

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pengolahan Citra

Pengolahan citra merupakan cabang ilmu yang berfokus pada manipulasi dan analisis citra digital (Nethaji & Shanmugasundaram, 2020). Upaya tersebut dapat mencakup peningkatan kualitas, ekstraksi informasi atau pengubahan karakteristik citra sesuai kebutuhan. Berbagai contoh dari pengolahan citra antara lain peningkatan kontras, segmentasi objek, deteksi tepi, restorasi citra, serta reduksi gangguan. Bagian ini akan menjelaskan berbagai definisi dan terminologi pengolahan citra terutama pada pembahasan mengenai reduksi gangguan.

2.1.1.1 Citra Digital

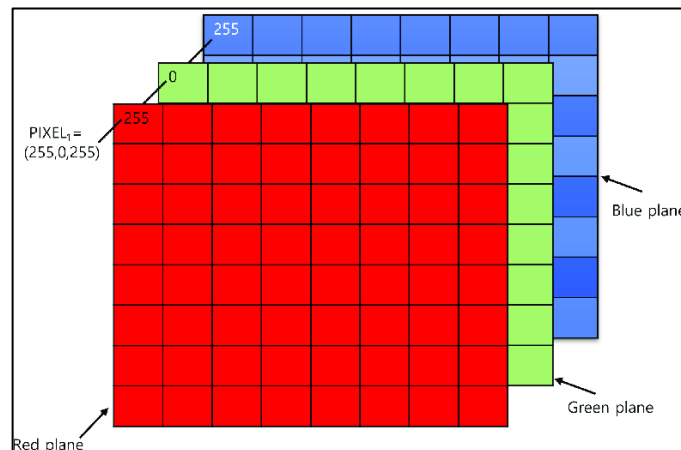
Citra digital merupakan representasi visual yang dihasilkan dari matriks dua dimensi yang terdiri atas elemen-elemen kecil piksel. Setiap piksel pada citra digital menyimpan informasi mengenai intensitas atau nilai warna di posisi tertentu dalam citra (Tyagi, 2018). Umumnya, nilai dari setiap piksel pada citra digital dinyatakan dalam bentuk nilai numerik yang diinterpretasikan dalam skala tertentu, misalnya 0 hingga 255. 0 merepresentasikan warna yang semakin gelap dan 255 merepresentasikan warna yang semakin terang pada masing-masing *channel*.

Secara matematis, citra digital direpresentasikan dalam bentuk matriks I dalam persamaan 2.1 berikut:

$$[I(x, y)]_{MN} = \begin{bmatrix} I(1,1) & I(1,2) & \cdots & I(1,N) \\ I(2,1) & I(2,2) & \cdots & I(2,N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(M,1) & I(M,2) & \cdots & I(M,N) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$I(x, y)$ adalah nilai intensitas piksel pada posisi baris x dan kolom y . M merepresentasikan jumlah baris (*height*) dan N merepresentasikan

jumlah kolom (*width*) dari citra. Setiap elemen $I(x,y)$ pada matriks ini dapat mengandung satu nilai intensitas untuk citra *grayscale* atau tiga nilai intensitas untuk citra berwarna. Representasi ini dituliskan sebagai tiga matriks terpisah yang kemudian disatukan dengan metode penumpukan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Penumpukan Citra RGB

Sumber: Kim et al., 2021

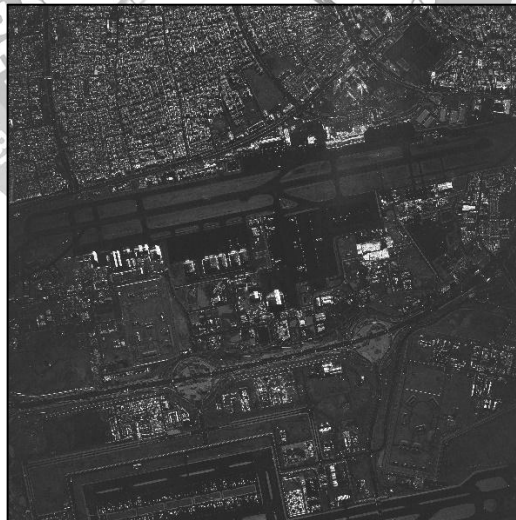
Salah satu komponen penting dalam kajian citra digital adalah resolusi dan ukuran citra. Resolusi citra digital ditentukan oleh ukuran matriks $M \times N$, yang menunjukkan jumlah piksel secara horizontal dan vertikal. Semakin besar resolusi sebuah citra, semakin detail informasi yang dapat disimpan. Namun, sebagai konsekuensi, akan lebih banyak memori yang digunakan dalam proses penyimpanan, waktu pemrosesan serta tingkat ketelitian dalam analisis (Sabottke & Spieler, 2020).

Sebagai upaya dalam mempermudah analisis dan pemrosesan citra digital tanpa mengurangi resolusi, peneliti dapat melakukan modifikasi elemen-elemen piksel pada citra, mekanisme ini disebut sebagai transformasi citra (Zhu et al., 2018). Transformasi citra dapat dilakukan dengan penskalaan, rotasi, translasi, dan upaya lainnya. Selain itu, Informasi yang terkandung dalam citra digital dapat dimanipulasi dengan tujuan peningkatan kualitas, pengurangan gangguan dan ekstraksi informasi penting.

2.1.1.2 Citra Satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah teknologi radar yang digunakan untuk menghasilkan citra beresolusi tinggi dari permukaan bumi atau objek lain. Satelit SAR memanfaatkan teknik pemrosesan sinyal canggih untuk mensimulasikan antena "apertur sintetis" dari serangkaian pengukuran yang diambil sepanjang lintasan pengamatan layaknya pesawat atau satelit (Franceschetti & Lanari, 2018).

