

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Tujuan dilakukan tinjauan pustaka adalah menelaah teori-teori yang ada dan dapat mendukung penulisan penelitian ini. Teori-teori tersebut dapat digunakan sebagai dasar dalam menyusun kerangka teori dan konsep untuk penelitian berikutnya. Sesuai tema penelitian ini maka tinjauan pustaka yang ditelaah meliputi teori pertahanan negara, teori kebijakan pemerintah perpindahan ibu kota negara, teori pengamanan wilayah udara RI, teori penginderaan jauh, teori sensor gambar, teori pemotretan udara, teori fotogrametri dan teori *geographic information system (geospatial analysis)*. Berdasarkan rangkaian pustaka, peneliti menyusun konsep pertahanan di wilayah Kalimantan Barat dari data citra resolusi tinggi Pangkalan Udara TNI AU Supadio Pontianak dengan mengintegrasikan analisis geospasial tutupan dan ketersediaan lahan di area tersebut.

2.1.1. Pertahanan Negara

Setiap negara yang telah memiliki yurisdiksi atas kedaulatan negaranya mempunyai pola bertahan masing-masing. Tidak hanya berdasarkan kemampuan dan kekuatan yang terkandung di dalamnya, namun berdasarkan nilai-nilai hukum yang kuat untuk dapat tetap berdirinya suatu negara. Menurut Soenarko (2003) menyebutkan bahwa suatu negara merupakan suatu kesatuan masyarakat yang menempati wilayah tertentu di bawah kekuasaan pemerintah sepenuhnya kedalam bentuk kedaulatan. Selain itu, Prof. Farid S. menuturkan bahwa suatu negara yang bebas dan merdeka harus disertai dengan adanya kedaulatan wilayah dengan pengakuan dari negara lain. Dari pengertian ini memiliki arti bahwa komponen suatu negara terdiri dari adanya

kelompok masyarakat yang mendiami suatu wilayah yang berdaulat di bawah kekuasaan pemerintah tertentu dengan adanya pengakuan kemerdekaan dari negara lain. Oleh karena itu, setiap negara yang merdeka berupaya akan tetap mempertahankannya demi keberlangsungan kehidupan masyarakat di dalamnya.

