

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengamatan langit malam merupakan aktivitas penting dalam bidang astronomi karena memungkinkan manusia untuk mengamati berbagai objek langit seperti bintang, planet, dan galaksi. "Langit berbintang telah menjadi sumber inspirasi sepanjang sejarah manusia. Astronomi telah menjadi elemen umum di semua budaya dan peradaban, digunakan untuk menetapkan kalender, menavigasi dan menemukan daratan baru, serta mendorong berbagai terobosan ilmiah dan teknis[1]

Polusi cahaya merupakan masalah yang semakin meningkat di seluruh dunia. Polusi cahaya memengaruhi semua aspek kehidupan, baik manusia maupun hewan. Semakin banyak orang yang terpengaruh oleh polusi cahaya, dan beberapa di antaranya mengalami masalah kesehatan seperti kurang tidur, obesitas, dan kanker payudara. Masalah lainnya adalah orang tidak dapat melihat keindahan langit malam, gangguan ritme sirkadian pada manusia dan hewan, serta efisiensi energi lampu jalan di kota-kota[2].

Pembangunan perkotaan dan pertumbuhan penduduk berkaitan erat dengan peningkatan penggunaan penerangan buatan, yang berkontribusi terhadap meningkatnya tingkat polusi cahaya[3]. Kondisi ini juga berpotensi terjadi di wilayah seperti Kabupaten Rokan Hulu, yang mengalami perkembangan infrastruktur dan pemukiman. Jika tidak dikendalikan, hal ini dapat menyebabkan

meningkatnya polusi cahaya yang berdampak pada lingkungan, kesehatan, serta kegiatan observasi astronomi.

Kabupaten Rokan Hulu merupakan salah satu wilayah yang mengalami perkembangan infrastruktur dan pertumbuhan permukiman yang cukup pesat dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan jumlah fasilitas umum, penerangan jalan, serta aktivitas masyarakat pada malam hari berpotensi meningkatkan intensitas cahaya buatan di lingkungan sekitar. Perkembangan teknologi dan pertumbuhan penduduk mengakibatkan kualitas langit malam mengalami penurunan sebab hadirnya polusi cahaya dari penerangan malam[4]. Oleh karena itu, penting untuk melakukan kajian terhadap kondisi polusi cahaya di Rokan Hulu sebagai langkah awal dalam memahami dampak yang ditimbulkan.

Selain itu, karakteristik wilayah Rokan Hulu yang masih memiliki beberapa area dengan tingkat pencahayaan Rendah memberikan peluang untuk melakukan analisis perbandingan tingkat polusi cahaya antar wilayah. Dengan adanya klasifikasi tingkat polusi cahaya, dapat diketahui area mana yang masih memiliki kualitas langit malam yang baik dan area mana yang sudah mengalami peningkatan polusi cahaya. *Info* rmasi ini sangat penting sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang dan pengelolaan pencahayaan yang lebih efisien di masa mendatang.

Klasifikasi polusi cahaya menjadi penting karena dapat memberikan gambaran yang lebih terstruktur mengenai tingkat kecerahan langit malam berdasarkan kategori tertentu, seperti Rendah, sedang, dan tinggi. Tanpa adanya klasifikasi yang jelas, tingkat polusi cahaya hanya akan berupa data mentah yang

sulit untuk dianalisis dan dimanfaatkan secara optimal. Data kecerahan langit malam yang diperoleh perlu diolah dan diklasifikasikan agar dapat memberikan *Info* rmasi yang lebih mudah dipahami mengenai tingkat polusi cahaya di suatu wilayah[5].

Selain itu, klasifikasi polusi cahaya juga berperan dalam mendukung penelitian dan pengamatan astronomi, serta menjaga keseimbangan lingkungan. Tingkat polusi cahaya yang tinggi dapat mengganggu ekosistem, seperti perilaku hewan nokturnal, serta berdampak pada kesehatan manusia[6]. Oleh karena itu, dengan adanya klasifikasi berbasis teknologi seperti metode *Convolutional Neural Network*, diharapkan dapat diperoleh sistem yang mampu memberikan *Info* rmasi secara cepat, akurat, dan efisien mengenai kondisi polusi cahaya di wilayah Rokan Hulu.

Berdasarkan penelitian terdahulu, pengukuran polusi cahaya umumnya dilakukan dengan mengukur tingkat kecerahan langit malam menggunakan alat khusus seperti *Sky Quality Meter* (SQM)[7]. Metode ini digunakan untuk mengetahui tingkat polusi cahaya yang dapat memengaruhi kualitas langit malam, khususnya dalam kegiatan observasi astronomi. Namun, penggunaan alat tersebut memiliki beberapa keterbatasan, seperti kebutuhan perangkat khusus serta proses pengukuran yang tidak selalu praktis untuk digunakan secara luas oleh masyarakat.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pendekatan berbasis pengolahan citra digital dan kecerdasan buatan dapat menjadi solusi alternatif dalam mendeteksi polusi cahaya. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam

klasifikasi citra adalah *Convolutional Neural Network* (CNN)[8]. Metode ini memiliki kemampuan dalam mengekstraksi fitur visual secara otomatis dan mampu mengenali pola tingkat kecerahan pada citra langit malam. Selain itu, untuk meningkatkan kualitas analisis citra, dapat digunakan teknik konversi warna seperti *HSV Color Space* (*Hue, Saturation, Value*). Ruang warna HSV memungkinkan pemisahan antara Informasi warna dan tingkat kecerahan (*Value*), sehingga lebih efektif dalam mendeteksi intensitas cahaya dibandingkan dengan model warna RGB.

Dengan menggabungkan metode CNN dan teknik HSV, sistem dapat dikembangkan untuk mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya berdasarkan citra langit malam ke dalam beberapa kategori, seperti Rendah, sedang, dan tinggi. Sistem ini kemudian diimplementasikan dalam bentuk aplikasi berbasis *web* agar dapat digunakan secara luas oleh masyarakat maupun pihak terkait.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini mengambil judul:

“Klasifikasi Polusi Cahaya di Rokan Hulu menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN)”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan membangun aplikasi pendeteksi polusi cahaya berbasis citra langit malam dengan menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun aplikasi pendeteksi polusi cahaya berbasis citra langit malam dengan menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN).

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka ditentukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada deteksi polusi cahaya berdasarkan citra langit malam di Rokan hulu, kota pasir pengaraian dan pabrik yang ada di daerah rokan hulu.
2. Tingkat polusi cahaya diklasifikasikan ke dalam 3 kelas, yaitu:
 - a. Rendah dengan rasio *Value* 0 - 85
 - b. Sedang dengan rasio *Value* 86 - 170
 - c. Tinggi dengan rasio *Value* 171 - 255
3. Data yang digunakan berupa citra langit malam dalam bentuk citra 2D statis. Yaitu berupa *Dataset* sebanyak 2516 citra
4. *Dataset* yang digunakan merupakan data citra langit malam yang diperoleh dari pengumpulan mandiri dan sumber *Dataset online*.
5. Sistem dibangun menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan bantuan *Platform Google Colab* serta *Library* seperti *Numpy*, *Pandas*, *TensorFlow*, dan *Keras*.

6. Evaluasi sistem dilakukan menggunakan metrik *Accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *confusion matrix*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Peneliti : Memberikan alternatif solusi dalam mendeteksi dan mengetahui tingkat polusi cahaya berdasarkan citra langit malam secara otomatis menggunakan metode *Convolutional Neural Network (CNN)*.
2. Bagi Pengguna : Membantu masyarakat dan pihak terkait dalam memperoleh *Info* rmasi mengenai kondisi kualitas langit malam di suatu wilayah.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini terdiri dari pokok-pokok permasalahan yang dibahas dan diuraikan menjadi beberapa bagian :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisi teori-teori yang digunakan pada penelitian ini. Teori-teori yang berhubungan dengan pengembangan sistem yang akan dibangun.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan-tahapan dalam pengumpulan data, perancangan sistem, perumusan masalah dan analisa.

BAB 4 ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Bab ini berisi analisa dan pengembangan sistem yang akan dibangun atau dikembangkan.

BAB 5 IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Bab ini berisi implementasi dari analisa dan perancangan dan pengujian pada sistem yang berhasil dibangun.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi rangkuman dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran–saran untuk pengembangan sistem atau penelitian selanjutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 *Artificial Intelligence (AI)*

Artificial Intelligence (AI) atau kecerdasan buatan merupakan cabang ilmu komputer yang berfokus pada pengembangan sistem yang mampu meniru kemampuan berpikir dan belajar manusia. Teknologi AI memungkinkan komputer untuk melakukan berbagai tugas yang umumnya membutuhkan kecerdasan manusia, seperti pengenalan pola, pengambilan keputusan, pemecahan masalah, dan pemrosesan data secara otomatis. Menurut penelitian oleh [9] “Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) merujuk pada sistem yang menunjukkan perilaku cerdas dengan menganalisis lingkungan mereka dan mengambil tindakan dengan tingkat otonomi tertentu”. Hal tersebut menunjukkan bahwa AI mampu membantu manusia dalam menyelesaikan berbagai permasalahan melalui proses analisis data yang cerdas.

Perkembangan *Artificial Intelligence* mengalami peningkatan yang sangat pesat seiring dengan kemajuan teknologi komputasi dan ketersediaan data dalam jumlah besar. AI telah banyak diterapkan pada berbagai bidang seperti kesehatan, pendidikan, industri, keamanan, dan pengolahan citra digital. Menurut penelitian oleh [10], “Kecerdasan Buatan telah menjadi salah satu teknologi paling transformatif berkat kemampuannya dalam mempelajari data dan meningkatkan kinerja secara otomatis” Kemampuan tersebut menjadikan AI sebagai teknologi yang sangat potensial untuk mengembangkan sistem otomatis yang lebih efisien dan akurat.

2.2 *Machine Learning*

Machine Learning adalah kumpulan teknik yang membantu dalam mengelola dan meramalkan data bervolume yang beragam dengan menggunakan algoritma pembelajaran[11]. *Machine Learning* merupakan cabang dari kecerdasan buatan yang menitikberatkan pada penggunaan algoritma dan metode tertentu untuk melakukan prediksi, mengenali pola, serta melakukan klasifikasi. Beberapa algoritma yang umum digunakan dalam *Machine Learning* antara lain *neural network*, *decision tree*, *k-nearest neighbor*, *naïve Bayes*, *random forest*, dan lainnya.

Menurut Abellera & Bulusu, kajian *Machine Learning* dalam bidang kecerdasan buatan berfokus pada proses pembelajaran komputasional dan pengenalan pola, menggunakan algoritma seperti supervised dan unsupervised learning untuk menghasilkan prediksi serta membantu pengambilan keputusan otomatis dari data yang tersedia[12]. *Machine Learning* memiliki cabang yang memanfaatkan algoritma jaringan saraf tiruan untuk belajar dan beradaptasi terhadap volume data yang besar. Algoritma jaringan saraf tiruan dalam *Deep Learning* terinspirasi dari cara kerja otak manusia. Dengan pendekatan ini, mesin dapat mengenali pola dalam data yang tidak terstruktur atau data yang memiliki fitur yang sulit ditentukan secara eksplisit, seperti gambar, teks, audio, dan video. Proses pembelajaran yang dimaksud berbeda dengan cara manusia belajar, karena mesin dianggap "belajar" saat ia dapat memperbarui parameternya, di mana parameter ini secara umum merepresentasikan pengetahuan yang dimiliki oleh mesin tersebut. ML adalah teknologi yang mampu memproses data yang ada dan

menjalankan tugas-tugas tertentu berdasarkan apa yang telah dipelajarinya. Sebelum kita memahami lebih lanjut tentang machine Learning, mari kita definisikan konsepnya terlebih dahulu[13].

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwasanya *Machine Learning* merupakan cabang dari kecerdasan buatan (AI) yang berfokus pada penggunaan algoritma untuk melakukan prediksi, mengenali pola, dan mengklasifikasikan data. Algoritma yang umum digunakan antara lain *neural network*, *decision tree*, *k-nearest neighbor*, *naïve Bayes*, dan *random forest*. Salah satu cabang penting dari *Machine Learning* adalah *Deep Learning*, yang menggunakan jaringan saraf tiruan (*artificial neural networks*) yang terinspirasi dari cara kerja otak manusia. Pendekatan ini memungkinkan mesin untuk belajar dari data berukuran besar dan tidak terstruktur, seperti gambar, teks, audio, dan video, dengan cara memperbarui parameter internalnya sehingga dapat mengadaptasi dan mengenali pola secara otomatis tanpa perlu ekstraksi fitur secara eksplisit.

2.3 Deep Learning

Deep Learning merupakan cabang dari algoritma *Machine Learning* yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi. Model dalam *Deep Learning* dilatih menggunakan sejumlah besar data berlabel dan memanfaatkan arsitektur jaringan saraf (*neural network*) yang mampu mempelajari fitur secara langsung dari data *Input*, tanpa memerlukan proses ekstraksi fitur secara manual. *Deep Learning* merupakan metode pembelajaran mesin berbasis jaringan saraf tiruan yang mampu mempelajari fitur secara otomatis dari data [14]

Algoritma *Deep Learning* bekerja dengan memproses data melalui sejumlah lapisan dalam jaringan saraf. Setiap lapisan dalam jaringan tersebut akan menyederhanakan data sebelum mengirimkannya ke lapisan berikutnya. Model *Deep Learning* bekerja melalui beberapa lapisan untuk mengekstraksi fitur dari data kompleks seperti citra[15]. Sementara algoritma *Machine Learning* tradisional biasanya efektif untuk data terstruktur yang tersusun dalam bentuk baris dan kolom, algoritma tersebut sering mengalami kesulitan ketika dihadapkan pada data tidak terstruktur, seperti gambar, yang membutuhkan proses prapemrosesan yang kompleks. Teknologi ini banyak digunakan dalam berbagai bidang karena kemampuannya dalam mengolah data besar dan tidak terstruktur[16]. Oleh karena itu, dikembangkanlah algoritma *Deep Learning* yang dirancang khusus untuk menganalisis dan memproses data visual secara mendalam melalui sejumlah lapisan yang saling terhubung. Lapisan awal berfungsi untuk mengenali detail atau fitur dasar dalam gambar, sedangkan lapisan-lapisan selanjutnya menggabungkan Informasi tersebut untuk membentuk representasi yang lebih kompleks dan bermakna.