Satelit SAR mengirimkan gelombang mikro ke permukaan target lalu menangkap pantulannya. Keunggulan citra SAR adalah ketahanannya terhadap segala kondisi cuaca bahkan dalam kegelapan (Cruz et al., 2022), fenomena ini terjadi karena gelombang mikro tidak terpengaruh oleh awan, kabut, atau kurangnya cahaya. Aspek ini yang menjadikan SAR sebagai teknologi efektif dalam penginderaan jarak jauh.



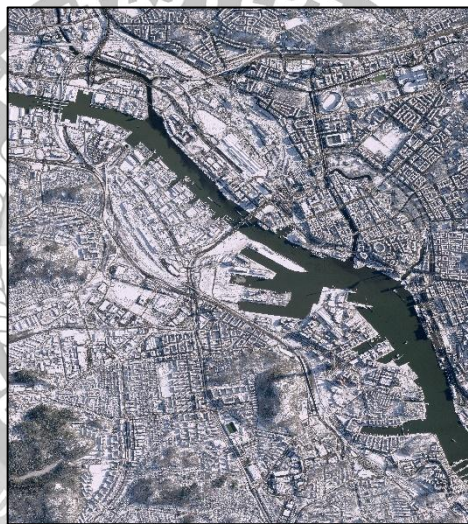
Gambar 2. 2 Citra Akuisisi Satelit SAR

Sumber : <https://www.iceye.com/lp/example-dataset-dwell-fine-doha-qatar>

Hasil akuisisi citra satelit SAR berupa citra *grayscale* karena pengukuran dilakukan menggunakan satu jenis *bandwidth* serta hanya merepresentasikan intensitas sinyal pantulan (amplitudo) dari permukaan yang dipindai. Gambar 2.2 merupakan contoh citra berformat *grayscale* hasil akuisisi satelit SAR.

2.1.1.3 Citra Satelit Optik

Citra satelit optik merupakan citra yang diambil oleh satelit menggunakan sensor optik dengan mendeteksi cahaya tampak dan gelombang elektromagnetik pada rentang spektrum yang dekat dengan cahaya tampak. Sensor optik dapat menangkap cahaya yang dipantulkan oleh permukaan bumi, mirip dengan prinsip kerja kamera digital (Li et al., 2022).



Gambar 2. 3 Citra Akuisisi Satelit Optik

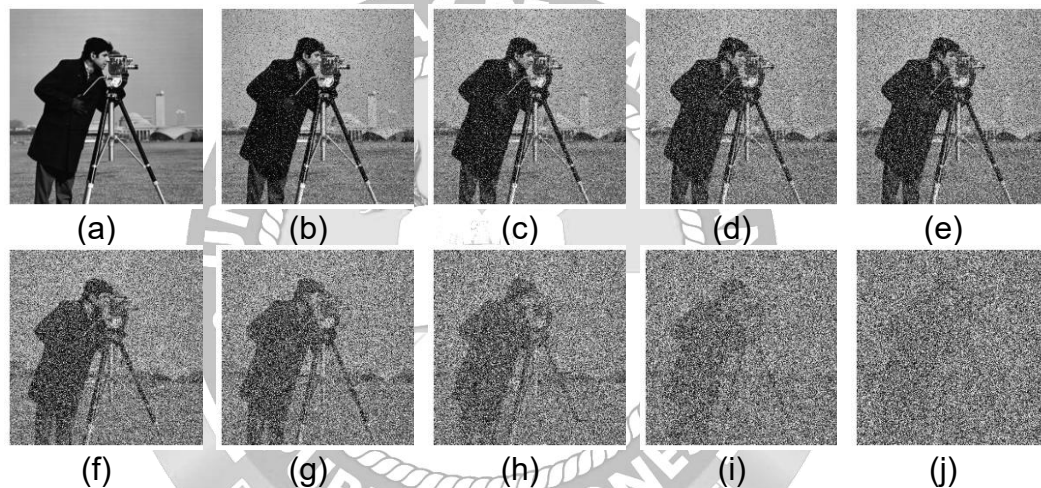
Sumber: <https://space-solutions.airbus.com/newsroom/satellite-image-gallery/pleiades-neo/goeteborg-sweden-very-high-resolution-imagery/>

Mekanisme utama sensor optik adalah menerima pantulan cahaya dari permukaan bumi. Intensitas cahaya yang ditangkap pada setiap piksel direpresentasikan dalam berbagai pita spektral (*bandwidth*) (Amani et al., 2018), setiap pita spektral memuat data untuk panjang gelombang tertentu. Pengukuran menggunakan berbagai jenis *bandwidth* menghasilkan citra satelit optik dalam format RGB atau multispektral, bergantung pada jumlah saluran spektral yang dihasilkan oleh sensor. Gambar 2.3 digunakan sebagai ilustrasi citra berformat RGB hasil akuisisi satelit optik.

2.1.1.4 Gangguan (*Noise*)

Noise atau gangguan pada citra digital adalah sinyal atau informasi yang tidak diinginkan yang telah tercampur dengan data utama dalam

proses akuisisi atau pemrosesan citra (Win et al., 2019). Gangguan dalam konteks citra digital dapat muncul sebagai akibat dari berbagai faktor, seperti ketidakstabilan sinyal, interferensi elektromagnetik, gangguan dalam penyimpanan, sinkronisasi yang buruk dalam perekaman digital, gangguan lingkungan atau keterbatasan alat pencitraan (Hinrikus et al., 2010). Ilustrasi pada Gambar 2.4 menggambarkan interpretasi citra yang semakin sulit saat keberadaan gangguan semakin tinggi.