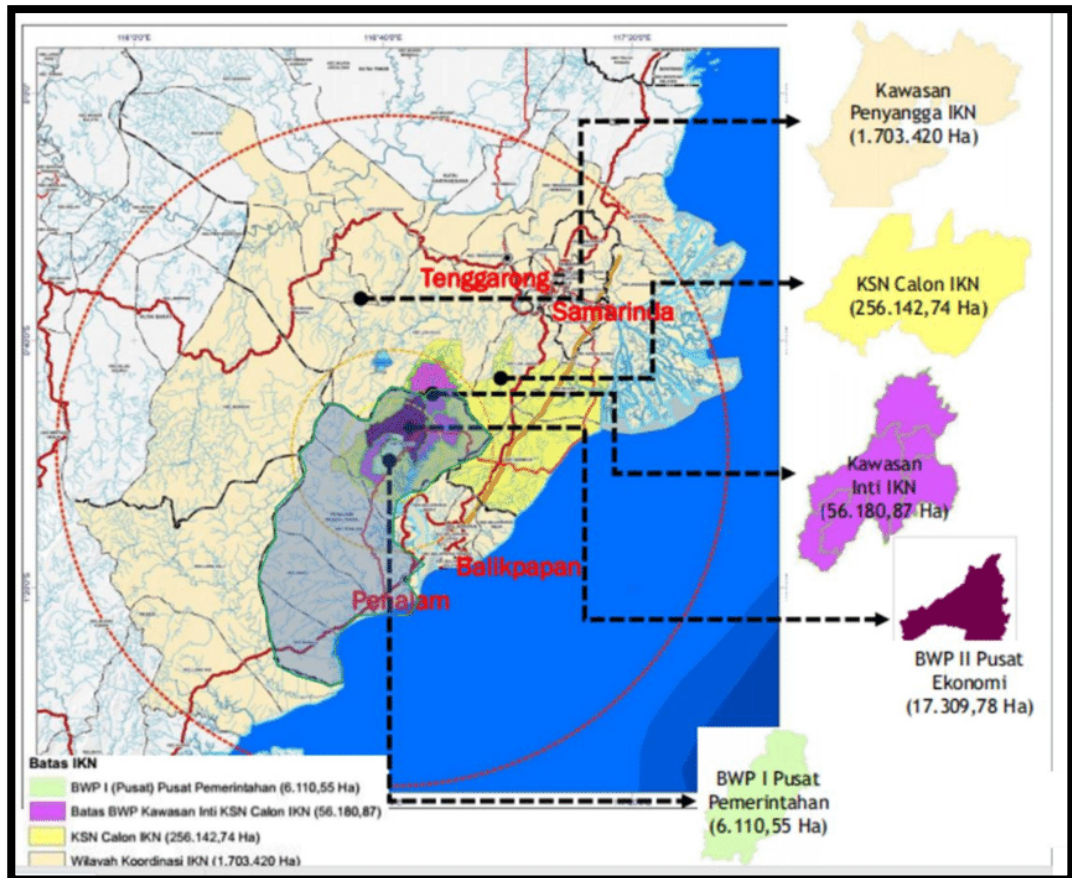
Berbicara tentang cara bertahan, negara Indonesia telah membentuk suatu sistem pertahanan negara dengan kandungan arti yang mendalam bagi seluruh warga negaranya. Hal ini telah ditetapkan dalam Undang-undang RI Nomor 3 tahun 2002 mengenai sistem pertahanan negara Indonesia yang bersifat semesta dengan pelibatan seluruh komponen negara secara total dan terarah demi tetap tegaknya NKRI. Pada gambar 2.1. terlihat beberapa negara tetangga yang berbatasan dengan wilayah NKRI, diantaranya Negara atau bahkan Benua Australia, Negara Timor Leste, Palau, Papua Nugini, Philipina, Vietnam, Singapura, Malaysia, Thailand, dan India. Di dalam Buku Putih Pertahanan Indonesia 2015 juga tertulis adanya berbagai macam potensi ancaman dari beberapa negara tetangga yang dapat merenggut kedaulatan wilayah NKRI. Segala bentuk ancaman nyata ini patut diperhitungkan mengingat seluruh sumber daya nasional menjadi sasaran utama dari penguasaan negara lain terhadap NKRI. Potensi ancaman kedaulatan negara Indonesia tidak sekedar berasal dari luar negeri, namun dapat bersumber dari dalam negeri yang telah dipengaruhi oleh negara asing dalam membuat kericuhan dari dalam. Dengan Buku Putih ini diharapkan masyarakat sadar akan bentuk pertahanan yang dikehendaki pemerintah supaya tujuan nasional negara Indonesia dapat tercapai seutuhnya.



Gambar 2. 1. Gambar Negara-Negara yang Berbatasan dengan Negara Indonesia
Sumber: Buku Putih (2015)

2.1.2. Kebijakan Pemerintah Perpindahan Ibu Kota Negara

Adanya kebijakan pemerintah dalam menetapkan pemindahan Ibu Kota Negara merupakan suatu keputusan berat yang harus diambil pemerintah dalam situasi dan kondisi yang serba sulit. Berbagai masalah sosial yang muncul di Jakarta dipandang memberi pengaruh terhadap perkembangan ibu kota untuk menuju arah yang lebih baik. Wilayah Kalimantan yang terhitung masih luas, dirasa cukup memberi ruang bagi Ibu Kota Negara untuk dapat terus berkembang. Dalam Undang-undang RI Nomor 3 Tahun 2022 mencatat luas kawasan yang akan dijadikan Ibu Kota Negara kurang lebih 56.180 hektar dengan daerah pengembangannya seluas 199.962 hektar. Dengan luas total wilayah Kalimantan sekitar 74,333 juta hektar, sudah dapat dipastikan wilayah ini dapat memberi peluang kepada pemerintah dapat leluasa menjalankan roda pemerintahan dengan baik.