Deep Learning dipandang sebagai salah satu terobosan teknologi paling signifikan setelah kemunculan internet, dan kerap digambarkan sebagai inovasi yang berpotensi menggantikan peran manusia dalam berbagai bidang pekerjaan.

Deep Learning terbagi 3 kategori pendekatan, yaitu:

1. *Supervised learning*

Supervised learning merupakan salah satu cabang dari *Machine Learning* yang bekerja dengan menggunakan *Dataset* yang telah

diberi label. Tujuannya adalah menghasilkan *Output* atau solusi yang sesuai berdasarkan data tersebut. Supervised learning adalah metode dalam data mining yang menggunakan data berlabel (*Categorical* dan numerik) untuk melakukan proses pembelajaran, dengan tujuan mengklasifikasikan atau memprediksi suatu data berdasarkan pola yang telah dipelajari sebelumnya[17]. Algoritma dalam *Supervised learning* mempelajari pola hubungan antara data dan label yang menyertainya. Beberapa metode yang umum digunakan dalam pendekatan ini antara lain *regresi linier*, *random forest*, dan *support vector machine* (SVM)

2. *UnSupervised learning*

UnSupervised learning merupakan pendekatan deskriptif yang digunakan untuk mengelompokkan atau mengkategorikan data. Tidak seperti *Supervised learning*, metode ini tidak memerlukan *Dataset* yang telah diberi label karena Tujuannya bukan untuk membuat prediksi, melainkan untuk mempelajari struktur dari data yang tersedia. Proses ini dilakukan dengan mengelompokkan data berdasarkan kemiripan atau kedekatan antar data, yang dikenal sebagai clustering. *Dataset* digunakan untuk melihat dampak dari data *Categorical* terhadap data numerik menggunakan teknik klasifikasi[18]. Metode ini menganalisis data yang belum berlabel untuk mengidentifikasi pola tersembunyi serta menentukan hubungan atau korelasi di antara data tersebut. Beberapa algoritma yang umum digunakan dalam

UnSupervised learning antara lain *K-Means*, *Hierarchical Clustering*, *DBSCAN*, dan *Fuzzy C-Means*.

3. *Reinforcement learning*

Deep Reinforcement Learning (DRL) adalah teknik yang menjanjikan untuk memecahkan masalah dunia nyata. Hal ini dapat digunakan untuk mengatasi tantangan yang biasa dihadapi dalam tugas pengambilan keputusan berurutan, seperti ketidakpastian dan dimensi variable[19]. Algoritma ini berfokus pada bagaimana agen perangkat lunak (*software agent*) mengambil keputusan dalam suatu lingkungan. Tujuan utamanya adalah mempelajari strategi pengambilan keputusan terbaik secara bertahap agar dapat memaksimalkan keberhasilan atau performa dalam situasi nyata. Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwasanya *Deep Learning* merupakan cabang dari *Machine Learning* yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi dan menggunakan arsitektur jaringan saraf (*neural network*) untuk mempelajari fitur langsung dari data berlabel tanpa ekstraksi manual. Teknologi ini dianggap sebagai salah satu inovasi besar setelah internet karena potensinya dalam menggantikan peran manusia di berbagai bidang. *Deep Learning* terbagi menjadi tiga pendekatan utama, yaitu *Supervised learning* yang bekerja dengan data berlabel untuk mempelajari hubungan antara *Input* dan *Output*, *UnSupervised learning* yang menganalisis data tanpa label untuk menemukan pola atau struktur tersembunyi melalui teknik seperti *clustering*, dan *ReInfo*

reinforcement learning yang menggunakan sistem *reward* dan *penalty* untuk melatih agen dalam mengambil keputusan optimal di lingkungan tertentu.

2.4 Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan kelas saraf tiruan yang termasuk pada pembelajaran dalam (*Deep Learning*) yang umumnya diimplementasikan pada data citra. Akan tetapi dalam beberapa tahun terakhir ini, model CNN menjadi lebih populer serta mendapat perhatian yang luas karena tidak hanya digunakan untuk menyelesaikan masalah *image processing* namun juga dalam bidang pengolahan bahasa alami atau *natural language processing (NLP)*[13]. *Convolutional Neural Network (CNN)* merupakan salah satu algoritma dalam *Deep Learning* yang dikembangkan dari arsitektur *MultiLayer Perceptron (MLP)*, dan dirancang khusus untuk memproses data berdimensi dua, seperti gambar dan suara. CNN biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan data berlabel dengan pendekatan *Supervised learning*. CNN termasuk jenis *neural network* yang paling sering diterapkan pada data citra atau gambar. Karena memiliki banyak lapisan, jaringan CNN termasuk dalam kategori *Deep Neural Network* dan sering dimanfaatkan dalam analisis data visual.

Secara umum, arsitektur *Convolutional Neural Network (CNN)* terdiri dari beberapa lapisan (*Layers*) yaitu *Input Layer*, *Convolutional Layer*, Fungsi Aktivasi *ReLU*, *Pooling Layer*, *Flatten Layer*, *Fully Connected Layer (ANN)*, Fungsi Aktivasi *Softmax*, dan *Dropout*[20]. Setiap lapisan ini memiliki fungsi spesifik dalam proses klasifikasi gambar.

Berikut adalah penjelasan tentang bagaimana CNN (*feed forward*) :

1. *Input Layer*

Input Layer pada *Convolutional Neural Network* (CNN) berfungsi untuk merepresentasikan gambar yang dimasukkan ke dalam model. Misalnya, jika gambar yang di *Input* memiliki resolusi 224x224 piksel dan menggunakan format RGB (*Red, Green, Blue*), maka gambar tersebut akan diubah menjadi *array* multidimensi dengan dimensi 224x224x3, dimana angka 3 menunjukkan saluran warna RGB[8].

2. *Convolution Layer*

Convolution Layer merupakan bagian inti dari *Convolutional Neural Network* (CNN) yang berperan penting dalam melakukan perhitungan lebar, tinggi, dan kedalaman gambar serta kernel. Lapisan ini berfungsi untuk memproses *filter* dan *feature map* pada gambar *Input*[8]

3. Fungsi Aktivasi *ReLU*

Fungsi aktivasi *ReLU* (*Rectified Linear Unit*) digunakan setelah proses konvolusi dan sebelum *pooling* (di tahap *feature extractor*), serta diterapkan pada setiap *node* di *hidden Layer* (di tahap *fully connected*). *ReLU* merupakan lapisan aktivasi dengan fungsi $f(x) = \max(0, x)$, yang mengubah semua nilai piksel kurang dari nol pada suatu gambar menjadi 0. Fungsi ini bertujuan untuk mengurangi linearitas yang muncul dari proses konvolusi, sehingga *Convolutional Neural Network* (CNN) lebih mudah mencapai nilai optimum[8].

4. *Pooling Layer*

Pooling Layer merupakan *filter* dengan ukuran tertentu yang bergerak melintasi seluruh *area feature map*. Fungsi utama *pooling Layer* adalah mengurangi dimensi atau melakukan *downsampling* pada *feature map*, sehingga mempercepat proses komputasi karena jumlah bobot yang perlu diperbarui menjadi lebih sedikit. Terdapat beberapa metode *pooling* yang umum digunakan, seperti *max pooling* dan *average pooling*. *Max pooling* berfungsi untuk memilih nilai maksimum dari area tertentu, sementara *average pooling* menghitung nilai rata-rata dari area tertentu[8].

5. *Flatten Layer*

Flatten Layer adalah langkah yang dilakukan sebelum memasuki *Fully Connected Layer*. Pada tahap ini, *feature map* yang dihasilkan dari proses feature extraction masih berupa *array* multidimensi, sehingga perlu dilakukan proses *flattening* untuk mengubahnya menjadi vektor satu dimensi. Proses ini memastikan fitur dapat digunakan sebagai *Input* untuk tahap klasifikasi atau *Fully Connected Layer*. Dengan demikian, *Info* rmasi dari *feature map* tetap dipertahankan, namun dalam format yang sesuai untuk diproses oleh lapisan *fully connected*[8].

6. *Fully Connected*

Layer Fully Connected Layer terdiri dari *Input Layer*, *Hidden Layer*, dan *Output Layer*, yang memiliki struktur mirip dengan lapisan pada jaringan saraf tiruan (ANN). Oleh karena itu, beberapa literatur

mengidentifikasi *Fully Connected Layer* sebagai ANN. Pada *Fully Connected Layer*, setiap *node* (neuron) pada *Layer* sebelumnya terhubung penuh dengan setiap *node* di *Layer* berikutnya. Setiap *hidden Layer* memiliki fungsi aktivasi, yang umum digunakan yaitu *ReLU*, dan begitu pula di *Output Layer* juga memiliki fungsi aktivasi. Untuk klasifikasi dengan lebih dari satu kelas, fungsi *Softmax* sering digunakan. *Fully Connected Layer* bertujuan untuk mengolah data agar dapat diklasifikasikan, dan hasilnya berupa probabilitas untuk setiap kategori[8].

7. Fungsi Aktivasi *Softmax*

Fungsi aktivasi *Softmax* digunakan dalam kasus klasifikasi *multi-class* (lebih dari dua kelas) dan ditempatkan pada *Output Layer* dalam tahap *Fully Connected* atau klasifikasi. *Softmax* berfungsi untuk menghitung probabilitas dari setiap kelas target (kategori) atas semua kelas target yang memungkinkan, sehingga dapat membantu menentukan kelas target untuk suatu citra yang diberikan. Keunggulan *Softmax* adalah *Outputnya* dalam rentang probabilitas antara 0 hingga 1, dan jumlah keseluruhan probabilitasnya sama dengan satu[8].

8. *Dropout Regularization*

Dropout merupakan teknik regularisasi yang digunakan untuk mengurangi *overfitting* pada *neural network*, di mana beberapa neuron dipilih secara acak untuk dinonaktifkan selama proses pelatihan (dengan kata lain: menghilangkan fitur/mengurangi variansi). *Neuron*

ini diabaikan secara acak, sehingga kontribusinya dihentikan sementara, dan tidak ada bobot baru yang diterapkan pada neuron tersebut selama *backpropagation*. Selain membantu mengurangi *overfitting*, penggunaan *Dropout* juga mempercepat proses pelatihan[8].

2.5 Klasifikasi

Klasifikasi merupakan teknik dalam data mining yang digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam kategori tertentu berdasarkan karakteristiknya[21]. Proses ini bertujuan untuk mengelompokkan atau memberi label pada data atau objek baru berdasarkan karakteristik tertentu. Teknik klasifikasi dilakukan dengan menganalisis variabel-variabel yang diambil dari data yang tersedia. Tujuan utamanya adalah untuk memprediksi kelas dari data yang belum diketahui. Proses klasifikasi terdiri dari tahap pembelajaran dan pengujian untuk menghasilkan model yang mampu memprediksi data baru[22]. Pembangunan model dilakukan dengan menggunakan data pelatihan yang sudah memiliki atribut dan kelas, yang kemudian digunakan untuk menentukan kelas dari data atau objek baru. Setelah itu, model yang telah dibuat dievaluasi untuk mengukur tingkat akurasi ketika diterapkan pada data baru[23].

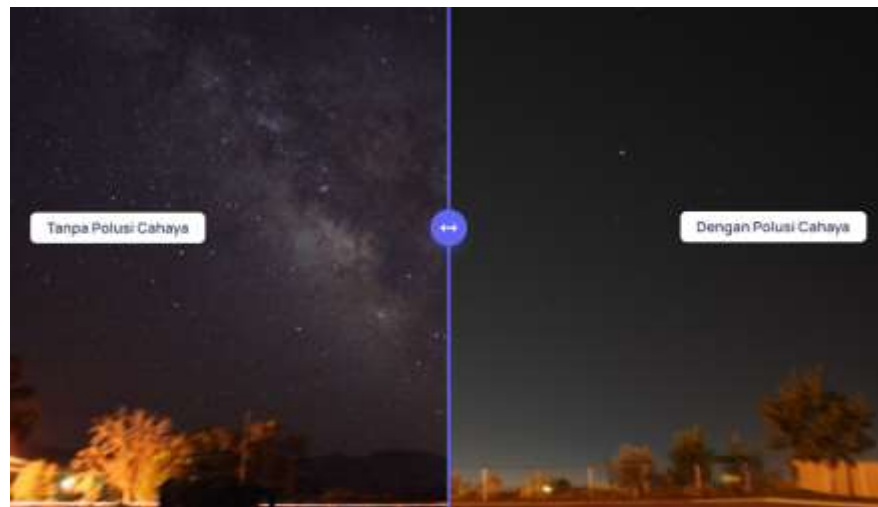
Klasifikasi adalah salah satu teknik yang paling sering digunakan dalam data mining. Proses klasifikasi mencakup dua tahap utama, yaitu pembelajaran (*learning*) dan pengklasifikasian. Dalam machine learning, klasifikasi digunakan untuk mengenali pola dan menentukan label pada data secara otomatis[24]. Pada tahap pembelajaran, data pelatihan dianalisis menggunakan algoritma klasifikasi.

Sementara itu, pada tahap klasifikasi, data diuji dengan mengukur tingkat akurasi dari aturan klasifikasi yang telah dibentuk.

Maka dapat diambil Kesimpulan bahwasanya Klasifikasi merupakan proses penting dalam data mining yang bertujuan untuk memprediksi kelas dari data baru berdasarkan karakteristik tertentu. Proses ini mencakup pembangunan model dengan data pelatihan, penerapan model untuk mengklasifikasikan data baru, serta evaluasi akurasi model. Klasifikasi terdiri dari dua tahap utama, yaitu pembelajaran (*learning*) dan pengklasifikasian, yang dilakukan dengan menggunakan algoritma tertentu untuk menghasilkan aturan klasifikasi yang efektif.