Gambar 2. 4 Citra Terkontaminasi Salt and Pepper

Berturut-turut, (a) Citra Asli, (b)-(j) Kepadatan *noise* dari 10% hingga 90%

Sumber: diolah oleh peneliti

Berikut beberapa jenis *noise* yang umum dijumpai dalam citra:

a. **Salt and Pepper Noise (Gangguan Impulsif)**

Gangguan ini mengakibatkan efek putih (*salt*) dan hitam (*pepper*) yang tersebar acak pada citra. Gangguan ini biasanya disebabkan oleh gangguan elektronika data digital. Citra yang telah terkontaminasi gangguan ini dimodelkan dalam persamaan 2.2

$$I_{noisy}(x, y) = \begin{cases} \delta_{max} & , p \\ \delta_{min} & , q \\ I_{ori}(x, y) & , 1 - (p + q) \end{cases} \quad (2.2)$$

Citra yang terkontaminasi diwakili oleh $I_{noisy}(x, y)$. δ_{max} dan δ_{min} mewakili nilai intensitas maksimum serta nilai intensitas minimum akibat gangguan *salt and pepper*. Piksel yang tidak

terkontaminasi gangguan dilambangkan dengan $I_{ori}(x, y)$. p dan q menentukan peluang terjadinya gangguan yang terjadi pada piksel dalam citra. Sedangkan, notasi $1 - (p + q)$ merupakan probabilitas piksel tidak terkontaminasi. Gangguan ini menjadi fokus peneliti dalam membangun model algoritma reduksi.

b. *Gaussian Noise*

Gangguan ini mengikuti distribusi gaussian atau distribusi normal dicirikan fluktuasi di sekitar nilai rata-rata dengan distribusi berbentuk lonceng (*bell curve*). Selain itu, distribusi ini ditandai oleh dua parameter utama, yaitu rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ) yang menentukan bentuk dan sebaran gangguan (Goceri, 2023).

Simbol matematis, nilai intensitas $N(x, y)$ dari Gangguan gaussian pada titik (x, y) didefinisikan persamaan 2.3:

$$N(x, y) \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2) \quad (2.3)$$

Notasi μ merupakan nilai rata-rata (*mean*) dari distribusi gaussian yang mengontrol pusat distribusi gangguan serta σ^2 merupakan varians atau penyebaran nilai intensitas *noise* di sekitar rata-rata. Citra yang terpengaruh oleh gangguan gaussian termasuk kedalam gangguan yang bersifat aditif yang dimodelkan persamaan 2.4:

$$I_{noisy}(x, y) = I_{ori}(x, y) + N(x, y) \quad (2.4)$$

Citra yang terpengaruh oleh gangguan gaussian I_{noisy} pada titik (x, y) dapat dinyatakan sebagai hasil penambahan antara intensitas piksel asli $I_{ori}(x, y)$ dan nilai gangguan gaussian $N(x, y)$

c. *Speckle Noise*

Gangguan ini disebabkan oleh interferensi konstruktif dan destruktif antara gelombang pantulan yang kembali ke sensor setelah mengenai permukaan target (Duarte-Salazar et al., 2020). Gangguan *speckle* menghasilkan pola gangguan acak bintik

berpasir, sehingga sering disebut juga sebagai “gangguan granular”.

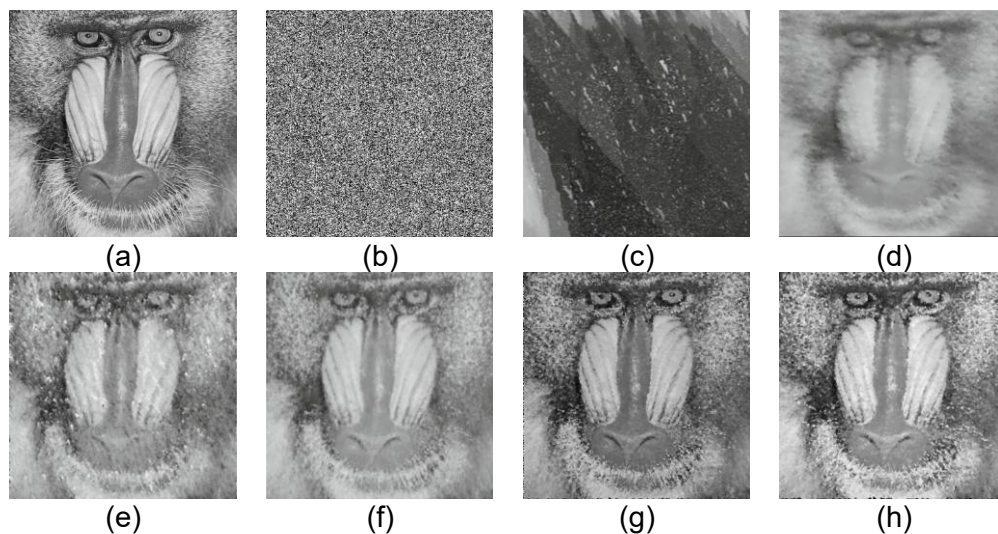
Gangguan ini dimodelkan sebagai gangguan yang bersifat multiplikatif. Jika intensitas citra asli dinyatakan sebagai $I_{ori}(x, y)$, maka citra yang telah terkontaminasi $I_{noisy}(x, y)$ dengan gangguan speckle $S(x, y)$, dengan $S(x, y)$ adalah faktor gangguan yang mengikuti distribusi statistik tertentu (biasanya distribusi rayleigh atau gamma) dinyatakan sebagai:

$$I_{noisy}(x, y) = I_{ori}(x, y) \cdot S(x, y) \quad (2.5)$$

2.1.1.5 Metode Reduksi Gangguan

Metode reduksi gangguan atau *filtering* adalah teknik yang digunakan untuk meminimalkan atau menghilangkan gangguan (*noise*) pada citra digital. Reduksi gangguan merupakan langkah penting dalam pemrosesan citra karena dapat meningkatkan kualitas visual dan memudahkan analisis citra lebih lanjut.