Gambar 2. 2. Skema Rencana Wilayah IKN

Sumber: Bappenas, 2020

Menurut keterangan dari Bappenas, pemindahan Ibu Kota Negara diperkirakan akan dimulai pada tahun 2024 secara bertahap. Diharapkan pemindahan Ibu Kota ini dapat memberikan dampak positif pada aspek perekonomian negara untuk dapat tersebar merata di berbagai pelosok wilayah NKRI. Selain itu, pemindahan ini termasuk upaya pemerintah untuk mengurangi kepadatan di Pulau Jawa yang semakin rapat di berbagai sektor kehidupan. Dari segi ekonomi, Pulau Kalimantan baru memberi sumbangan ekonomi nasional sebesar 8,2% dan hanya diduduki 5,8% populasi seluruh Indonesia. Hal ini sangat berkebalikan dengan Pulau Jawa yang memiliki 60% populasi penduduk di seluruh Indonesia. Penempatan titik nol Ibu Kota Negara di daerah Sepaku Kabupaten Penajam Utara kian memantapkan keputusan pemindahan pusat negara ini menuju pemerintahan berkelas

internasional. Melalui skema perencanaan kawasan Ibu Kota Negara pada gambar 2.2. diharapkan seluruh pusat pemerintahan dapat tertampung di dalam satu lokasi yang terpadu. Oleh karenanya, pemindahan Ibu Kota Negara ini dimungkinkan akan membuat pemerataan penduduk dari Pulau Jawa ke Kalimantan serta memberi tingkat jangkauan kesejahteraan yang lebih baik untuk ke seluruh pelosok negeri.

2.1.3. Pengamanan Wilayah Udara RI

Bentuk kedaulatan wilayah suatu negara tidak hanya terletak pada luasan area dilihat dari daratan dan lautan. Namun ruang udara juga patut diperhatikan. Di jaman kemajuan teknologi seperti saat ini, teknologi di ruang udara menjadi sasaran para penguasa teknologi untuk mendapatkan informasi yang sebanyak-banyaknya karena area cakupannya yang sangat luas. Jika dikaitkan dengan sumber daya alam Indonesia yang sangat berlimpah, ruang udara Indonesia masih terbilang belum banyak dimanfaatkan oleh pemerintah. Dalam Peraturan Pemerintah RI nomor 4 tahun 2018 menyebutkan wilayah udara sebagai ruang udara dengan kedaulatan yang terbatas pada wilayah perairan dan daratan Indonesia. Secara hukum, luasnya wilayah Indonesia yang berada di darat, laut dan udara menjadi hak sepenuhnya bagi pemerintah untuk melaksanakan eksplorasi dan juga menjadi tanggung jawab bagi negara untuk melindunginya. Salah satu upaya mempertahankan keamanan udara negara Indonesia adalah dengan memperkuat kesatuan militer TNI AU dalam menjaga ruang udara di Indonesia. Sudah menjadi tugas pokok bagi TNI AU untuk memastikan ruang udara Negara Indonesia tetap terjaga tanpa adanya potensi ancaman dari negara lain.

Salah satu produk TNI AU dalam menjaga kedaulatan wilayah RI adalah dengan melakukan pemotretan dan pemetaan udara di seluruh wilayah nusantara. Melalui kegiatan pemotretan dan pemetaan udara, lahan-lahan militer dapat didata dengan tujuan mengukur dan