2.6 Polusi Cahaya

Polusi cahaya merupakan kondisi meningkatnya kecerahan langit malam akibat penggunaan cahaya buatan yang berlebihan sehingga mengganggu kondisi alami langit. Fenomena ini umumnya disebabkan oleh aktivitas manusia seperti penggunaan lampu jalan, bangunan, dan kawasan industri[7]. Polusi cahaya dapat berupa silau (*glare*), cahaya langit (*skyglow*), cahaya yang masuk ke area yang tidak diinginkan (*light trespass*), serta penumpukan cahaya (*light clutter*) yang menyebabkan gangguan visual dan menurunkan visibilitas objek langit seperti bintang dan planet.



Gambar 2. 1 Polusi Cahaya[25]

Polusi cahaya merupakan salah satu dampak dari perkembangan peradaban modern yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi. Peningkatan polusi cahaya berkaitan erat dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan infrastruktur yang menyebabkan intensitas pencahayaan buatan semakin tinggi[26].

Dalam penelitian yang dilakukan terhadap beberapa observatorium di Indonesia, tingkat polusi cahaya diukur menggunakan nilai *radiance*, yaitu besaran yang menunjukkan intensitas cahaya buatan pada suatu wilayah. Daerah seperti Planetarium Jakarta memiliki nilai rata-rata *radiance* sebesar $31,88 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \text{ sr}$ yang tergolong tinggi, sedangkan Observatorium Bosscha dan UAD berada pada kategori sedang dengan nilai sekitar $7,3 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \text{ sr}$, dan Observatorium Nasional Timau memiliki nilai yang sangat Rendah. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat polusi cahaya sangat dipengaruhi oleh kepadatan penduduk dan aktivitas perkotaan[27].

2.7 Tingkat Polusi Cahaya

Tingkat polusi cahaya dapat diukur berdasarkan intensitas kecerahan langit malam yang dinyatakan dalam nilai *radiance* atau *magnitudo* langit[27]. Tingkat polusi cahaya dapat diklasifikasikan berdasarkan nilai *radiance*, yaitu besaran yang menunjukkan intensitas radiasi cahaya buatan pada suatu wilayah. Semakin besar nilai *radiance*, maka semakin tinggi tingkat polusi cahaya yang terjadi. Pengukuran ini mengacu pada data citra satelit VIIRS-DNB yang kemudian divisualisasikan dalam *light pollution map*[28] .

tingkat kecerahan langit malam (night sky brightness). Salah satu parameter yang umum digunakan untuk menggambarkan tingkat polusi cahaya adalah *radiance*, yaitu besarnya intensitas cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan dari permukaan bumi dan direkam oleh sensor satelit, seperti Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band (VIIRS-DNB). Semakin besar nilai *radiance* yang terukur, semakin tinggi tingkat polusi cahaya pada suatu wilayah sehingga langit malam menjadi semakin terang akibat fenomena *skyglow*. World Atlas of Artificial Night Sky Brightness dan kajian terbaru mengenai pemantauan polusi cahaya menjelaskan bahwa *radiance* merupakan indikator yang banyak digunakan untuk mengevaluasi kondisi pencahayaan buatan pada malam hari.

Menurut Linares Arroyo dkk., peningkatan nilai *radiance* berkaitan erat dengan meningkatnya fenomena *skyglow*, yaitu kecerahan langit malam yang dihasilkan oleh hamburan cahaya buatan di atmosfer. Fenomena tersebut

menyebabkan langit malam tampak lebih terang sehingga mengurangi visibilitas bintang dan objek astronomi lainnya[29].

IUCN mendefinisikan polusi cahaya sebagai penggunaan cahaya buatan luar ruang yang tidak tepat. Polusi cahaya umumnya muncul dalam tiga bentuk utama, yaitu *glare* (silau akibat sumber cahaya yang terlalu terang), *light trespass* (cahaya yang menyinari area yang tidak diinginkan), dan *skyglow* (peningkatan kecerahan langit malam akibat pantulan cahaya buatan oleh partikel atmosfer). Ketiga fenomena tersebut menyebabkan langit malam kehilangan kondisi alaminya dan hanya menyisakan objek langit yang paling terang untuk dapat diamati.



Gambar 2. 2 Level Kecerahan Langit berdasarkan lokasi[30]

Dalam penelitian ini, nilai radiance yang diperoleh dari hasil pengamatan masih berupa besaran fisik sehingga belum dapat digunakan secara langsung sebagai masukan model klasifikasi citra digital. Oleh karena itu, dilakukan proses *Min-Max Normalization* untuk mengubah nilai radiance ke dalam rentang 0–255, sehingga sesuai dengan representasi intensitas piksel pada citra digital.

Rumus normalisasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{SQM_{MAX} - SQM}{SQM_{MAX} - SQM_{MIN}} \times 255 \quad (1)$$

V = nilai *brightness* HSV

SQM = nilai hasil pengukuran

SQMmax = nilai SQM tertinggi

SQMmin = nilai SQM terendah

Setelah diperoleh nilai dalam rentang 0–255, selanjutnya dilakukan klasifikasi tingkat polusi cahaya menjadi tiga kategori, Tingkat polusi cahaya diklasifikasikan ke dalam 3 kelas, yaitu:

- a. Rendah dengan rasio *Value* 0 - 85
- b. Sedang dengan rasio *Value* 86 - 170
- c. Tinggi dengan rasio *Value* 171 - 255

Dalam penelitian ini, klasifikasi tingkat polusi cahaya dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu Rendah, sedang, dan tinggi, yang ditentukan berdasarkan nilai *radiance* serta kondisi lingkungan di sekitar wilayah pengamatan astronomi[31].

Tabel 2. 1 Karakteristik Polusi Cahaya

Karakteristik	Rendah	Sedang	Tinggi
Kecerahan Langit	Gelap alami	Agak terang	Sangat terang
Skyglow	Hampir tidak ada	Mulai terlihat	Sangat dominan
Jumlah Bintang	Sangat banyak	Berkurang	Sangat

			sedikit
Aktivitas Manusia	Rendah	Sedang	Tinggi
Lokasi Umum	Pedesaan/pegunungan	Pinggiran kota	Pusat kota
Kelayakan Observasi Astronomi	Sangat baik	Cukup baik	Rendah

2.7.1 Polusi Cahaya Rendah

Polusi cahaya dengan kategori Rendah ditandai dengan nilai *radiance* yang sangat kecil atau mendekati nol. Wilayah dengan tingkat ini umumnya berada jauh dari pusat perkotaan, memiliki aktivitas manusia yang Rendah, serta minim penggunaan cahaya buatan pada malam hari.

Polusi cahaya kategori Rendah merupakan kondisi ketika intensitas cahaya buatan pada malam hari masih sangat kecil sehingga langit malam mendekati kondisi alaminya. Pada kondisi ini, fenomena *skyglow* hampir tidak terlihat karena sangat sedikit cahaya buatan yang dipantulkan oleh partikel atmosfer. Langit malam tetap gelap sehingga sebagian besar bintang dan objek astronomi masih dapat diamati dengan jelas[29].

Menurut IUCN, *skyglow* merupakan kecerahan langit malam yang disebabkan oleh cahaya buatan yang dipantulkan oleh partikel-partikel di atmosfer. Ketika tingkat pencahayaan buatan Rendah, efek *skyglow* menjadi sangat kecil sehingga visibilitas objek langit tetap terjaga[30].

Secara visual, kategori ini ditandai dengan warna langit yang cenderung hitam atau gelap alami, jumlah bintang yang terlihat sangat banyak, serta tidak adanya dominasi cahaya dari aktivitas manusia. Wilayah dengan karakteristik tersebut umumnya berada di daerah pedesaan, kawasan pegunungan, atau lokasi observatorium yang jauh dari pusat perkotaan. Berdasarkan penelitian pada observatorium di Indonesia, Observatorium Nasional Timau memiliki nilai radiance mendekati $0,00 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$, yang menunjukkan tingkat polusi cahaya sangat Rendah sehingga sangat mendukung kegiatan observasi astronomi.

Sebagai contoh pada penelitian di Indonesia, Observatorium Nasional Timau memiliki nilai radiance mendekati $0,00 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$, yang menunjukkan bahwa lokasi tersebut termasuk wilayah dengan tingkat polusi cahaya sangat Rendah. Kondisi ini mendukung kegiatan pengamatan astronomi karena langit malam masih relatif gelap.



Gambar 2. 3 Polusi cahaya Rendah [30]

Berdasarkan data penelitian, Observatorium Nasional Timau menunjukkan nilai *radiance* sebesar $0,00 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \text{ sr}$ pada hampir seluruh titik pengamatan. Hal ini menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki tingkat polusi cahaya yang sangat Rendah dan kondisi langit malam yang masih alami[7] .

Kondisi ini sangat ideal untuk kegiatan observasi astronomi karena langit yang gelap memungkinkan pengamatan objek langit dengan lebih jelas, termasuk bintang-bintang redup yang sulit terlihat di daerah dengan polusi cahaya tinggi. Polusi cahaya kategori Rendah merupakan kondisi ketika intensitas cahaya buatan pada malam hari masih sangat kecil sehingga langit malam mendekati kondisi alaminya. Pada kondisi ini, fenomena *skyglow* hampir tidak terlihat karena sangat sedikit foton dari sumber cahaya buatan yang tersebar di atmosfer. Linares Arroyo dkk. menjelaskan bahwa masih terdapat wilayah di dunia yang memiliki sedikit bahkan hampir tidak mengalami *skyglow* akibat Rendahnya penggunaan pencahayaan buatan dan terbatasnya akses terhadap listrik[29]. Kondisi tersebut menyebabkan langit malam tetap gelap sehingga kualitas pengamatan astronomi masih sangat baik.

Secara visual, langit malam pada kategori ini tampak gelap dengan kontras yang tinggi, sehingga bintang-bintang redup maupun objek astronomi lainnya masih dapat diamati dengan jelas. Wilayah yang termasuk dalam kategori ini umumnya berada jauh dari kawasan perkotaan, memiliki kepadatan penduduk Rendah, serta minim aktivitas yang menggunakan pencahayaan buatan pada malam hari. Berdasarkan penelitian pada observatorium di Indonesia, Observatorium Nasional Timau memiliki nilai radiance mendekati $0,00 \times 10^{-9}$ W/cm²·sr, yang menunjukkan bahwa lokasi tersebut termasuk wilayah dengan tingkat polusi cahaya sangat Rendah sehingga sangat ideal untuk kegiatan observasi astronomi.

2.7.2 Polusi Cahaya Sedang

Polusi cahaya kategori sedang memiliki nilai *radiance* yang berada pada tingkat menengah, biasanya terjadi di daerah pinggiran kota atau wilayah dengan kepadatan penduduk yang tidak terlalu tinggi. Pada kondisi ini, cahaya buatan mulai memengaruhi kecerahan langit, namun belum sepenuhnya mengganggu observasi astronomi.

Menurut IUCN, cahaya buatan yang tidak dikelola dengan baik dapat menghasilkan *light trespass* dan *skyglow*, yaitu kondisi ketika cahaya menyebar ke area yang tidak diperlukan serta meningkatkan kecerahan langit malam di atas wilayah berpenghuni[30].



Gambar 2. 4 Pencahayaan yang tidak di kelola dengan baik[30]

Secara visual, langit malam pada kategori sedang tampak lebih terang dibandingkan kondisi alami. Warna langit mulai berubah menjadi abu-abu kebiruan pada bagian horizon yang mengarah ke pusat aktivitas manusia. Kondisi seperti ini umumnya ditemukan pada wilayah pinggiran kota atau daerah dengan kepadatan penduduk sedang. Sebagai contoh, Observatorium Bosscha dan Observatorium UAD memiliki nilai *radiance* sekitar $7,37-7,38 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2\cdot\text{sr}$,

yang menunjukkan adanya pengaruh pencahayaan buatan terhadap kualitas langit malam.

Sebagai contoh, hasil penelitian pada Observatorium Bosscha dan Observatorium UAD menunjukkan nilai radiance sekitar $7,37\text{--}7,38 \times 10^{-9}$ W/cm²·sr, yang menggambarkan adanya pengaruh pencahayaan buatan dari kawasan sekitar terhadap kualitas langit malam. Nilai tersebut digunakan sebagai contoh kondisi wilayah dengan tingkat polusi cahaya sedang.



Gambar 2. 5 Polusi cahaya sedang[30]

Berdasarkan hasil analisis, Observatorium Bosscha dan Observatorium UAD memiliki nilai rata-rata *radiance* sekitar $7,37\text{--}7,38 \times 10^{-9}$ W/cm² sr, yang tergolong dalam kategori sedang. Pada wilayah ini, pengamatan astronomi masih dapat dilakukan, namun terdapat keterbatasan dalam melihat objek langit yang redup. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kecerahan langit akibat cahaya dari pemukiman atau kota di sekitarnya[7].

2.7.3 Polusi Cahaya Tinggi

Polusi cahaya kategori tinggi ditandai dengan nilai *radiance* yang besar dan umumnya terjadi di wilayah perkotaan dengan aktivitas manusia yang padat

serta penggunaan lampu buatan yang intensif. Berdasarkan data penelitian, Planetarium dan Observatorium Taman Ismail Marzuki (Jakarta) memiliki nilai rata-rata *radiance* sebesar $31,88 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \text{ sr}$, sedangkan Observatorium Ilmu Falak UMSU (Medan) memiliki nilai sekitar $17,61 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \text{ sr}$, yang keduanya termasuk dalam kategori tinggi[7].

Polusi cahaya kategori tinggi ditandai oleh dominasi cahaya buatan yang menyebabkan langit malam menjadi sangat terang. Pada kondisi ini, fenomena *skyglow*, *glare*, dan *light trespass* terjadi secara signifikan sehingga mengurangi kualitas langit malam dan menghambat pengamatan objek astronomi.