Hasil berbagai mekanisme reduksi gangguan yang diterapkan kedalam citra dengan kepadatan gangguan 90% disajikan dalam Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Citra Restorasi Gangguan 90%

Berturut turut (a) Citra Asli, (b) Citra Terkontaminasi 90%, (c) BPDF, (d) AT2FF, (e) TSVD, (f) TBV, (g) DAMRmF, (h) MCRRCTF

Sumber : diolah oleh peneliti

Menurut domainnya, metode reduksi dapat dikategorikan menjadi 2 jenis; *spatial domain* dan *transform domain*. *Transform domain* mengubah citra kedalam bentuk lain serta melakukan pengubahan dan penyesuaian pada domain tersebut, contoh dari *transform domain* yaitu transformasi wavelet dan transformasi fourier, sedangkan pada *spatial domain* citra akan direstorasi tanpa dilakukan pengubahan bentuk citra menggunakan informasi yang disediakan ketetanggaan piksel, contoh dari *spatial domain* adalah *filter* berbasis struktur aljabar, nilai *mean* dan nilai *median*.

2.1.1.6 Dataset Standard Images

Dataset *standard images* adalah kumpulan citra digital yang sering digunakan dalam penelitian, terutama di bidang pemrosesan citra dan analisis visual (Fevrale et al., 2011). Dataset ini dirancang sebagai acuan untuk menguji dan membandingkan berbagai metode pemrosesan citra. Setiap citra dalam dataset memiliki karakteristik unik, memungkinkan peneliti menguji algoritma dalam berbagai skenario dan kondisi.

Penggunaan dataset *standard images* sangat umum dalam pemrosesan citra karena ukuran, resolusi tetap, dan keberagaman pola visualnya. Dataset ini memungkinkan perbandingan hasil eksperimen dengan penelitian sebelumnya dan memudahkan evaluasi algoritma terhadap berbagai jenis informasi visual. Gambar 2.6 menunjukkan beberapa citra dalam dataset ini.



Gambar 2. 6 Beberapa Citra dalam Dataset Standard Images

Sumber : www.imageprocessingplace.com

2.1.1.7 Metrik Evaluasi Citra

Metrik evaluasi citra merupakan alat kuantitatif untuk menilai kualitas citra hasil restorasi dengan membandingkannya terhadap citra referensi (Baraheem et al., 2023). Tiga metrik umum yang digunakan adalah *Mean Squared Error* (MSE), *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), dan *Structural Similarity Index* (SSIM). Ketiganya memberikan sudut pandang berbeda dalam mengevaluasi sejauh mana suatu metode mampu mempertahankan informasi dan detail citra asli.

a. *Mean Squared Error* (MSE)

Mean Squared Error (MSE) adalah metrik dasar yang mengukur rata-rata kesalahan kuadrat antara intensitas piksel citra asli dan citra hasil pemrosesan. MSE merupakan cara sederhana untuk menilai sejauh mana perbedaan antara dua citra. Semakin kecil nilai MSE, maka semakin sedikit perbedaan antara kedua citra tersebut (Hodson, 2022).

Formulasi matematis yang menggambarkan MSE dirumuskan sebagai berikut

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (I_{ori}(x, y) - I_{restored}(x, y))^2 \quad (2.6)$$

Notasi M dan N menunjukkan dimensi tinggi dan lebar citra (dalam piksel), $I_{ori}(x, y)$ adalah intensitas piksel pada posisi yang sama pada citra asli sebelum dilakukan penambahan gangguan dan $I_{restored}(x, y)$ merupakan intensitas piksel pada posisi (x, y) pada citra hasil restorasi. MSE menghitung selisih intensitas piksel antara dua citra pada posisi yang bersesuaian lalu mengkuadratkan nilai tersebut. Semua nilai kesalahan kuadrat ini kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan total piksel sehingga didapatkan rata-rata kesalahan kuadrat antar citra.

b. *Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)*

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) adalah metrik yang didasarkan pada nilai MSE namun dinyatakan dalam satuan desibel (dB) (Horé & Ziou, 2013). PSNR menghitung rasio antara maksimum sinyal (nilai puncak) dan *noise* (kesalahan). Metrik ini banyak digunakan dalam pemrosesan citra, terutama untuk mengevaluasi kompresi atau reduksi gangguan. Nilai PSNR lebih tinggi menunjukkan kualitas citra yang lebih baik. Rumus PSNR dinotasikan sebagai berikut:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\delta_{max}^2}{MSE} \right) \quad (2.7)$$

Atau dapat dituliskan dalam bentuk alternatif yang lain berupa:

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\delta_{max}}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2.8)$$

δ_{max} merupakan nilai intensitas maksimum pada citra (biasanya dinyatakan dengan nilai 255). Dalam rumus ini, MSE adalah nilai *Mean Squared Error* yang dihitung sebelumnya antara citra asli dan citra restorasi. PSNR mengubah nilai MSE menjadi skala logaritmik, sehingga lebih sensitif terhadap perubahan kecil dalam kualitas citra.

c. *Structural Similarity Index (SSIM)*

Structural Similarity Index (SSIM) merupakan metrik evaluasi citra yang dirancang untuk menilai kualitas citra berdasarkan kemiripan struktur antara citra asli dan citra restorasi dengan mempertimbangkan karakteristik persepsi visual (Brunet et al., 2012). SSIM dapat mengukur seberapa mirip luminasi, kontras dan struktur dua citra tersebut. Formulasi SSIM dijelaskan sebagai berikut:

$$SSIM(I_{ori}, I_{restored}) = \frac{(2\mu_{I_{ori}}\mu_{I_{restored}} + C_1)(2\sigma_{I_{ori}I_{restored}} + C_2)}{(\mu_{I_{ori}}^2 + \mu_{I_{restored}}^2 + C_1)(\sigma_{I_{ori}}^2 + \sigma_{I_{restored}}^2 + C_2)} \quad (2.9)$$

I_{ori} dan $I_{restored}$ menunjukkan blok piksel pada citra asli dan citra hasil pemrosesan. Variabel $\mu_{I_{ori}}$ dan $\mu_{I_{restored}}$ masing-masing merupakan rata-rata intensitas piksel. $\sigma_{I_{ori}}^2$ dan $\sigma_{I_{restored}}^2$ menyatakan variansi intensitas piksel, sedangkan $\sigma_{I_{ori}I_{restored}}$ merupakan kovariansi antara kedua blok piksel tersebut. Konstanta C_1 dan C_2 digunakan untuk menghindari pembagian dengan nol dan biasanya diatur berdasarkan nilai dinamis citra. Semakin dekat nilai SSIM dengan 1 menunjukkan kesamaan struktural yang tinggi.