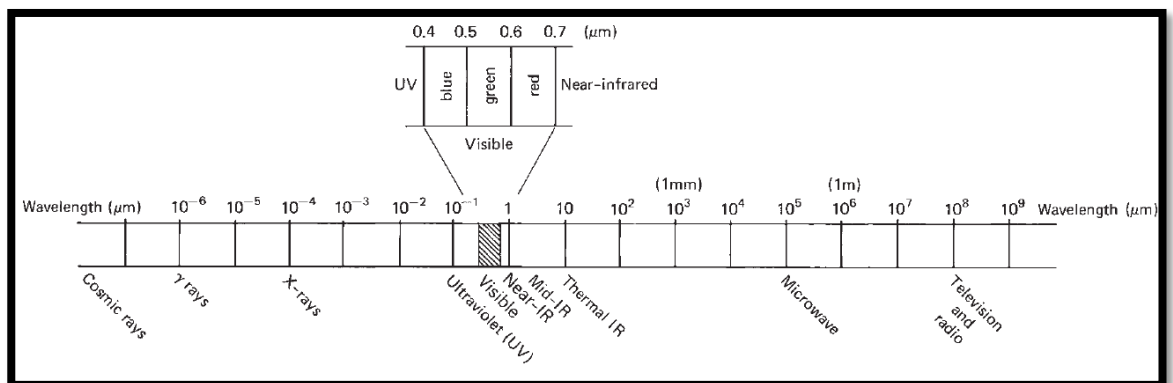
memperhitungkan kekuatan negara dalam upaya mempertahankan negara. Selain itu hasil pemotretan udara juga dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembangunan nasional, khususnya kekuatan militer. Data citra foto udara termasuk ke dalam jenis data strategis yang sangat bermanfaat dalam pengelolaan sumber daya yang sempat terekam oleh sensor. Dengan mengamankan citra foto udara, khususnya pangkalan militer TNI/TNI AU juga mengamankan data sumber daya nasional yang sangat bernilai strategis bagi negara.

2.1.4. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh mengacu pada ilmu pengetahuan, seni, dan teknologi yang digunakan sistem Bumi untuk akuisisi data melalui sensor kontak nonfisik atau sistem sensor yang dipasang di udara, ruang angkasa, dan jenis platform lainnya dengan teknik pemrosesan dan interpretasi data dari otomatis dan analisis visual, serta pembuatan informasi pemetaan terkomputerisasi dan konvensional yang bermanfaat bagi pengguna. Menurut Lillesand and Kiefer (1979), penginderaan jauh adalah ilmu, seni dan teknologi yang digunakan untuk mendapatkan sejumlah informasi mengenai suatu objek, wilayah, atau peristiwa melalui proses analisis data yang didapatkan dari perangkat tanpa bersentuhan langsung dengan objek, area, atau peristiwa yang sedang diteliti. Pesawat dan satelit adalah platform umum untuk penginderaan jauh bumi dan sumber daya alamnya.

Fotografi udara bekerja di bagian panjang gelombang elektromagnetik tampak yang merupakan bentuk asli dari penginderaan jauh, tetapi perkembangan teknologi saat ini telah memungkinkan perolehan informasi di panjang gelombang lain termasuk inframerah dekat, inframerah termal dan microwave. Spektrum elektromagnetik (EM) adalah rentang kontinu radiasi elektromagnetik, memanjang dari sinar gamma (frekuensi tertinggi & panjang gelombang terpendek) hingga

gelombang radio (frekuensi terendah & panjang gelombang terpanjang) dan termasuk cahaya tampak. Penginderaan jauh melibatkan pengukuran energi di banyak bagian spektrum elektromagnetik (EM). Bagian utama yang menarik dalam penginderaan adalah cahaya tampak, dipantulkan dan dipancarkan, inframerah dan daerah gelombang mikro. Penentuan radiasi ini dikenal sebagai pita spektral. Pita spektral didefinisikan sebagai interval diskrit dari spektrum EM. Misalnya rentang panjang gelombang $0,4\mu\text{m}$ hingga $0,5\mu\text{m}$ (μm = mikrometer atau 10^{-6}m) adalah satu pita spektral.