IUCN menjelaskan bahwa polusi cahaya dapat muncul dalam tiga bentuk utama, yaitu *glare* (silau akibat sumber cahaya yang terlalu terang), *light trespass* (cahaya yang menyebar ke area yang tidak diinginkan), dan *skyglow* (peningkatan kecerahan langit malam akibat pantulan cahaya buatan oleh atmosfer). Fenomena tersebut menyebabkan hanya bintang-bintang yang sangat terang yang masih dapat terlihat oleh mata manusia.

Selain itu, cahaya dari lampu jalan, gedung bertingkat, papan reklame, pusat perbelanjaan, kawasan industri, dan fasilitas publik lainnya menjadi sumber utama peningkatan polusi cahaya di wilayah perkotaan. Akibatnya, langit malam tampak berwarna putih keabu-abuan atau kekuningan dan jumlah bintang yang dapat diamati menjadi sangat sedikit. Kondisi ini menyebabkan kualitas observasi astronomi menurun secara signifikan.

Sebagai contoh, Planetarium dan Observatorium Taman Ismail Marzuki di Jakarta memiliki nilai *radiance* sekitar $31,88 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$, sedangkan

Observatorium Ilmu Falak UMSU memiliki nilai sekitar $17,61 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$. Nilai tersebut menunjukkan tingginya pengaruh cahaya buatan terhadap kecerahan langit malam pada wilayah perkotaan.



Gambar 2. 6 Polusi cahaya tinggi[25]

Tingginya nilai tersebut disebabkan oleh kepadatan penduduk, aktivitas perkotaan, serta penggunaan pencahayaan buatan yang berlebihan pada malam hari. Kondisi ini menyebabkan langit menjadi terang (*skyglow*), sehingga mengurangi kontras antara objek langit dan latar belakangnya. Akibatnya, hanya objek langit yang terang yang dapat diamati, sedangkan objek redup menjadi sulit bahkan tidak terlihat.

2.8 *Dataset Citra Langit Malam*

Dataset citra langit malam merupakan kumpulan data berupa gambar langit pada kondisi malam hari yang digunakan sebagai bahan utama dalam proses pelatihan dan pengujian model klasifikasi. *Dataset* ini berisi berbagai variasi kondisi langit, mulai dari langit yang gelap hingga langit yang terang akibat polusi cahaya. Dalam penelitian ini, *Dataset* citra langit malam digunakan untuk melatih model dalam mengenali pola tingkat kecerahan berdasarkan citra

yang diberikan. Data yang digunakan dapat diperoleh melalui pengambilan gambar secara langsung maupun dari sumber *Dataset online* yang relevan. Pada penelitian ini dataset yang digunakan sebanyak 2516. [32] menjelaskan bahwa model CNN memerlukan jumlah data yang besar agar mampu melakukan generalisasi dengan baik. Ketika jumlah data terbatas, teknik data *augmentation* dapat digunakan untuk meningkatkan keragaman dataset dan mengurangi overfitting sehingga performa klasifikasi menjadi lebih optimal.

Kualitas dan jumlah *Dataset* sangat berpengaruh terhadap performa model yang dihasilkan. *Dataset* yang baik harus memiliki variasi yang cukup serta representatif terhadap kondisi nyata agar model dapat belajar secara optimal dan memiliki kemampuan generalisasi yang baik. Selain itu, *Dataset* juga biasanya melalui tahap *Preprocessing* seperti *resizing*, normalisasi, dan *augmentasi* untuk meningkatkan kualitas data. Proses ini bertujuan agar model dapat mengenali berbagai variasi kondisi citra dan menghasilkan prediksi yang lebih akurat [33].

Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Dataset* citra langit malam merupakan komponen penting dalam penelitian ini karena digunakan sebagai dasar dalam proses pelatihan dan pengujian model klasifikasi polusi cahaya.

2.9 Kabupaten Rokan Hulu

Kabupaten Rokan Hulu merupakan salah satu kabupaten yang berada di Provinsi Riau dengan pusat pemerintahan berada di Pasir Pengaraian [34]. Kabupaten ini memiliki perkembangan infrastruktur dan pertumbuhan kawasan

permukiman yang cukup pesat dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan aktivitas masyarakat, pembangunan fasilitas umum, serta penggunaan lampu penerangan pada malam hari berpotensi meningkatkan intensitas cahaya buatan di lingkungan sekitar. Kondisi tersebut dapat memengaruhi kualitas langit malam dan berpotensi menyebabkan terjadinya polusi cahaya.

Menurut [35] dalam publikasi “*Kabupaten Rokan Hulu Dalam Angka 2024*”, pertumbuhan pembangunan dan peningkatan fasilitas umum di wilayah Rokan Hulu terus mengalami perkembangan setiap tahunnya. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan aktivitas perkotaan dan penggunaan pencahayaan buatan pada malam hari yang dapat memengaruhi kondisi lingkungan sekitar.

Selain itu, penelitian oleh [36] dalam jurnal “*Pengukuran Kecerahan Langit Malam di Sumatera Utara*” menyatakan bahwa peningkatan cahaya buatan pada malam hari dapat menyebabkan naiknya tingkat polusi cahaya dan menurunkan kualitas langit malam untuk observasi astronomi. Kondisi serupa juga berpotensi terjadi pada wilayah yang mengalami perkembangan infrastruktur dan pertumbuhan permukiman seperti Kabupaten Rokan Hulu.

Dalam penelitian ini, Kabupaten Rokan Hulu dipilih sebagai lokasi penelitian karena wilayah tersebut memiliki variasi tingkat pencahayaan yang berbeda antara kawasan perkotaan, permukiman, dan area yang minim pencahayaan. Hal ini memungkinkan penelitian dilakukan untuk mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya berdasarkan citra langit malam menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN).

2.10 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital merupakan proses manipulasi dan analisis citra untuk memperoleh *Info* rmasi yang lebih bermakna[37]. Citra digital terdiri dari kumpulan piksel yang masing-masing memiliki nilai tertentu yang merepresentasikan warna atau intensitas cahaya.

Dalam konteks penelitian ini, pengolahan citra digunakan untuk menganalisis citra langit malam guna mendeteksi tingkat kecerahan. Citra digital terdiri dari piksel yang merepresentasikan nilai intensitas warna tertentu[33]. Tahapan dalam pengolahan citra meliputi *Preprocessing*, ekstraksi fitur, dan klasifikasi. *Preprocessing* dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra, sedangkan ekstraksi fitur bertujuan untuk mengambil *Info* rmasi penting dari citra sebelum dilakukan proses klasifikasi. Teknik ini banyak digunakan dalam analisis visual seperti deteksi objek dan klasifikasi citra[38].

2.11 Konversi Warna

HSV *Hue, Saturation, Value* (HSV) merupakan ruang warna yang bersifat perseptual karena merepresentasikan warna pada citra berdasarkan cara manusia memahami warna. Model warna HSV terdiri dari tiga komponen utama: *Hue*, yaitu panjang gelombang dominan yang menunjukkan jenis warna seperti merah, kuning, atau biru; *Saturation*, yang menggambarkan tingkat kejenuhan atau kemurnian warna; dan *Value*, yang menunjukkan tingkat kecerahan dari warna tersebut[39]. Salah satu keunggulan ruang warna HSV adalah kemampuannya dalam mendeskripsikan berbagai warna dasar, tidak terbatas hanya pada warna merah, hijau, dan biru. Warna seperti oranye atau hijau kebiruan tetap dapat

dikenali sebagai warna dominan dalam model HSV tanpa harus bergantung pada komponen RGB. Keunggulan ini membuat ruang warna HSV lebih stabil dan lebih sesuai digunakan dalam proses segmentasi warna[40].

2.12 HSV dalam Klasifikasi Polusi Cahaya

Penggunaan ruang warna *HSV Color Space (Hue–Saturation–Value)* memberikan keuntungan yang signifikan dalam analisis citra, khususnya dalam mendeteksi tingkat kecerahan langit malam. Menurut [41] dalam jurnal *“Segmentasi Citra Berbasis Warna Menggunakan Metode HSV”*, ruang warna HSV memungkinkan pemisahan *Info* rmasi warna dan intensitas sehingga mempermudah proses analisis pada citra digital.

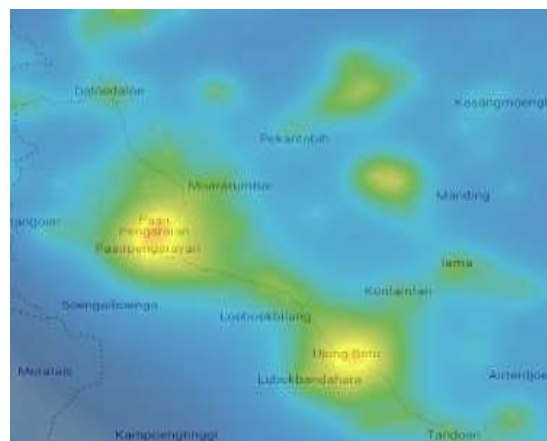
Dalam konteks klasifikasi polusi cahaya, komponen *Value (V)* menjadi bagian yang paling penting karena merepresentasikan tingkat kecerahan citra.[41] menyatakan bahwa komponen *Value* digunakan untuk menunjukkan tingkat terang atau gelap suatu objek pada citra, sehingga sangat relevan dalam analisis yang berkaitan dengan intensitas cahaya. Dengan memanfaatkan komponen ini, sistem dapat membedakan kondisi langit dengan tingkat kecerahan Rendah (polusi Rendah) dan tinggi (polusi tinggi).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan HSV dalam pengolahan citra mampu meningkatkan akurasi analisis dibandingkan hanya menggunakan RGB.[42] dalam jurnal *“Peningkatan Kualitas Citra Menggunakan Metode HSV dan Histogram Equalization”* menyatakan bahwa kombinasi HSV dengan teknik peningkatan citra mampu menghasilkan representasi visual yang lebih jelas sehingga mempermudah proses deteksi dan klasifikasi objek.

Dalam penelitian ini, konversi warna HSV digunakan sebagai tahap *Preprocessing* sebelum citra diproses menggunakan metode *Convolutional Neural Network*. Dengan adanya tahap ini, diharapkan model dapat memperoleh Informasi kecerahan yang lebih optimal, sehingga mampu meningkatkan akurasi dalam mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya menjadi kategori Rendah, sedang, dan tinggi.

2.14 Sky Quality Meter (SQM)

Sky Quality Meter (SQM) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kecerahan langit malam akibat polusi cahaya[5]. Alat ini bekerja dengan mendeteksi intensitas cahaya langit dan menghasilkan nilai pengukuran dalam satuan *magnitudo per square arcsecond* ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$). SQM banyak digunakan dalam penelitian astronomi untuk mengetahui kualitas langit malam dan tingkat polusi cahaya pada suatu wilayah.



Gambar 2 4 Polusi Cahaya Rokan Hulu

Menurut penelitian oleh [7] dalam jurnal “*Pengukuran Tingkat Polusi Cahaya dan Awal Waktu Subuh*”, *Sky Quality Meter* digunakan untuk mengukur tingkat kecerahan langit malam pada beberapa lokasi pengamatan guna

mengetahui pengaruh cahaya buatan terhadap kualitas observasi astronomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah dengan intensitas cahaya buatan tinggi memiliki kualitas langit malam yang lebih buruk dibandingkan daerah minim pencahayaan.

Selain itu, penelitian oleh [36] dalam jurnal “*Pengukuran Kecerahan Langit Malam di Sumatera Utara*” menjelaskan bahwa SQM mampu memberikan data *radiance* dan tingkat kecerahan langit malam secara akurat sehingga dapat digunakan untuk menganalisis tingkat polusi cahaya pada suatu daerah.

Meskipun memiliki tingkat akurasi yang baik, penggunaan SQM memiliki beberapa keterbatasan, seperti membutuhkan perangkat khusus dan proses pengukuran langsung di lapangan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan pendekatan alternatif berbasis pengolahan citra digital dan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk membantu proses klasifikasi polusi cahaya berdasarkan citra langit malam.

2.15 Augmented Datasets

Augmentasi data merupakan proses menambah variasi pada *Dataset* pelatihan dengan teknik manipulasi citra seperti rotasi, *flipping*, *zoom*, *brightness shift*, dan penambahan *noise*. Dengan menambah jumlah data pelatihan, model didorong untuk mempelajari konsep utama alih-alih menghafal seluruh dataset, sehingga mengurangi risiko *overfitting*[43].

Augmentasi data telah menjadi strategi penting untuk memperbaiki performa model CNN dalam klasifikasi penyakit tanaman, terutama ketika *Dataset* alami terbatas atau tidak seimbang. mengembangkan metode

augmentasi berbasis CycleGAN-attention yang menerjemahkan citra sehat ke citra penyakit dan menghasilkan gambar sintetis yang lebih realistis; dengan menggunakan *Dataset Plant Village* (apel, kentang, anggur), mereka berhasil meningkatkan akurasi klasifikasi menunjukkan efektifitas *augmentasi* berbasis GAN dibanding *augmentasi* konvensional[44].

Sementara itu, [45] memperkenalkan teknik *augmentasi* berbasis *latent space* menggunakan *transformasi* Hadamard untuk mencampur fitur citra; ketika diuji pada arsitektur CNN (VGG16/19 dan ResNet-50), pendekatan ini meningkatkan generalisasi dan akurasi dibanding *augmentasi* tradisional[45]. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa *augmentasi* canggih seperti GAN atau *latent-space mixing* bukan hanya memperkaya data, tetapi juga membantu mengurangi *overfitting* dan meningkatkan ketahanan terhadap variasi dunia nyata.

