (skor kerentanan), • parameter evaluasi (R^2, RMSE).
8	UNDRR (2020)	Teori Kerentanan (Vulnerability Framework) – kerentanan diukur berdasarkan tiga komponen utama dalam analisis risiko bencana.	• Exposure (tingkat keterpaparan), • Sensitivity (sensitivitas sistem), • Adaptive Capacity (kapasitas adaptasi).

Sumber: Hasil Kajian Literatur, 2025

2.6 Sintesa Variabel

Penentuan variabel penelitian yang akan dilakukan melalui sintesa teori yang telah dijabarkan sebelumnya. Sintesa teori yang dilakukan merupakan penggabungan dari berbagai teori sehingga didapat poin-poin yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2 3 Sintesa Variabel Penelitian

Pertanyaan Penelitian	Variabel	Sub-Variabel	Indikator	Teori	Teknik Penelitian	Teknik Analisa
Bagaimana karakteristik tingkat kekeringan di Kota Kupang?	Indeks Kekeringan (Gu et al, 2007; Renza et al, 2010)	Kesehatan Vegetasi	Reflektansi kanal NIR (Near Infrared)	Rouse et Al, 1974; Gu et al, 2007; Renza et al, 2010	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	Kuantitatif
			Reflektansi kanal Red (Merah)	Rouse et Al, 1974; Gu et al, 2007; Renza et al, 2010	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	
			Rasio Reflektansi NIR dan RED	Rouse et Al, 1974; Gu et al, 2007; Renza et al, 2010	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	
		kandungan air pada vegetasi dan permukaan tanah	Reflektansi Kanal Green (Hijau)	Gao, 1996; Gu et al, 2007; Renza et al, 2010	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	
			Reflektansi Kanal Near Infrared (NIR)	Gao, 1996; Gu et al, 2007; Renza et al, 2010	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	
			Rasio Reflektansi Green dan NIR	Gao, 1996; Gu et al, 2007; Renza et al, 2010	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	
Bagaimana menentukan pendekatan yang ideal dalam memprediksi bencana kekeringan sesuai karakteristik wilayah di Kota Kupang?	Pendekatan Prediksi Kekeringan	Model <i>Machine Learning</i>	Jenis algoritma (RF, SVM, ANN)	Teori <i>Machine Learning</i> : Random Forest (Breiman, 2001), SVM (Vapnik, 1995), ANN (Haykin, 1999)	Pemodelan berbasis <i>Machine Learning</i>	Kuantitatif

Pertanyaan Penelitian	Variabel	Sub-Variabel	Indikator	Teori	Teknik Penelitian	Teknik Analisa
		Kinerja Model	Nilai R ² , RMSE, MAE	Teori evaluasi model prediktif (Willmott, 1982; Chai & Draxler, 2014)	Uji akurasi model	Kuantitatif
		Variabel Prediktor	NDDI, Populasi, Area Terbangun	Teori kekeringan berbasis penginderaan jauh (Gu et al., 2007); tekanan antropogenik terhadap sumber daya air (Foley et al., 2005)	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	Kuantitatif
		Pembobotan Variabel	Bobot AHP (NDDI = 0,40; lainnya 0,30)	Analytical Hierarchy Process (Saaty, 1980)	Analisis keputusan multikriteria	Kuantitatif
		Karakteristik Wilayah	Kondisi biofisik dan penggunaan lahan	Teori geografi spasial dan interaksi manusia-lingkungan (Turner et al., 2003)	Zonal Statistics	Kuantitatif
Bagaimana membangun model simulasi dan prediksi spasial kerentanan kekeringan di Kota Kupang	SASARAN 1: Indeks Kekeringan (Gu et al, 2007; Renza et al, 2010)					Kuantitatif
	Area Terbangun (Orimoloye et al., 2019; Mistry & Suryanarayana, 2023; Zia-ul-Minallah et al., 2022)	permukiman, infrastruktur, fasilitas publik, atau penggunaan lahan terbangun lainnya	Luasan area terbangun	Orimoloye et al., 2019; Mistry & Suryanarayana, 2023; Zia-ul-Minallah et al., 2022	Citra Landsat 5, 7, 8, dan 9	Kuantitatif
	Populasi (Smirnov et al., 2016)	jumlah penduduk	Jumlah penduduk menurut kelurahan	Smirnov et al., 2016	Wawancara, Observasi, Studi Literatur	Kualitatif

Pertanyaan Penelitian	Variabel	Sub-Variabel	Indikator	Teori	Teknik Penelitian	Teknik Analisa
	Model Prediksi	Model Random Forest terpilih	Indeks kekeringan, area terbangun dan populasi	Teori ensemble learning (Breiman, 2001)	Overlay dan klasifikasi	Kuantitatif

Sumber: Hasil Kajian Literatur, 2025

Proses penentuan variabel diuraikan melalui sintesis variabel berikut:

- 1) Peninjauan terhadap sepuluh (10) penelitian terdahulu.
- 2) Peninjauan terhadap tiga (3) sasaran penelitian untuk menentukan variabel.
- 3) Merumuskan komponen penelitian terdahulu, kondisi eksisting, dan sasaran penelitian sebagai dasar untuk merumuskan variabel.

Berdasarkan tinjauan terhadap penelitian terdahulu dan hasil sintesis variabel, peneliti dalam penelitian ini menggunakan pendekatan analisis deskriptif kuantitatif dan spasial untuk memetakan serta memprediksi tingkat kerentanan kekeringan di Kota Kupang. Pendekatan ini dilakukan melalui integrasi data spasial (citra satelit, peta administrasi, dan data statistik) dengan metode pemodelan berbasis *Machine Learning*.

Untuk mencapai sasaran pertama (1), yaitu mengidentifikasi karakteristik tingkat kekeringan di Kota Kupang, peneliti menggunakan teori *Normalized Difference Drought Index (NDDI)* dari Gu et al. (2007) dan teori klasifikasi tingkat kekeringan dari Renza et al. (2010). Kedua teori tersebut memuat beberapa variabel utama yang bersifat biofisik dan dapat diukur secara spasial, yaitu NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*), dan nilai NDDI yang diklasifikasikan menjadi lima kategori kekeringan (normal hingga sangat berat). Adapun untuk sasaran kedua (2), yaitu menentukan pendekatan yang ideal dalam memprediksi bencana kekeringan sesuai karakteristik wilayah di Kota Kupang, dan ketiga (3), yaitu membangun pemodelan spasial prediksi kerentanan kekeringan di Kota Kupang, peneliti menggunakan teori *Random Forest for Drought Prediction* dari Park (2019), teori *Machine Learning for Drought Modelling* dari Sundararajan et al. (2021). Melalui teori-teori tersebut, dilakukan proses simulasi spasial menggunakan tiga variabel utama yang memiliki bobot berbeda, yaitu NDDI, Populasi, dan Area Terbangun untuk menghasilkan hasil akhir penelitian ini, yaitu peta prediksi kerentanan kekeringan tahun 2030 dan 2040.

Dengan demikian, seluruh teori yang digunakan dalam penelitian ini saling melengkapi aspek biofisik, sosial, dan spasial dalam menganalisis fenomena kekeringan perkotaan. Ketiga sasaran tersebut secara sistematis membentuk dasar konseptual untuk menghasilkan model spasial yang mampu menggambarkan dan memprediksi tingkat kerentanan kekeringan secara akurat di wilayah Kota Kupang.