2.1.2 Aljabar Logika Banyak Nilai (*Many-Values Algebra Logic*)

Aljabar logika banyak nilai merupakan perluasan dari logika biner klasik dengan tujuan untuk memodelkan situasi yang lebih dinamis, dimana nilai kebenaran berada pada rentang $[0,1]$ (Hansoul & Teheux, 2013). Konsep aljabar logika *many-value* sering disingkat menjadi aljabar *many-value* saja. Konsep ini memungkinkan derajat kebenaran yang lebih luas dan lebih fleksibel serta berguna pada bidang yang membutuhkan representasi ketidakpastian, ambiguitas atau keanggotaan parsial.

Cignoli et al., (2000), menyebutkan bahwa aljabar *many-values* dilengkapi dengan operasi penjumlahan “terpotong” atau “dibatasi” pada nilai maksimum 1 dan nilai minimum 0. Operasi penjumlahan terpotong didefinisikan sebagai $a \oplus b = \min(1, a + b)$ sedangkan operasi negasi $\neg a$ didefinisikan sebagai $1 - a$.

Aljabar *many-values* didefinisikan sebagai struktur aljabar yang tersusun oleh $(A, \oplus, \neg, 0)$ dengan operasi biner $\oplus$, operasi unari $\neg$, notasi $a, b, c \in A$ dan sebuah konstanta yang memenuhi beberapa aksioma berikut:

$$(a \oplus b) \oplus c = a \oplus (b \oplus c) \quad (2.10)$$

$$a \oplus b = b \oplus a \quad (2.11)$$

$$a \oplus 0 = a \quad (2.12)$$

$$\neg\neg a = a \quad (2.13)$$

$$a \oplus \neg 0 = \neg 0 \quad (2.14)$$

$$\neg(\neg a \oplus b) \oplus b = \neg(\neg b \oplus a) \oplus a \quad (2.15)$$

Sumber : Cignoli et al., 2000

Aksioma 2.10 hingga 2.12 menyatakan bahwa struktur aljabar *many-values* $(A, \oplus, 0)$ membentuk sebuah abelian monoid. Selanjutnya, aksioma 2.13 mendefinisikan involusi negasi, aksioma 2.14 menetapkan properti penjumlahan terhadap negasi kesalahan mutlak, dan aksioma 2.15 menggambarkan simetri implikasi. Keenam aksioma dasar ini menjadi fondasi dalam pengembangan aksioma turunan dan definisi operasi-operasi lain yang mendasari perancangan mekanisme *filtering* berbasis aljabar *many-values*.

Sebuah himpunan tunggal $\{0\}$ merupakan contoh trivial dari aljabar *many-values*. Aljabar ini dikatakan tidak trivial jika semestanya memiliki lebih dari satu elemen, Sebagai contoh dari aljabar *many-values* yang tidak trivial, pertimbangkan interval real unit $[0,1]$ sebagai $\{a \in \mathbb{R} \mid 0 \leq a \leq 1\}$ dan untuk semua $a, b \in [0,1]$, definisikan $a \oplus b = \min(1, a + b)$ dan $\neg a = 1 - a$, mudah untuk dilihat bahwa $([0,1], \oplus, \neg, 0)$ adalah sebuah aljabar *many-values*.

Selanjutnya, setiap aljabar *many-values* pada himpunan A dapat dilengkapi dengan konstanta 1 dan operasi tambahan $\odot$ dan $\ominus$ sesuai enam aksioma dasar sebelumnya sebagaimana berikut:

$$1 = \neg 0 \quad (2.16)$$

$$a \odot b = \neg(\neg a \oplus \neg b) \quad (2.17)$$

$$a \ominus b = a \odot \neg b \quad (2.18)$$

$$\neg 1 = 0 \quad (2.19)$$

$$a \oplus b = \neg(\neg a \odot \neg b) \quad (2.20)$$

$$a \oplus 1 = 1 \quad (2.21)$$

$$(a \ominus b) \oplus b = (b \ominus a) \oplus a \quad (2.22)$$

$$a \oplus \neg a = 1 \quad (2.23)$$

Sumber : Cignoli et al., 2000

Akibatnya, dapat didefinisikan operasi $a \odot b$ sebagai $\max(0, a + b - 1)$ dan $a \ominus b$ adalah $\max(0, a - b)$. Sesuai dengan penggunaan umum, dapat dianggap operasi $\neg$ memiliki tingkat keterikatan (*binding*) lebih tinggi dibandingkan operasi lainnya, dan operasi $\odot$ memiliki tingkat keterikatan lebih tinggi dibandingkan $\oplus$ dan $\ominus$.