2.16 Anotasi Data

Anotasi data merupakan proses penting dalam penelitian berbasis pengolahan citra digital, khususnya pada metode *Deep Learning* seperti *Convolutional Neural Network* (CNN). Anotasi dilakukan dengan memberikan label pada setiap data citra sehingga model dapat mengenali pola dan melakukan klasifikasi secara tepat. Dalam penelitian berbasis citra, anotasi biasanya dilakukan sebelum tahap pelatihan (*Training*) model agar data memiliki *Informasi* yang jelas terkait objek yang akan dikenali.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [46] disebutkan bahwa proses pembangunan model sangat dipengaruhi oleh variasi data dan proses anotasi gambar dalam dataset. Hal ini menunjukkan bahwa anotasi memiliki peran

penting dalam menentukan kualitas hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh model *Deep Learning*.

Lebih lanjut, pada tahap metodologi dijelaskan bahwa anotasi dilakukan dengan memberikan label dan masking pada setiap objek dalam citra menggunakan tools tertentu. Proses ini bertujuan agar model dapat mempelajari hubungan antara citra dan label yang diberikan, sehingga mampu melakukan deteksi dan klasifikasi secara otomatis. Setiap objek dalam gambar diberi region atau area tertentu yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam proses *Training*.

Selain itu, penelitian lain juga menjelaskan bahwa dataset yang digunakan dalam CNN harus berupa dataset yang telah melalui proses anotasi. Dalam jurnal [47] dijelaskan bahwa proses pelatihan model dilakukan menggunakan dataset beranotasi agar model dapat mengenali objek dengan baik. Hal ini menegaskan bahwa anotasi data menjadi salah satu syarat utama dalam membangun model klasifikasi berbasis CNN.

Dalam penelitian ini, anotasi data dilakukan dengan mengelompokkan citra langit malam ke dalam beberapa kategori tingkat polusi cahaya, yaitu Rendah, sedang, dan tinggi. Proses anotasi dilakukan secara manual dengan mempertimbangkan tingkat kecerahan citra sebagai indikator utama. Berbeda dengan anotasi berbasis objek (bounding box atau segmentation), penelitian ini menggunakan anotasi berbasis klasifikasi citra secara keseluruhan.

2.17 Flowchart

Flowchart adalah representasi logis dari suatu prosedur penyelesaian masalah, yang digambarkan melalui simbol-simbol khusus. *Diagram* ini menggambarkan

langkah-langkah sistematis dalam menyelesaikan suatu permasalahan, sekaligus menunjukkan alur logika program secara visual[48]. *Flowchart* merupakan representasi grafis dari langkah-langkah dan urutan prosedur dalam suatu program. *Flowchart* sistem menggambarkan rangkaian proses dalam suatu sistem, termasuk menunjukkan perangkat *Input*, *Output*, serta jenis media penyimpanan yang digunakan selama pemrosesan .

2.18 *Unified Model Language (UML)*

UML adalah sekelompok alat yang digunakan untuk perangkat lunak abstrak atau sistem berbasis objek. Alat lain untuk memfasilitasi pembuatan aplikasi berkelanjutan adalah *Unified Model Language*. Dalam aplikasi atau sistem yang tidak terdokumen dapat menghambat pengembangan karena memerlukan pengembangan untuk menavigasi dan memeriksa kode komputer[49]. Uml juga dapat digunakan sebagai alat bagi pengembangan untuk berbagi *Info* rmasi satu sama lain mengenai sistem atau aplikasi yang akan datang. Siapa pun dapat memahami sistem dengan uml, tidak hanya pengembangan dapat professional bisnis[50] .

2.18.1 *Use Case Diagram*

Use Case Diagram merupakan model untuk perilaku (*behaviour*) dari sistem *Info* rmasi yang akan dibangun. *Use case* digunakan untuk mengetahui fungsi apa yang ada dalam sistem *Info* rmasi dan siapa yang memiliki kewenangan untuk menggunakan fungsi tersebut.

2.18.2 Class Diagram

Class Diagram Merupakan hubungan antar kelas dan penjelasan detail tiap tiap kelas di dalam model desain dari suatu sistem, juga memperlihatkan aturan aturan dan tanggung jawab entitas yang menentukan perilaku sistem. *Class Diagram* juga menunjukkan atribut-atribut dan operasi-operasi dari sebuah kelas dan *constraint* yang berhubungan dengan objek yang dikoneksikan.

2.18.3 Activity Diagram

Activity Diagram yang menggambarkan atau memodelkan berbagai aktivitas aliran dalam sistem yang sedang dikembangkan, serta bagaimana setiap aliran berawal dari keputusan yang mungkin terjadi, dan bagaimana setiap aktivitas berakhir.

2.18.4 Sequence Diagram

Sequence Diagram digunakan untuk memodelkan urutan dari aktivitas aktivitas dalam sebuah proses yang melibatkan beberapa objek dalam sistem. *Sequence Diagram* menunjukkan bagaimana pesan atau perintah diproses oleh objek-objek dalam *system*.

2.19 Bahasa pemrograman

Bahasa pemrograman merupakan komponen penting dalam pengembangan sistem *Info rmasi* karena digunakan sebagai sarana untuk menuliskan instruksi atau perintah kepada komputer agar dapat menjalankan tugas tertentu. Bahasa pemrograman memungkinkan programmer untuk mengembangkan perangkat lunak melalui penulisan kode yang terstruktur dan sistematis[51].

Dalam proses pengembangan perangkat lunak, bahasa pemrograman tidak dapat dipisahkan dari algoritma, karena algoritma merupakan langkah-langkah logis yang digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan. Implementasi algoritma dalam bahasa pemrograman dilakukan secara sistematis sehingga menghasilkan solusi yang dapat diuji dan dijalankan oleh komputer. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian bahwa “penerapan algoritma dalam konteks pemrograman adalah langkah sistematis dan logis dalam pemecahan masalah”[51].

Bahasa pemrograman memiliki berbagai jenis dan tingkat kompleksitas yang berbeda, mulai dari bahasa tingkat Rendah hingga bahasa tingkat tinggi. Bahasa pemrograman tingkat tinggi seperti *Python*, *Java*, dan *C++* lebih mudah dipahami karena memiliki sintaks yang mendekati bahasa manusia, sedangkan bahasa tingkat Rendah lebih dekat dengan bahasa mesin dan cenderung lebih sulit dipahami[51]. Selain itu, setiap bahasa pemrograman memiliki keunggulan dan fungsi yang berbeda-beda, misalnya *Python* banyak digunakan dalam pengembangan *web*, analisis data, dan kecerdasan buatan, sedangkan *C++* lebih sering digunakan untuk pengembangan perangkat lunak yang membutuhkan kinerja tinggi seperti aplikasi desktop dan sistem operasi .

2.19.1 *Python*

Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat interpretatif dan mendukung paradigma pemrograman berorientasi objek. Bahasa ini dirancang dengan sintaks yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga memudahkan pengembang dalam menulis dan memelihara kode program.

Menurut [52], *Python* memiliki struktur data tingkat tinggi serta mendukung pengembangan aplikasi secara cepat dan efisien karena sintaksnya yang jelas dan mudah dipelajari.

Python juga banyak digunakan dalam bidang analisis data dan kecerdasan buatan. Kemampuannya dalam menangani perhitungan kompleks serta integrasinya dengan berbagai *Library* menjadikannya pilihan utama dalam pengembangan sistem berbasis machine learning. Menurut [53], *Python* mampu mendukung proses analisis data, visualisasi, serta penerapan algoritma *Machine Learning* dengan hasil yang akurat dan efisien dibandingkan metode konvensional.

Selain itu, *Python* dikenal sebagai bahasa pemrograman yang fleksibel dan memiliki banyak kegunaan di berbagai bidang. Hal ini didukung oleh banyaknya pustaka (*Library*) yang tersedia, seperti NumPy, Pandas, Matplotlib, serta *TensorFlow* dan *Keras* untuk pengembangan machine learning. [52] menyatakan bahwa *Python* memungkinkan pengembang untuk melakukan berbagai proses seperti pengolahan data, analisis, dan pengembangan sistem secara lebih efisien.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwasanya *Python* merupakan bahasa pemrograman berorientasi objek yang fleksibel, interpretatif, dan mudah dipahami karena sintaksnya yang sederhana. *Python* dirancang untuk membantu pengembang dalam membangun program secara efisien dan kompatibel dengan berbagai sistem, serta dapat digunakan baik untuk aplikasi mandiri maupun skrip. Kepopuleran *Python* didukung oleh kemampuannya dalam menyelesaikan berbagai tugas, mulai dari analisis data,

perhitungan statistik, visualisasi data, hingga penerapan algoritma machine learning. Dengan dukungan pustaka yang beragam, *Python* memungkinkan penggunaanya untuk berinovasi secara maksimal. Dalam bidang pendidikan, khususnya pada pembelajaran matematika seperti materi Permukaan Ruang, *Python* juga bermanfaat untuk memvisualisasikan grafik fungsi dua variabel guna memperdalam pemahaman konsep yang kompleks.

2.19.2 *Cascading Style Sheet (CSS)*

Cascading Style Sheet (CSS) merupakan salah satu teknologi penting dalam pengembangan *web* yang berfungsi untuk mengatur tampilan dan struktur visual suatu halaman *website*. CSS digunakan untuk mengontrol berbagai komponen dalam halaman *web* agar terlihat lebih rapi, terstruktur, dan seragam. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa “*Cascading Style Sheet (CSS)* merupakan aturan untuk mengatur beberapa komponen dalam sebuah *web* sehingga akan lebih terstruktur dan seragam”[54]. Dengan adanya CSS, pengembang dapat memisahkan antara struktur konten dan tampilan desain sehingga memudahkan dalam pengelolaan *website*.

Selain itu, CSS juga berperan dalam mengatur berbagai elemen visual pada halaman *web* seperti warna, ukuran, dan tata letak. CSS memungkinkan pengembang untuk mengendalikan tampilan dokumen secara menyeluruh, termasuk pengaturan ukuran gambar, warna teks, tabel, border, serta spasi antar elemen. Hal ini didukung oleh pernyataan bahwa “CSS adalah bahasa *style sheet* yang digunakan untuk mengatur tampilan dokumen CSS dapat mengendalikan ukuran gambar, warna teks, tabel, border, spasi, margin, dan parameter

lainnya”[55] . Dengan kemampuan tersebut, CSS menjadi komponen utama dalam menciptakan tampilan *website* yang konsisten dan profesional.

Lebih lanjut, CSS digunakan untuk meningkatkan daya tarik visual sebuah *website* dengan memberikan desain yang lebih menarik dan responsif. CSS memungkinkan pengaturan tampilan seperti warna, font, background, serta penyesuaian layout agar sesuai dengan berbagai ukuran layar perangkat. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian bahwa “CSS (*Cascading Style Sheet*) adalah bahasa pemrograman untuk memberikan tampilan desain pada *web* seperti warna, font, outline, background, serta menyesuaikan tampilan *website* agar lebih menarik” [54]. Oleh karena itu, penggunaan CSS sangat penting dalam pengembangan *website* modern untuk menghasilkan tampilan yang interaktif dan *User-friendly*.

2.19.3 *JavaScript*

JavaScript merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi berbasis *web* agar lebih interaktif dan dinamis[56]. *JavaScript* bekerja pada sisi *client-side* maupun *server-side* sehingga mampu digunakan untuk membuat tampilan interaktif, manipulasi data, validasi *form*, hingga integrasi sistem berbasis *web*. Dalam pengembangan aplikasi modern, *JavaScript* menjadi salah satu bahasa pemrograman yang paling banyak digunakan karena fleksibilitas dan kompatibilitasnya dengan berbagai *platform*.

Menurut penelitian oleh [57], “*JavaScript* adalah bahasa yang terdiri dari kumpulan kode yang berfungsi untuk dieksekusi pada dokumen *HTML*. Seiring

berjalannya sejarah *internet*, *JavaScript* menjadi bahasa skrip pertama yang diimplementasikan untuk pengembangan *web*. Selain itu, bahasa pemrograman ini memungkinkan penggunaan perintah peristiwa untuk meningkatkan kemampuan bahasa *HTML*, memberikan fleksibilitas dan interaktivitas yang lebih besar”. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa *JavaScript* memiliki peran penting dalam membangun sistem berbasis *web* yang responsif dan interaktif.

Dalam penelitian ini, *JavaScript* digunakan untuk mendukung pengembangan antarmuka sistem klasifikasi tingkat polusi cahaya langit malam agar mampu menampilkan hasil deteksi polusi cahaya secara interaktif dan *real-time*. Menurut penelitian oleh,[58] “visualisasi hasil memerlukan dukungan antarmuka interaktif agar pengguna dapat memahami hasil deteksi secara lebih mudah”. Oleh karena itu, *JavaScript* menjadi salah satu bahasa pendukung dalam pengembangan sistem penelitian ini.

2.20 Evaluasi Model Klasifikasi

Evaluasi model klasifikasi merupakan tahap penting dalam penelitian untuk mengetahui seberapa baik model yang telah dibangun dalam melakukan prediksi. Evaluasi ini dilakukan dengan menggunakan beberapa metrik yang umum digunakan dalam *Machine Learning* untuk mengukur performa model secara objektif. Salah satu metrik yang digunakan adalah *Accuracy*, yaitu ukuran yang menunjukkan tingkat ketepatan model dalam mengklasifikasikan data secara keseluruhan. Selain itu, terdapat *precision* yang digunakan untuk mengukur seberapa banyak hasil prediksi positif yang benar dibandingkan dengan seluruh prediksi positif yang dihasilkan oleh model[12].

Recall juga merupakan metrik penting yang digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam menemukan seluruh data yang seharusnya termasuk dalam kelas tertentu. Semakin tinggi nilai *recall* , maka semakin baik model dalam mendeteksi data yang relevan. Selain itu, terdapat *F1-score* yang merupakan kombinasi antara *precision* dan *recall* yang digunakan untuk memberikan penilaian yang lebih seimbang terhadap performa model. Evaluasi juga dapat dilengkapi dengan *Confusion Matrix* yang digunakan untuk melihat distribusi hasil prediksi model terhadap data sebenarnya. Berdasarkan penjelasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa evaluasi model klasifikasi sangat penting untuk mengetahui kinerja model dalam melakukan prediksi. Dengan menggunakan metrik seperti *Accuracy*, *precision* , *recall* , dan *F1-score*, peneliti dapat menilai tingkat keberhasilan model dalam mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya secara akurat[59].