Urutan natural dalam sebuah aljabar *many-values* dapat didefinisikan sebagai sebuah relasi. Misalkan a dan b merupakan anggota himpunan A , relasi biner urutan parsial $a \leq b$ dapat tercapai jika dan hanya jika a dan b memenuhi beberapa Lemma berikut yang saling ekuivalen:

$$\neg a \oplus b = 1 \quad (2.24)$$

$$a \odot \neg b = 0 \quad (2.25)$$

$$b = a \oplus (b \ominus a) \quad (2.26)$$

$$\text{Terdapat elemen } c \in A, \text{ sehingga } a \oplus c = b \quad (2.27)$$

Sumber : Cignoli et al., 2000

Sifat pengurutan ini memungkinkan proses penggantian piksel yang terkontaminasi dengan menentukan nilai tengah dari sekumpulan elemen piksel yang tersedia. Dalam setiap struktur aljabar *many-values*, pengurutan natural yang digunakan mengikuti sejumlah properti dasar sebagai berikut:

$$a \leq b \leftrightarrow \neg b \leq \neg a \quad (2.28)$$

$$\begin{aligned} \text{Jika } a \leq b \text{ akan ada } c \in A, a \oplus c \leq b \oplus c \text{ dan } a \odot c \\ \leq b \odot c \end{aligned} \quad (2.29)$$

$$a \odot b \leq c \leftrightarrow a \leq \neg b \oplus c \quad (2.30)$$

Sumber : Cignoli et al., 2000

Operasi pengurutan alami ($\leq$) yang terbentuk dalam aljabar *many-values* memungkinkan dibangunnya struktur kisi (lattice), di mana setiap pasangan elemen memiliki nilai infimum ($\wedge$) dan nilai supremum ($\vee$). Kedua

operasi ini, yaitu *meet* ($\wedge$) dan *join* ($\vee$), dapat didefinisikan secara eksplisit menggunakan operasi-operasi dasar yang telah didefinisikan dalam kerangka aljabar *many-values*.

$$a \vee b = (a \odot \neg b) \oplus b = (a \ominus b) \oplus b \quad (2.31)$$

$$a \wedge b = \neg(\neg a \vee \neg b) = a \odot (\neg a \oplus b) \quad (2.32)$$

Sumber : Gao et al., 2024

Kemudian, jika diberikan sebuah aljabar *many-values* A dan himpunan X , maka himpunan semua fungsi dari X ke A yang dilambangkan dengan A^X , membentuk sebuah aljabar *many-values* apabila operasi-operasinya didefinisikan secara *pointwise*. Secara khusus, himpunan semua fungsi kontinu dari interval $[0,1]$ ke $[0,1]$ membentuk subaljabar dari aljabar *many-values* $[0,1]^{[0,1]}$. Properti ini menjadi landasan dalam mendefinisikan relasi antara nilai indeks dan elemen piksel pada citra digital.

2.1.2.1 Aljabar Lukasiewicz dan Perluasannya

Aljabar Lukasiewicz merupakan bagian dari aljabar *many-values*. Jan Lukasiewicz memperkenalkan sistem logika di mana proposisi memiliki nilai kebenaran berupa bilangan real di antara 0 dan 1. Sebagai konektif utama proporsional, ia mempertimbangkan implikasi ($a \rightarrow b$) dan negasi ($\neg a$) dengan $a, b \in [0,1]$. Operasi implikasi dan negasi dijabarkan sebagai berikut:

$$a \rightarrow b = \min(1, 1 - a + b) \quad (2.33)$$

$$\neg a = 1 - a \quad (2.34)$$

Sumber : Cignoli et al., 2000

Selain sistem tak hingga-nilai ini, Lukasiewicz juga mempertimbangkan sistem logika bernilai hingga n , untuk setiap bilangan asli $n \geq 2$. Nilai kebenaran terdiri atas bilangan rasional yang membagi interval tertutup $[0,1]$ secara merata, yang mengikuti aturan berikut:

$$L_n = \left\{ 0, \frac{1}{n-1}, \frac{2}{n-1}, \dots, \frac{n-2}{n-1}, 1 \right\} \quad (2.35)$$

Sumber : Di Nola & Russo, 2006

Khususnya, untuk $n = 2$, satu-satunya nilai kebenaran yang mungkin adalah 0 dan 1. Dalam kasus ini, rumus di atas menghasilkan kembali aljabar logika biner dengan interpretasi 1 sebagai nilai benar dan 0 sebagai nilai salah. Himpunan L_n juga disebut sebagai bentuk diskret dari aljabar *many-values*, properti ini nantinya digunakan dalam melakukan indeksasi terhadap nilai-nilai piksel citra.

Jika dirangkum, operasi yang dapat terjadi dalam aljabar *many-values* dan aljabar Lukasiewicz sebagai berikut:

$$a \vee b = \max(a, b) \quad (2.36)$$

$$a \wedge b = \min(a, b) \quad (2.37)$$

$$\neg a = 1 - a \quad (2.38)$$

$$a \oplus b = \min(1, a + b) \quad (2.39)$$

$$a \ominus b = \max(0, a - b) \quad (2.40)$$

$$a \odot b = \max(0, a + b - 1) \quad (2.41)$$

$$a \rightarrow b = \min(1, 1 - a + b) \quad (2.42)$$

Sumber : Abbass et al, 2014

Namun, dengan hanya memiliki operator-operator ini, mustahil untuk membangun pemrosesan data yang memiliki sensitivitas rendah. Oleh karenanya, aljabar Lukasiewicz akan diperkaya dengan fungsi akar kuadrat. Fungsi ini didefinisikan sebagai perluasan dari fungsi kuadrat Lukasiewicz (Majerova, 2004). Sehingga hasilnya akan mengurangi sensitivitas terhadap hasil operasi dan peroleh hasil yang lebih halus. Operasinya didefinisikan sebagai

$$\text{sqrt}(a) = \frac{1 + a}{2} \quad (2.43)$$

Sumber : Majerova, 2004

2.1.3 Properti Partisi *Unity*

Partisi unity merupakan sekumpulan elemen yang secara bersama-sama “menutupi” identitas dalam sebuah struktur aljabar dengan cara-cara tertentu (Mendel, 1995). Misalkan aljabar many-value A memiliki elemen

$e_1, e_2, \dots, e_n \in A$. Dapat dikatakan bahwa $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ adalah partisi dari *unity* jika $e_1 \oplus e_2 \oplus \dots \oplus e_n = 1$ dan $e_1 \odot e_2 \odot \dots \odot e_n = 0$. Bagian ini digunakan untuk membentuk basis *fuzzy* yang tidak saling *overlap*

Misalkan $n \in \mathbb{N}, n > k$ dan $k \in \mathbb{Z}$. Maka $\{P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}\}$ merupakan partisi dari struktur aljabar *many-values* $[0,1]^{[0,1]}$

$$\begin{aligned}
 P_0(x) &= \begin{cases} -(n-1)x + 1; 0 \leq x \leq \frac{1}{n-1} \\ 0; \text{Lainnya} \end{cases} \\
 P_{n-1}(x) &= \begin{cases} (n-1)x - (n-2); \frac{n-2}{n-1} \leq x \leq 1 \\ 0; \text{Lainnya} \end{cases} \\
 P_k(x) &= \begin{cases} (n-1)x - (k-1); \frac{k-1}{n-1} \leq x \leq \frac{k}{n-1} \\ -(n-1)x + k + 1; \frac{k}{n-1} \leq x \leq \frac{k+1}{n-1} \\ 0; \text{Lainnya} \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2.44}$$

Sumber : Di Nola & Russo, 2006

Implementasi partisi *unity* telah digunakan dalam kompresi dan dekompresi citra (Abbass et al., 2012), Namun, dalam konteks penelitian ini, partisi *unity* akan dimanfaatkan secara berbeda, yaitu sebagai nilai pembanding sekaligus penyusun dalam membentuk nilai akhir hasil kompresi (Abbass et al., 2014).

Implementasi serta keterkaitan partisi *unity* serta konsep aljabar *many-values* yang diajukan menyatakan bahwa setiap struktur aljabar *many-values* $([0,1], \oplus, \odot, \neg, 0, 1)$ terdapat fungsi $f \in [0,1]^{[0,1]}$ dan unit-unit partisi $\{P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1}\}$ sehingga terdapat elemen $i \in [0,1]$ yang memenuhi kondisi $P_k(i) + f(i) \geq 1$ untuk semua indeks $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$ (Abbas, et al 2014).

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Berbagai teknik reduksi untuk citra terkontaminasi gangguan *salt and pepper* telah berkembang sejak pertama kali digunakan pada tahun

1960-an. Umumnya, perkembangan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas citra hasil restorasi. Kajian lebih rinci disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil
1	Mary Subaja Christo, K. Vasanth, R. Varatharajan (2020)	<i>A Decision Based Asymmetrically Trimmed Modified Winsorized Median Filter For The Removal of Salt and Pepper Noise In Images and Videos</i>	Operasi median dengan konsep winsorized dan trimmed	Efek artefak semakin banyak seiring meningkatnya duplikasi nilai minimum dan maksimum. Efektif pada gangguan rendah
2	Samet Memis & Ugur Erkan (2021)	<i>Different Adaptive Modified Riesz Mean Filter for High Salt and Pepper Noise Removal in Grayscale Images</i>	Fungsi bobot piksel khusus berdasarkan kesamaan piksel terhadap piksel pusat	Citra restorasi rentan terhadap artefak pada kepadatan noise tinggi.
3	Bilal Charmouti, Ahmad Kadri Junoh, Achmad Abdurrazzaq & Mohd Yusoff Mashor (2022)	<i>A New Denoising Method for Removing Salt & Pepper Noise from Image</i>	Pencarian nilai maksimum dan minimum kernel pemrosesan berbagai arah	Peningkatan artefak serta penurunan indikator

No	Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Metode	Hasil
4	Ilyasa Pahlevi Reza Yulianto, Bima Ramadhan, Achmad Abdurrazzaq (2023)	<i>Recursive Trimmed Filter in Eliminating High Density Impulse Noise from Digital Image</i>	Penggunaan konsep rekursif dan <i>alpha</i> trimming rata- rata	Kemunculan artefak dan distribusi warna yang cenderung tidak akurat serta meluas
5	Jianqiang Gao, Li Li, Xiandong Ren, Qian Chen, Yahya Mourad Abdul- Abbaass (2024)	<i>An Effective Method for Salt and Pepper Noise Removal Based on Algebra and Fuzzy Logic</i>	Fungsi keanggotaan fuzzy atau pertisi <i>unity</i> , dan aljabar logika <i>many- values</i> .	Kualitas tinggi hanya pada noise rendah dari penurunan signifikan pada kurva PSNR dan SSIM. Muncul blok- blok <i>residual noise</i>