2.20.1 Confusion Matrix

Confusion Matrix merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model klasifikasi dalam *machine learning*. Metode ini berbentuk tabel matriks yang membandingkan antara hasil prediksi model dengan data aktual, sehingga dapat diketahui tingkat kebenaran maupun kesalahan dari hasil klasifikasi. *Confusion Matrix* memberikan Informasi mengenai jumlah prediksi yang benar dan salah, yang kemudian digunakan untuk mengukur performa model secara menyeluruh. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa “*Confusion Matrix* digunakan untuk menghitung kinerja atau

tingkat kebenaran akurasi proses klasifikasi dengan nilai *recall*, *precision*, dan *Accuracy*”[60].

Dalam *Confusion Matrix* terdapat empat komponen utama, yaitu True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN), yang masing-masing menunjukkan hasil prediksi yang benar maupun salah pada setiap kelas. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, dapat dihitung berbagai metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, recall, dan F1-score untuk menilai performa model secara lebih detail. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian bahwa “*Confusion Matrix* adalah metode evaluasi model klasifikasi yang membandingkan hasil prediksi dengan data actual. serta memberikan Informasi tentang prediksi yang benar dan salah untuk setiap kelas”[61]. Oleh karena itu, *Confusion Matrix* menjadi salah satu metode evaluasi yang penting dalam menentukan tingkat keberhasilan suatu model klasifikasi.

2.20.2 Accuracy

Accuracy merupakan salah satu metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan model klasifikasi dalam memprediksi data secara benar. Nilai *Accuracy* diperoleh dari perbandingan jumlah prediksi benar terhadap seluruh jumlah data yang diuji[62]. Dalam penelitian berbasis *Deep Learning*, *Accuracy* menjadi parameter utama untuk mengetahui seberapa baik performa model dalam mengenali pola data.

Dalam sistem klasifikasi polusi cahaya, *Accuracy* digunakan untuk mengukur kemampuan model *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam mengenali kategori tingkat polusi cahaya secara tepat, yaitu Rendah, sedang, dan

tinggi. Menurut penelitian oleh [33] dalam jurnal “Pengenalan Cuaca Indonesia Berdasarkan Citra Langit Menggunakan Cnn Arsitektur Mobilenetv2 Darryl”, model CNN mampu menghasilkan tingkat *Accuracy* yang tinggi dalam proses klasifikasi citra berdasarkan pola intensitas cahaya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode *Deep Learning* sangat efektif digunakan dalam pengenalan pola citra digital.

Selain itu, menurut [63], “*Accuracy* menjadi indikator awal untuk mengevaluasi kualitas model klasifikasi sebelum dilakukan analisis lebih mendalam menggunakan *Precision* dan *Recall*”.

2.20.3 *Precision*

Precision merupakan parameter evaluasi yang digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan prediksi positif yang dihasilkan oleh model klasifikasi. *Precision* menunjukkan seberapa banyak data yang diprediksi positif benar-benar merupakan data positif sebenarnya. Nilai *Precision* yang tinggi menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesalahan prediksi positif yang Rendah.

Menurut [64], “*Precision* digunakan untuk mengevaluasi kualitas hasil prediksi positif pada sistem klasifikasi”. Dalam sistem pengenalan emosi, *Precision* sangat penting karena membantu mengetahui apakah model mampu mengenali ekspresi tertentu tanpa banyak kesalahan klasifikasi terhadap emosi lain yang memiliki pola serupa.

Pada penelitian ini, *Precision* digunakan untuk mengevaluasi kemampuan Selain itu, penelitian oleh [33] dalam jurnal ““Pengenalan Cuaca Indonesia Berdasarkan Citra Langit Menggunakan Cnn Arsitektur Mobilenetv2 Darryl”

menyatakan bahwa metode CNN mampu menghasilkan nilai *Precision* yang tinggi karena kemampuannya dalam mengekstraksi fitur visual secara otomatis dan detail.

2.20.4 Recall

Recall merupakan parameter evaluasi yang digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam menemukan seluruh data positif yang sebenarnya. *Recall* menunjukkan seberapa baik model mampu mengenali data yang benar-benar termasuk dalam kategori tertentu[65]. Nilai *Recall* yang tinggi menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan deteksi yang baik terhadap data target.

Dalam penelitian ini, recall digunakan untuk mengetahui kemampuan model CNN dalam mengenali seluruh kategori tingkat polusi cahaya berdasarkan citra langit malam. Menurut penelitian oleh [58] recall digunakan untuk mengukur sensitivitas model dalam mengenali pola citra berdasarkan tingkat intensitas cahaya.

Selain itu, penelitian oleh [47] menyatakan bahwa nilai recall dapat dipengaruhi oleh kualitas dataset dan proses *Preprocessing* citra. Oleh karena itu, penggunaan *Preprocessing* HSV dan dataset yang baik sangat diperlukan untuk meningkatkan performa recall pada model klasifikasi polusi cahaya.

2.20.5 F1-Score

F1-Score merupakan parameter evaluasi yang diperoleh dari kombinasi *Precision* dan recall. Metode ini digunakan untuk memberikan nilai keseimbangan antara ketepatan prediksi dan kemampuan deteksi model. *F1-Score* sangat penting

digunakan ketika distribusi data tidak seimbang atau terdapat kategori yang memiliki jumlah data lebih sedikit dibanding kategori lainnya[66].

Menurut penelitian oleh [64], “*F1-Score* memberikan gambaran evaluasi yang lebih stabil dibandingkan *Accuracy* pada *dataset* tidak seimbang”. Dalam penelitian pengenalan citra langit, beberapa kategori citra langit sering memiliki jumlah data yang berbeda sehingga penggunaan *F1-Score* menjadi sangat relevan.

Dalam penelitian ini, *F1-Score* digunakan untuk mengevaluasi keseimbangan performa model ResNet50 dalam mengenali seluruh kategori polusi cahaya. Menurut[67], “kombinasi evaluasi *Accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-Score* memberikan analisis performa model yang lebih komprehensif”. Oleh sebab itu, *F1-Score* menjadi salah satu parameter evaluasi utama dalam penelitian ini.

2.21 Alat Bantu

Alat bantu pembuatan aplikasi merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mempermudah proses pengembangan perangkat lunak, mulai dari penulisan kode, pengujian, hingga pengelolaan proyek. Salah satu alat bantu yang banyak digunakan adalah *Visual Studio Code* (VS Code), yaitu editor kode sumber yang bersifat open-source dan mendukung berbagai bahasa pemrograman. VS Code menyediakan berbagai fitur seperti IntelliSense (auto-completion), debugging terintegrasi, serta dukungan ekstensi yang memudahkan pengembang dalam menulis dan mengelola kode secara efisien. Hal ini didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan VS Code “secara signifikan

meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan coding mahasiswa serta membantu dalam menulis, men-debug, dan memahami kode program”[68].

Selain itu, penggunaan alat bantu seperti *Visual Studio Code* juga berperan penting dalam pengembangan aplikasi berbasis web karena mampu mengintegrasikan berbagai teknologi seperti HTML, CSS, dan JavaScript dalam satu lingkungan kerja. Dalam praktiknya, VS Code digunakan untuk merancang dan membangun aplikasi secara terstruktur, termasuk dalam pembuatan aplikasi pembelajaran interaktif yang menarik dan mudah digunakan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyebutkan bahwa aplikasi dapat dikembangkan “menggunakan *Visual Studio Code* dengan teknologi sederhana seperti HTML, CSS, dan JavaScript” serta mampu menghasilkan aplikasi yang lebih interaktif dan meningkatkan motivasi pengguna dalam belajar[69]. Dengan demikian, alat bantu pembuatan aplikasi seperti VS Code memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi, kualitas, dan kemudahan dalam proses pengembangan perangkat lunak.

2.21.1 Visual Studio Code (VS Code)

Visual Studio Code (VS Code) merupakan salah satu alat bantu pengembangan aplikasi yang banyak digunakan oleh programmer karena bersifat open-source, ringan, dan mendukung berbagai bahasa pemrograman. VS Code menyediakan berbagai fitur unggulan seperti *IntelliSense (auto-completion)*, debugging terintegrasi, serta dukungan ekstensi yang memungkinkan pengembang menyesuaikan lingkungan kerja sesuai kebutuhan. Selain itu, antarmuka yang intuitif membuat VS Code mudah digunakan oleh pemula maupun profesional.

Hal ini didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan *Visual Studio Code* “secara signifikan meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan coding mahasiswa serta membantu dalam menulis, *men-debug*, dan memahami kode program”[68]. Dengan fitur-fitur tersebut, *VS Code* menjadi salah satu editor kode yang efektif dalam mendukung proses pembelajaran maupun pengembangan perangkat lunak.

Selain digunakan sebagai editor kode, *Visual Studio Code* juga berperan penting dalam proses pengembangan aplikasi berbasis *web* karena mampu mengintegrasikan berbagai teknologi seperti HTML, CSS, dan *JavaScript* dalam satu platform. *VS Code* memudahkan pengembang dalam merancang, membangun, serta menguji aplikasi secara efisien dan terstruktur. Dalam praktiknya, *VS Code* digunakan dalam pembuatan aplikasi interaktif yang menarik dan mudah digunakan, sehingga mampu meningkatkan pengalaman pengguna. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyebutkan bahwa aplikasi dapat dikembangkan “menggunakan *Visual Studio Code* dengan teknologi sederhana seperti HTML, CSS, dan *JavaScript*” serta menghasilkan aplikasi pembelajaran yang lebih interaktif dan meningkatkan motivasi belajar pengguna[69]. Oleh karena itu, *Visual Studio Code* menjadi salah satu alat bantu yang sangat penting dalam pengembangan aplikasi modern.

2.21.2 Google Colab

Google Colab , atau *Google Colaboratory*, merupakan *Platform* berbasis *cloud* dari *Google* yang memungkinkan pengguna menulis dan menjalankan kode *Python* langsung melalui *browser* tanpa perlu melakukan instalasi atau

konfigurasi tambahan. *Platform* ini memanfaatkan infrastruktur *cloud Google* dan menyediakan lingkungan pengembangan yang tangguh, termasuk akses gratis ke GPU dan TPU (*Tensor Processing Unit*). Salah satu keunggulan utama *Google Colab* adalah fitur kolaboratifnya[70], yang memungkinkan pengguna untuk berbagi dan mengerjakan *Notebook* secara *real-time* bersama orang lain. Karena kemudahan akses dan penggunaannya, *Google Colab* menjadi pilihan populer di kalangan pengembang, peneliti, dan pelajar untuk mengembangkan proyek-proyek *Python* tanpa perlu khawatir tentang perangkat *Keras* atau pengaturan *system*.

Google Colab berjalan di atas *Jupyter Notebook* dan mendukung berbagai bahasa pemrograman populer seperti *Python*, *R*, dan *Julia*. *Platform* ini menyediakan sumber daya komputasi yang kuat, termasuk akses ke mesin *virtual* berbasis *Linux* dengan GPU canggih yang dapat digunakan hingga 12 jam. Fitur-fitur ini menjadikan *Colab* sebagai pilihan yang praktis untuk berbagai keperluan, terutama dalam menjalankan tugas-tugas terkait pembelajaran mesin dan pembelajaran mendalam [71].

Google Colab merupakan *Platform* komputasi awan yang menyerupai *Jupyter Notebook* dan dikembangkan oleh *Google Research*. *Platform* ini memungkinkan pengguna menulis serta menjalankan kode *Python* langsung melalui *browser*, tanpa perlu instalasi tambahan. Dengan demikian, pengguna dapat memanfaatkan sumber daya *server* untuk melakukan pemrosesan dan analisis data secara efisien dan cepat.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwasanya *Google Colab* atau *Google Colaboratory* adalah *Platform* komputasi awan berbasis *browser* yang dikembangkan oleh *Google* dan memungkinkan pengguna menulis serta menjalankan kode *Python* tanpa perlu instalasi atau konfigurasi tambahan. *Platform* ini berjalan di atas *Jupyter Notebook* dan menyediakan akses gratis ke sumber daya komputasi yang kuat, termasuk GPU dan TPU, yang sangat bermanfaat untuk tugas-tugas seperti pembelajaran mesin dan pembelajaran mendalam . Selain itu, *Google Colab* mendukung bahasa pemrograman populer seperti *Python*, R, dan Julia, serta memiliki fitur kolaboratif yang memungkinkan pengguna berbagi dan bekerja secara *real-time*. Karena kemudahan akses, fleksibilitas, serta efisiensi dalam pemrosesan data, *Google Colab* menjadi pilihan populer di kalangan pengembang, peneliti, dan pelajar[72].

2.21.3 *OpenCV*

OpenCV merupakan *Library open-source* yang digunakan untuk pengolahan citra digital dan *Computer Vision*. *OpenCV* menyediakan berbagai fungsi untuk deteksi citra langit, pengolahan video, segmentasi citra, hingga ekstraksi fitur *visual*[12]. *Library* ini banyak digunakan dalam penelitian mengenai citra langit dan analisis citra langit karena memiliki performa yang cepat dan kompatibel dengan *Python*.

Menurut penelitian oleh [73], “*computer vision* adalah sebuah proses pengambilan gambar atau video dan di proses dan menghasilkan sebuah *Info* rmasi citra digital. Terdapat beberapa penelitian untuk *computer vision*”. Dengan

kemampuan tersebut, *OpenCV* menjadi salah satu *Library* utama dalam pengembangan sistem berbasis citra langit malam.

Dalam penelitian ini, *OpenCV* digunakan untuk membaca citra langit, *Preprocessing* gambar, serta membantu proses deteksi polusi cahaya sebelum dilakukan klasifikasi menggunakan *ResNet*. Integrasi *OpenCV* dengan *TensorFlow* dan *Python* membantu proses pengolahan data citra menjadi lebih efektif dan efisien.

2.21.4 TensorFlow

TensorFlow merupakan *Framework open-source* yang dikembangkan oleh *Google AI* untuk membangun dan melatih model *Machine Learning* maupun *Deep Learning*[74] *TensorFlow* mendukung proses komputasi skala besar dan memiliki kemampuan integrasi dengan GPU sehingga sangat cocok digunakan dalam penelitian *Deep Learning* berbasis pengolahan citra.

Menurut penelitian oleh[75], “*TensorFlow* menyediakan arsitektur fleksibel untuk pengembangan sistem *Machine Learning* dan *Deep Learning* berskala besar”. *Framework* ini juga mendukung implementasi CNN dan *ResNet50* secara efisien melalui berbagai *Library* bawaan yang tersedia.

Dalam penelitian ini, *TensorFlow* digunakan untuk membangun model klasifikasi polusi cahaya berbasis *ResNet50* serta melakukan proses *Training* dan evaluasi sistem[76]. Dengan dukungan *TensorFlow*, proses pengembangan model *Deep Learning* dapat dilakukan secara lebih optimal dan stabil.

2.21.5 *Streamlit*

Streamlit merupakan *opensource Framework* yang memungkinkan pengembangan aplikasi *web* berbasis *Python*, khususnya dalam bidang sains data dan *machine learning*. Fitur – fiturnya membantu mempermudah pengembangan model *Machine Learning* dengan visualisasi melalui antarmuka interaktif untuk berkomunikasi dengan *User*. *Streamlit* juga mendukung pembuatan presentasi dan kolaborasi, serta memungkinkan ekspor dokumen dalam format aplikasi data interaktif. Proses eksekusi *script Python* dilakukan dari baris atas hingga bawah setiap kali *User* berinteraksi dengan aplikasi[11].

Streamlit merupakan *Platform* yang sangat berguna untuk mengembangkan antarmuka pengguna yang interaktif. Dengan menggunakan *Streamlit*, pengguna dapat dengan mudah memasukkan spesifikasi laptop yang mereka cari, seperti merk, warna, tipe prosesor, RAM, penyimpanan, ukuran layar, dan parameter lainnya melalui *widget Input* yang disediakan. *Input* dari pengguna kemudian diproses secara otomatis dan digunakan sebagai masukan untuk model prediksi yang telah disiapkan sebelumnya[77].

2.21.6 *Draw io*

Draw.io merupakan salah satu aplikasi berbasis *web* yang digunakan dalam pembuatan berbagai jenis *Diagram*, khususnya dalam pemodelan sistem seperti UML. Aplikasi ini dirancang untuk mempermudah pengguna dalam menggambarkan *Diagram* secara *online* dengan tampilan yang responsif serta terintegrasi dengan layanan penyimpanan berbasis *cloud* seperti *Google Drive*, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam proses perancangan *Diagram*. Hal

ini didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa “*Draw.io* adalah sebuah *website* yang didesain khusus untuk menggambarkan *Diagram* UML secara *online* terintegrasi dengan layanan penyimpanan *file* milik Google[78]. sehingga *Draw.io* menjadi alternatif dalam pembuatan *Diagram* UML dengan waktu yang lebih singkat” .

Selain itu, penggunaan *Draw.io* juga terbukti memberikan manfaat dalam mendukung kegiatan operasional dan dokumentasi sistem. Dalam konteks organisasi, *Draw.io* dimanfaatkan untuk menyusun *Diagram* Standar Operasional Prosedur (SOP) berbasis *online* yang mampu membantu proses *monitoring* dan evaluasi kegiatan agar berjalan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Dengan memanfaatkan *Draw.io* sebagai *Diagram* pemenuhan Standar Operasional Prosedure diharapkan proses pelaksanaan dan pelayanan dapat berjalan sesuai prosedu serta membantu *monitoring* dan evaluasi kegiatan[79]. Lebih lanjut, dalam bidang pendidikan, *Draw.io* banyak digunakan sebagai alat bantu dalam kegiatan pemodelan sistem karena kemudahan akses dan penggunaannya. Aplikasi ini bersifat *cloud-based* sehingga dapat diakses langsung melalui *browser* tanpa memerlukan instalasi yang rumit, serta mampu mendukung pembuatan berbagai jenis *Diagram* dengan kompleksitas yang tetap mudah dikelola. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyebutkan bahwa “*Draw.io* dapat diakses secara langsung melalui *web browser* tanpa instalasi yang kompleks” serta merupakan “alat yang efektif untuk merancang *Diagram* UML karena kemudahan penggunaan dan kemampuannya dalam mengelola kompleksitas *Diagram* ”[80].

2.22 Penelitian Terkait

Berikut ini merupakan penelitian terkait dengan Skripsi tersebut :

tabel 2. 2 Penelitian Terkait

No	Penulis	tahun	Judul	Hasil
1	Muhammad Dimas Firdaus, Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, Hariyadi Putraga, Muhammad Hidayat	(2022)	Analisis Dampak Polusi Cahaya Lampu Artifisial terhadap Kecerlangan Langit Malam Menggunakan <i>Sky Quality Meter</i> (Studi Kasus Barus - Sumatera Utara)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lampu buatan memberikan dampak signifikan terhadap kecerahan langit malam. Berdasarkan perbandingan dua lokasi, ditemukan bahwa daerah yang terpapar cahaya buatan memiliki tingkat kecerahan langit malam sekitar 3,3 kali lebih terang dibandingkan dengan daerah yang minim cahaya. Selain itu, nilai kecerahan di lokasi minim cahaya mencapai sekitar 20,4–21,3 mpsas (kategori

				langit baik), sedangkan pada area pemukiman hanya sekitar 18–19 mpsas yang menunjukkan adanya peningkatan polusi cahaya. Penelitian ini juga menegaskan bahwa penggunaan lampu yang tidak terkontrol dapat mengganggu pengamatan astronomi dan perlu adanya pengelolaan pencahayaan yang lebih efisien.
2	Laila Nurfarida, Pawit M. Yusup, Neneng Komariah	(2020)	Tingkat Pengetahuan Masyarakat Sekitar Observatorium Mengenai <i>Info</i> rmasi Polusi Cahaya	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lampu artifisial memberikan dampak signifikan terhadap kecerahan langit malam. Berdasarkan perbandingan dua lokasi, ditemukan bahwa daerah

				yang terpapar cahaya buatan memiliki tingkat kecerahan langit malam sekitar 3,3 kali lebih terang dibandingkan dengan daerah yang minim cahaya. Selain itu, nilai kecerahan di lokasi minim cahaya mencapai sekitar 20,4–21,3 mpsas (kategori langit baik), sedangkan pada area pemukiman hanya sekitar 18–19 mpsas yang menunjukkan adanya peningkatan polusi cahaya. Penelitian ini juga menegaskan bahwa penggunaan lampu yang tidak terkontrol dapat mengganggu pengamatan astronomi dan perlu adanya pengelolaan pencahayaan yang lebih
--	--	--	--	---

				efisien.
3	Arwin Juli Rakhmadi, Hasrian Rudi Setiawan, Abu Yazid Raisal	(2020)	Pengukuran Tingkat Polusi Cahaya dan Awal Waktu Subuh di OIF UMSU dengan Menggunakan Sky Quality Meter	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata kecerahan langit malam pada arah zenit sebesar 17,01 mpsas, arah 45° timur sebesar 16,57 mpsas, dan arah ufuk timur sebesar 15,81 mpsas. Berdasarkan skala <i>Bortle</i> , nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat polusi cahaya di lokasi penelitian sudah berada pada kategori tinggi (polusi cahaya dominan). Hal ini menyebabkan objek langit seperti bintang menjadi sulit diamati. Selain itu, penelitian juga menemukan bahwa arah ufuk timur memiliki

				tingkat polusi cahaya paling tinggi karena pengaruh cahaya dari pemukiman. Penelitian ini menegaskan bahwa polusi cahaya memiliki dampak signifikan terhadap aktivitas observasi astronomi serta menunjukkan pentingnya pengukuran dan pengendalian pencahayaan di suatu wilayah.
4	Ahdian Azri Bustari, Rahma Bintang Pratama, Churun Jauharoh Al- Aryachiyah	(2022)	Analisis Tingkat Polusi Cahaya Berdasarkan Light Pollution Map dan Implikasinya terhadap Pengamatan Astronomi	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat polusi cahaya di Indonesia bervariasi tergantung lokasi dan kepadatan aktivitas manusia. Berdasarkan grafik pada halaman 11, Planetarium Jakarta memiliki tingkat polusi

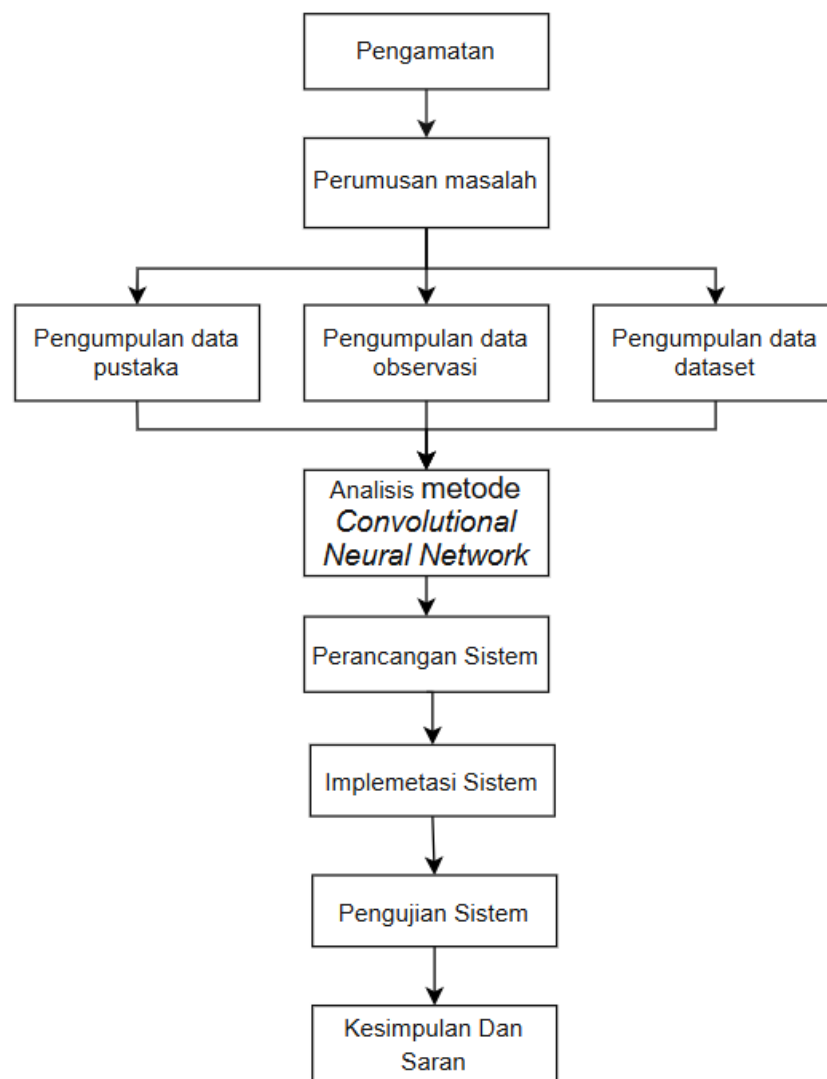
			Indonesia	cahaya tertinggi dengan nilai rata-rata <i>radiance</i> sekitar $31,88 \times 10^{-9}$ W/cm² sr, diikuti oleh Observatorium Ilmu Falak UMSU sebesar $17,61 \times 10^{-9}$ W/cm² sr yang juga tergolong tinggi. Sementara itu, Observatorium Bosscha dan Observatorium UAD berada pada kategori sedang dengan nilai sekitar $7,37-7,38 \times 10^{-9}$ W/cm² sr, sedangkan Observatorium Nasional Timau memiliki tingkat polusi cahaya sangat Rendah. Penelitian ini juga menegaskan bahwa semakin tinggi nilai <i>radiance</i> maka semakin tinggi tingkat polusi
--	--	--	-----------	--

				cahaya, yang berdampak langsung pada menurunnya visibilitas bintang dan kualitas pengamatan astronomi.
5	Zheng, S., Chen, Y., Eziz, A., dkk.	(2025)	Machine- Learning- Based Monitoring of Night Sky <i>brightness</i> Using Sky Quality Meters and Multi- Source Remote Sensing	Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ensemble (weighted averaging dan voting) memiliki performa terbaik dengan nilai R^2 mencapai 0,877 dan mampu menghasilkan peta distribusi polusi cahaya yang detail serta akurat dalam skala regional

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menjelaskan tahapan yang dilakukan dalam proses pembangunan sistem klasifikasi polusi cahaya di Kabupaten Rokan Hulu menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dikombinasikan dengan teknik konversi warna HSV. Terbalik.



Gambar 3. 1 Metodologi penelitian.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari pengamatan awal hingga tahap pengujian dan penarikan kesimpulan. Alur penelitian disusun untuk memastikan proses berjalan terstruktur dan menghasilkan model yang optimal.

3.1 Pengamatan

Pengamatan dilakukan untuk memahami permasalahan terkait polusi cahaya yang terjadi di wilayah Rokan Hulu. Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai polusi cahaya, dampaknya terhadap lingkungan dan astronomi, serta metode yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas manusia dan penggunaan lampu pada malam hari berpotensi meningkatkan tingkat kecerahan langit malam. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya visibilitas objek langit serta berdampak pada lingkungan sekitar.

Selain itu, metode pengukuran yang umum digunakan seperti alat *Sky Quality Meter* (SQM) masih memiliki keterbatasan karena tidak praktis untuk digunakan secara luas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif berbasis pengolahan citra dan kecerdasan buatan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya secara otomatis.