Sumber: diolah oleh peneliti

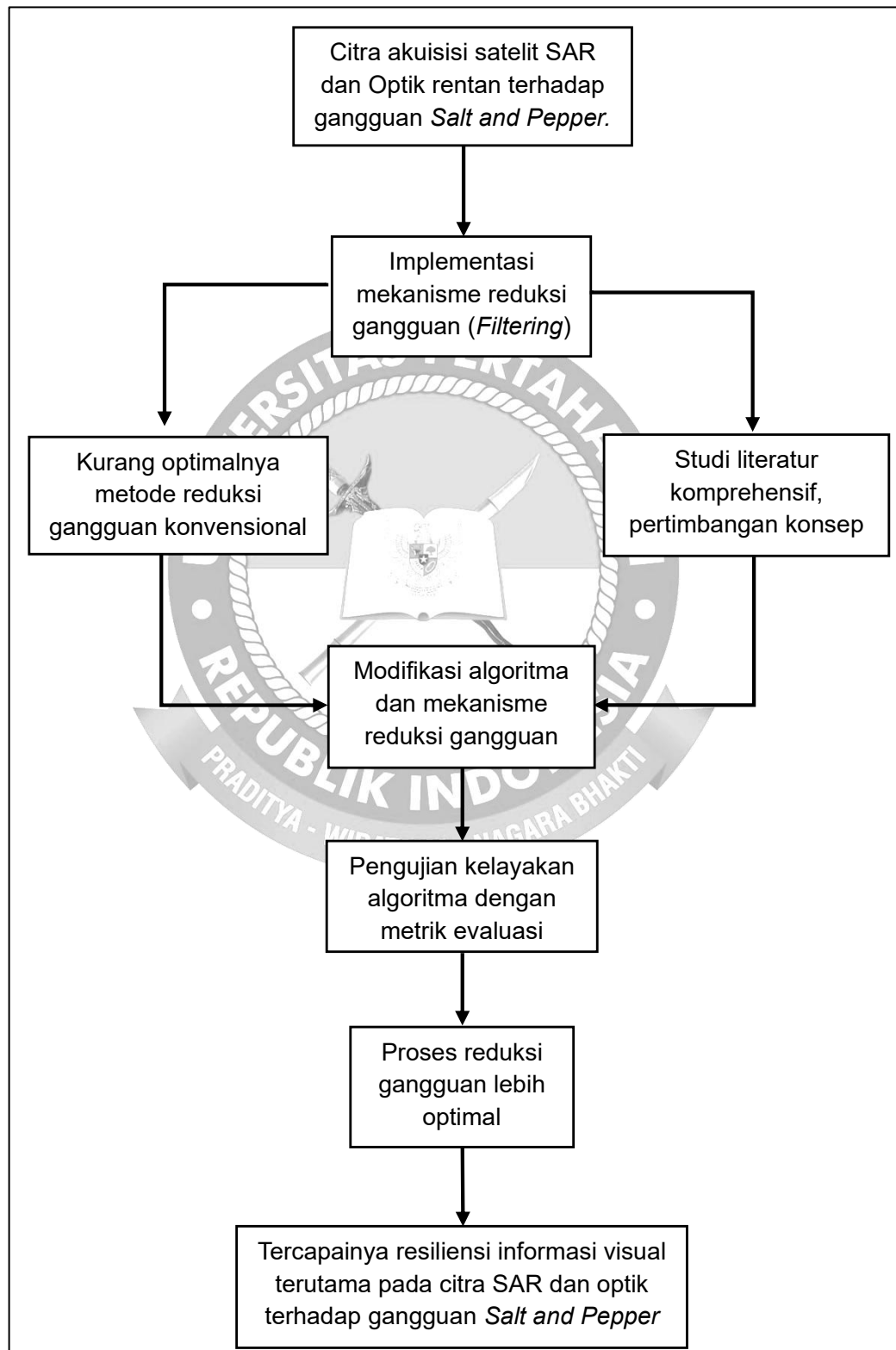
Kelima penelitian dalam Tabel 2.1 dijadikan acuan pembandingan untuk algoritma yang dikembangkan. Penulis memilih LASRNM (Gao et al., 2024), berbasis aljabar *many-values*, sebagai rujukan utama karena penelitian ini memperkenalkan pendekatan *filtering* dalam konteks logika banyak nilai. Namun, algoritma ini masih menunjukkan kelemahan signifikan berupa kemunculan *residual noise* yang mengganggu detail citra, akibat tidak adanya integrasi mekanisme tambahan dalam struktur algoritmanya. Hal ini kontras dengan pendekatan linear maupun nonlinear *filtering* yang telah banyak diperkaya dengan integrasi konsep pelengkap, seperti DBATMWF (Christo et al., 2020) yang memperkuat *median filtering*

dengan teknik *winsorizing* dan *trimming*, RTAMF (Pahlevi et al., 2023) yang menggabungkan *alpha-trimming* dan proses rekursif, serta DAMRMF (Memis & Erkan, 2021) yang memodifikasi *mean filtering* melalui transformasi Riesz. Berdasarkan kekurangan tersebut, penelitian ini diarahkan untuk memperkaya algoritma berbasis *many-values* dengan pendekatan tambahan, guna meningkatkan performa secara kuantitatif melalui indikator PSNR dan SSIM agar setara atau melampaui hasil yang tercantum pada Tabel 2.1.

2.3 Kerangka Berpikir

Permasalahan utama dalam ketahanan informasi visual citra satelit SAR dan optik terhadap gangguan *salt and pepper* menjadi motivasi penelitian ini. Berdasarkan tinjauan literatur dan analisis mendalam, penulis mengusulkan mekanisme reduksi gangguan berbasis aljabar *many-values* yang lebih efektif, yang akan dievaluasi melalui hasil visual restorasi citra dan metrik kuantitatif. Kerangka pemikiran ditampilkan pada Gambar 2.7.

Penelitian ini berfokus pada permasalahan kerentanan citra satelit SAR dan optik terhadap gangguan *salt and pepper*, yang dapat mengganggu kualitas informasi visual yang dihasilkan. Meskipun teknik *filtering* telah banyak digunakan, penerapan aljabar *many-values* dalam algoritma LASRNM (Gao et al., 2024) masih menghadirkan tantangan, terutama terkait dengan munculnya *residual noise* yang mengurangi akurasi citra yang dihasilkan. Penulis mengusulkan modifikasi algoritma dan mekanisme reduksi gangguan yang lebih efisien, dengan fokus pada peningkatan kemampuan algoritma dalam menangani *noise* tanpa mengorbankan detail penting dalam citra. Selanjutnya, dilakukan uji kelayakan menggunakan metrik evaluasi PSNR dan SSIM, untuk memastikan bahwa metode yang diusulkan dapat memberikan hasil yang lebih optimal. Menggunakan pendekatan ini, diharapkan dapat tercapai reduksi gangguan yang lebih baik serta peningkatan resiliensi informasi visual, sehingga kualitas citra yang dihasilkan lebih akurat dan dapat diandalkan untuk aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi.



Gambar 2. 7 Diagram Kerangka Penelitian

Sumber: diolah oleh peneliti