Berdasarkan hasil pengamatan ini, peneliti kemudian menggagas solusi berbasis teknologi kecerdasan buatan, yaitu menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dikombinasikan dengan teknik konversi warna HSV. Teknologi ini diharapkan mampu memberikan akurasi tinggi dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya secara otomatis,

sekaligus menjadi alat bantu yang efektif bagi para pegiat astronomi dalam melakukan deteksi dini terhadap polusi udara di rokan hulu.

3.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini didasarkan pada hasil pengamatan awal dan studi literatur yang telah dilakukan. Polusi cahaya merupakan salah satu permasalahan yang semakin meningkat seiring dengan perkembangan infrastruktur dan aktivitas manusia, khususnya di wilayah seperti Kabupaten Rokan Hulu. Peningkatan penggunaan lampu pada malam hari menyebabkan bertambahnya kecerahan langit malam yang berdampak pada terganggunya pengamatan astronomi serta lingkungan. Proses pengukuran polusi cahaya yang selama ini dilakukan umumnya menggunakan alat khusus seperti *Sky Quality Meter (SQM)*. Meskipun metode ini cukup akurat, namun memiliki keterbatasan dalam hal biaya, efisiensi, serta cakupan penggunaan yang tidak dapat dilakukan secara luas oleh masyarakat. Selain itu, metode tersebut belum mampu melakukan klasifikasi secara otomatis berdasarkan citra.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pendekatan berbasis pengolahan citra dan kecerdasan buatan menjadi solusi alternatif dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya. Metode *Convolutional Neural Network (CNN)* memiliki kemampuan dalam mengenali pola visual secara otomatis, sedangkan teknik konversi warna *HSV Color Space* dapat membantu dalam mengekstraksi informasi kecerahan citra secara lebih optimal.

Dari kondisi tersebut, dirumuskan permasalahan utama sebagai berikut: Bagaimana merancang, membangun, dan mengimplementasikan aplikasi

pendeteksi polusi cahaya berbasis citra langit malam dengan menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) serta memanfaatkan teknik konversi warna HSV *Color Space* untuk meningkatkan akurasi dalam mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya?

Permasalahan ini menjadi dasar bagi seluruh tahapan penelitian, mulai dari pengumpulan data citra langit malam, proses *Preprocessing* dan konversi warna, pembangunan model CNN, hingga evaluasi performa klasifikasi dengan dan tanpa penggunaan ruang warna HSV.

3.3 Pengumpulan Data

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari sumber *Dataset* publik yang tersedia secara *online* maupun sumber lain yang menyediakan citra langit malam dan pengambilan citra secara langsung. *Dataset* tersebut berupa kumpulan citra langit malam dengan berbagai kondisi tingkat kecerahan yang mencerminkan adanya polusi cahaya. Citra yang digunakan dalam penelitian ini telah dikategorikan ke dalam beberapa kelas tingkat polusi cahaya, yaitu polusi cahaya Rendah, sedang, dan tinggi. Data yang diperoleh umumnya dalam format gambar seperti (.jpg) atau (.png), yang kemudian digunakan sebagai *Input* dalam proses pelatihan dan pengujian model klasifikasi.

Dataset dari sumber publik memiliki kualitas data yang cukup baik, jumlah data yang memadai, serta telah digunakan dalam berbagai penelitian sebelumnya dan pengambilan citra secara langsung berguna sebagai data *realtime* di lapangan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas penelitian yang dilakukan. Sebelum digunakan dalam proses pelatihan model,

Dataset akan melalui tahap seleksi dan pembagian data menjadi data latih (*Training*) dan data uji (*testing*). Pembagian ini bertujuan agar model dapat dilatih dengan baik serta diuji performanya dalam mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya berdasarkan citra langit malam.

3.3.1 Pengumpulan Data Pustaka

Data pustaka merupakan data yang diperoleh melalui studi literatur dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, artikel, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian. Studi pustaka dalam penelitian ini mencakup materi mengenai polusi cahaya, pengolahan citra digital, metode *Convolutional Neural Network* (CNN), serta teknik konversi warna *HSV Color Space*.

Pengumpulan data pustaka bertujuan untuk memberikan dasar teori yang kuat, memahami metode yang digunakan dalam penelitian sebelumnya, serta menjadi acuan dalam perancangan dan pengembangan sistem klasifikasi polusi cahaya.

3.3.2 Pengumpulan data Observasi

Observasi dilakukan dengan cara pengambilan citra langit malam secara langsung di wilayah Rokan Hulu. Proses ini bertujuan untuk memperoleh data nyata yang sesuai dengan kondisi lingkungan sebenarnya.

Pengambilan citra dilakukan menggunakan perangkat seperti kamera atau *smartphone* pada waktu malam hari dengan berbagai kondisi pencahayaan, baik di daerah dengan tingkat pencahayaan Rendah, sedang, maupun tinggi. Data hasil observasi ini digunakan sebagai pelengkap dataset serta untuk meningkatkan keakuratan model dalam mengenali pola polusi cahaya di lapangan.

3.3.3 Pengumpulan data *Dataset*

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari sumber dataset publik yang tersedia secara *online*, atau repository *dataset* lainnya yang menyediakan citra langit malam. *Dataset* tersebut berisi kumpulan gambar dengan variasi tingkat kecerahan yang berbeda.

Data sekunder ini digunakan sebagai data utama dalam proses pelatihan (*Training*) dan pengujian (*testing*) model *Convolutional Neural Network* (CNN). Penggunaan dataset publik bertujuan untuk memperoleh data dalam jumlah besar serta meningkatkan kemampuan generalisasi model dalam mengenali pola citra langit malam dengan berbagai kondisi.

3.4 Analisis Metode *Convolutional Neural Network* (CNN)

Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) merupakan salah satu pendekatan *Deep Learning* yang banyak digunakan dalam klasifikasi citra karena kemampuannya dalam mengekstraksi serta mengenali pola visual secara otomatis. CNN bekerja dengan menggabungkan beberapa lapisan (*Layer*) seperti *Convolutional Layer*, *activation function*, *pooling Layer*, *flatten*, dan *Fully Connected Layer* yang secara bertahap mengubah citra mentah menjadi representasi fitur yang dapat digunakan untuk proses klasifikasi.

Dalam penelitian ini, CNN digunakan untuk mengklasifikasikan citra langit malam ke dalam tiga kategori tingkat polusi cahaya, yaitu:

1. Polusi cahaya Rendah dengan skala 0 - 85
2. Polusi cahaya sedang dengan skala 86 - 170
3. Polusi cahaya tinggi dengan skala 171 - 255

Arsitektur CNN yang akan dianalisis dan dibangun memiliki alur sebagai berikut:

1. *Input Layer*

Menerima *Input* citra langit malam dengan ukuran tetap, misalnya 224x224 piksel dengan 3 kanal warna (RGB atau setelah dikonversi ke *HSV Color Space*).

2. *Convolutional Layer*

Lapisan ini berfungsi untuk mengekstraksi fitur dari citra menggunakan *filter (kernel)*. Filter akan mendeteksi pola visual seperti distribusi cahaya, tingkat kecerahan, serta pola pencahayaan pada langit malam.

3. *Activation Function (ReLU)*

Fungsi aktivasi *ReLU* digunakan setelah proses konvolusi untuk menambahkan sifat *non-linear* pada model serta mempercepat proses pelatihan.

4. *Pooling Layer (MaxPooling)*

Pooling digunakan untuk mengurangi dimensi data dan mempertahankan fitur penting. *MaxPooling* akan mengambil nilai maksimum dari setiap area fitur.

5. *Flatten Layer*

Mengubah hasil ekstraksi fitur dalam bentuk matriks menjadi vektor satu dimensi agar dapat diproses oleh lapisan berikutnya.

6. *Fully Connected Layer*

Lapisan ini berfungsi untuk mengolah fitur yang telah diekstraksi dan melakukan proses klasifikasi berdasarkan pola yang telah dipelajari.

7. *Output Layer*

Menggunakan fungsi aktivasi *Softmax* untuk menghasilkan probabilitas dari setiap kelas polusi cahaya, kemudian menentukan kelas dengan nilai probabilitas tertinggi.

8. *Dropout*

Dropout digunakan untuk mengurangi *overfitting* dengan cara menonaktifkan sebagian neuron secara acak selama proses pelatihan.

Model CNN dikembangkan dan dilatih menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan bantuan *Library* seperti *TensorFlow*, *Keras*, dan *OpenCV*, serta dijalankan pada *Platform Google Colab*. Proses evaluasi dilakukan dengan menggunakan metrik seperti *Accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *confusion matrix*. Analisis metode ini bertujuan untuk memperoleh konfigurasi model CNN yang optimal dalam mengklasifikasikan tingkat polusi cahaya berdasarkan citra langit malam, serta untuk mengetahui pengaruh penggunaan konversi warna HSV terhadap peningkatan akurasi klasifikasi.

3.5 Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini bertujuan untuk membangun alur klasifikasi citra langit malam yang efisien dan akurat menggunakan metode *Convolutional Neural Network (CNN)* yang diintegrasikan dengan teknik konversi warna *HSV Color Space*. Sistem ini dirancang untuk memproses citra langit malam mulai dari tahap *Input* hingga menghasilkan *Output* berupa kategori tingkat polusi cahaya.

Perancangan sistem ini dibagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut:

1. *Input Data*

Sistem menerima masukan berupa citra langit malam dalam format JPG atau PNG. Setiap gambar kemudian diubah ke ukuran yang seragam, misalnya 224x224 piksel, agar sesuai dengan kebutuhan *Input* pada model CNN.

2. Pra-Pemrosesan (*Preprocessing*)

Pada tahap ini dilakukan beberapa proses untuk meningkatkan kualitas data sebelum masuk ke model, yaitu: *Resize* gambar ke resolusi 224x224 piksel, Normalisasi nilai piksel ke skala 0–1, Konversi warna dari RGB ke HSV untuk memisahkan *Info* rmasi warna dan tingkat kecerahan, *Augmentasi* data seperti rotasi, flipping, zoom, dan perubahan *brightness* untuk memperkaya variasi data. Tahapan ini bertujuan agar model mampu mengenali berbagai kondisi citra langit malam secara lebih optimal.

3. Ekstraksi Fitur Otomatis dengan CNN

Citra yang telah melalui tahap *Preprocessing* kemudian dimasukkan ke dalam model CNN. Pada tahap ini, CNN akan mengekstraksi fitur penting seperti tingkat kecerahan, distribusi cahaya, serta pola intensitas cahaya pada langit malam secara otomatis tanpa perlu ekstraksi manual.

4. Klasifikasi

Lapisan *Fully Connected* dan *Output Layer* akan memproses fitur hasil ekstraksi untuk menentukan kelas citra langit malam ke dalam kategori berikut:

- a. Polusi cahaya Rendah dengan skala 0 - 85

- b. Polusi cahaya sedang dengan skala 86 - 170
- c. Polusi cahaya tinggi dengan skala 171 - 255

5. *Output* Sistem

Sistem menghasilkan *Output* berupa label klasifikasi tingkat polusi cahaya beserta nilai probabilitasnya. Selain itu, hasil juga dapat ditampilkan dalam bentuk visual seperti grafik akurasi, confusion matrix, serta hasil prediksi model untuk memudahkan analisis performa sistem.

3.6 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan merealisasikan seluruh tahapan yang telah dirancang ke dalam bentuk program berbasis *Python* menggunakan *Platform Google Colab*. *Dataset* citra langit malam yang telah dikategorikan ke dalam tiga kelas, yaitu polusi cahaya Rendah, sedang, dan tinggi, diunggah dan diproses melalui tahap pra-pemrosesan berupa *resize*, normalisasi, konversi warna dari RGB ke *HSV Color Space*, serta *augmentasi* data untuk meningkatkan variasi dan kemampuan generalisasi model. Model *Convolutional Neural Network* (CNN) kemudian dibangun dengan beberapa lapisan seperti *Convolutional Layer*, *pooling Layer*, *flatten*, dan *Fully Connected Layer*. Fungsi aktivasi *ReLU* digunakan pada setiap lapisan konvolusi untuk menambahkan non-linearitas, sedangkan fungsi *Softmax* digunakan pada *Output Layer* untuk menghasilkan probabilitas klasifikasi dari setiap kelas polusi cahaya.

Proses pelatihan model dilakukan menggunakan data *Training* dan data validasi dalam beberapa *epoch* hingga diperoleh model yang optimal. Selanjutnya, pengujian dilakukan menggunakan data uji untuk mengetahui performa model

dalam mengklasifikasikan citra langit malam. Evaluasi sistem dilakukan menggunakan beberapa metrik, yaitu *Accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *confusion matrix*. Seluruh proses implementasi ini bertujuan untuk menghasilkan sistem klasifikasi polusi cahaya yang efektif, akurat, dan mampu mengidentifikasi tingkat polusi cahaya secara otomatis berdasarkan citra langit malam yang diberikan.

3.7 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam mengklasifikasikan citra langit malam ke dalam tiga kategori, yaitu polusi cahaya Rendah, sedang, dan tinggi, baik dengan maupun tanpa penggunaan konversi warna *HSV Color Space*. Data pengujian yang telah dipisahkan sejak awal digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam mengenali pola pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya. Evaluasi dilakukan menggunakan beberapa metrik, yaitu *Accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Selain itu, digunakan juga *Confusion Matrix* untuk melihat distribusi hasil prediksi model terhadap masing-masing kelas, sehingga dapat diketahui tingkat kesalahan klasifikasi yang terjadi.

Hasil pengujian kemudian dianalisis dan diinterpretasikan dalam bentuk grafik akurasi dan *loss* selama proses pelatihan, serta visualisasi hasil prediksi terhadap beberapa contoh citra langit malam. Hal ini bertujuan untuk mengetahui performa model secara menyeluruh serta melihat pengaruh penggunaan konversi warna HSV terhadap peningkatan akurasi klasifikasi. Melalui tahap pengujian ini,

diharapkan dapat diperoleh kesimpulan mengenai tingkat keandalan sistem dalam mengklasifikasikan polusi cahaya secara otomatis berdasarkan citra langit malam.