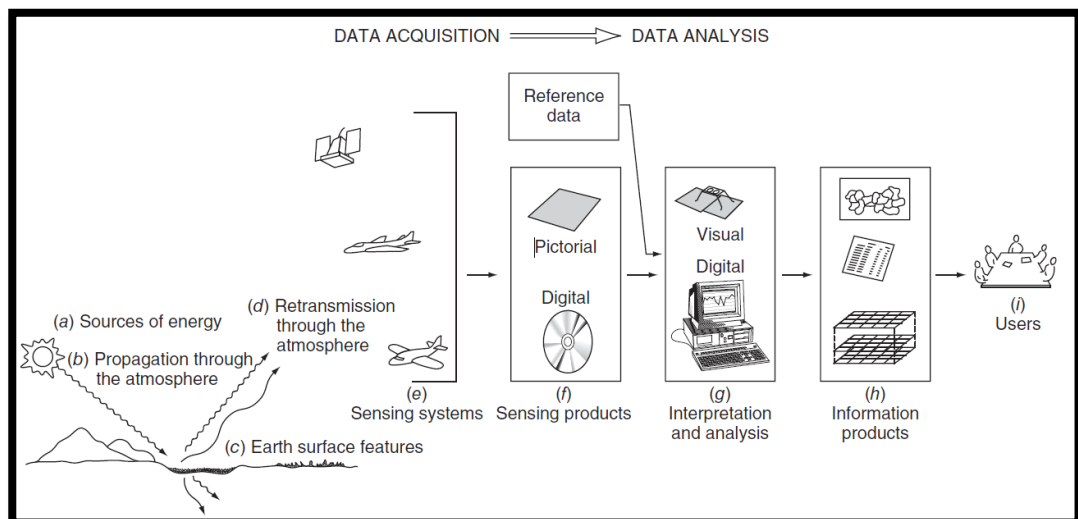


Gambar 2. 3. Spektrum Elektromagnetik
 Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

2.1.4.1. Sistem Penginderaan Jauh

Mekanisme pengumpulan data melalui penginderaan jauh ini dilaksanakan secara jarak jauh menggunakan alat perekam berupa sensor buatan. Dalam gambar 2.4. diilustrasikan unsur dan proses yang terkait dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh. Unsur-unsur yang termasuk dalam pengumpulan data terdiri dari sumber energi (a), perambatan energi melalui atmosfer (b), interaksi energi dengan fitur permukaan bumi (c), transmisi ulang energi melalui atmosfer (d), sensor udara dan/atau ruang angkasa (e), menghasilkan data sensor dalam bentuk gambar dan/atau digital (f). Dalam hal ini, sensor berperan sebagai perekam sebagian fitur permukaan bumi dengan cara memancarkan dan menerima pantulan gelombang elektromagnetik. Proses analisis data (g)

melibatkan pemeriksaan data menggunakan berbagai perangkat tampilan dan interpretasi untuk menganalisis data bergambar dan/atau komputer untuk menganalisis data sensor digital. Referensi data tentang sumber daya yang sedang dipelajari (seperti peta tanah, statistik tanaman, atau data pemeriksaan lapangan) digunakan pada waktu dan lokasi yang telah ditentukan untuk membantu dalam analisis data. Dengan bantuan referensi data, analisis ekstraksi informasi tentang luas, jenis, lokasi, dan kondisi berbagai sumber daya dapat dilaksanakan di mana data sensor dikumpulkan. Langkah selanjutnya penyusunan informasi (h), umumnya dalam bentuk peta, tabel, atau digital data spasial yang dapat digabungkan dengan “lapisan” informasi lainnya dalam suatu sistem informasi. Akhirnya, informasi disajikan kepada pengguna (i) sebagai bahan dasar dalam membantu proses pengambilan suatu keputusan.



Gambar 2. 4. Ilustrasi Sistem Penginderaan Jauh
 Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

Sensor adalah perangkat yang mengukur dan merekam energi elektromagnetik. Sensor dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu sensor pasif dan sensor aktif. Sensor pasif bergantung pada sumber energi eksternal, biasanya matahari. Matahari memberikan sumber energi yang nyaman untuk penginderaan jauh. Energi matahari dipantulkan, seperti halnya pada panjang gelombang tampak, atau diserap dan kemudian

dipancarkan kembali, seperti pada inframerah termal panjang gelombang. Sistem penginderaan jauh yang mengukur energi yang tersedia secara alami adalah disebut sensor pasif (Lillesand and Kiefer, 1994). Sensor pasif yang paling umum digunakan dalam kegiatan penginderaan jauh adalah kamera udara.

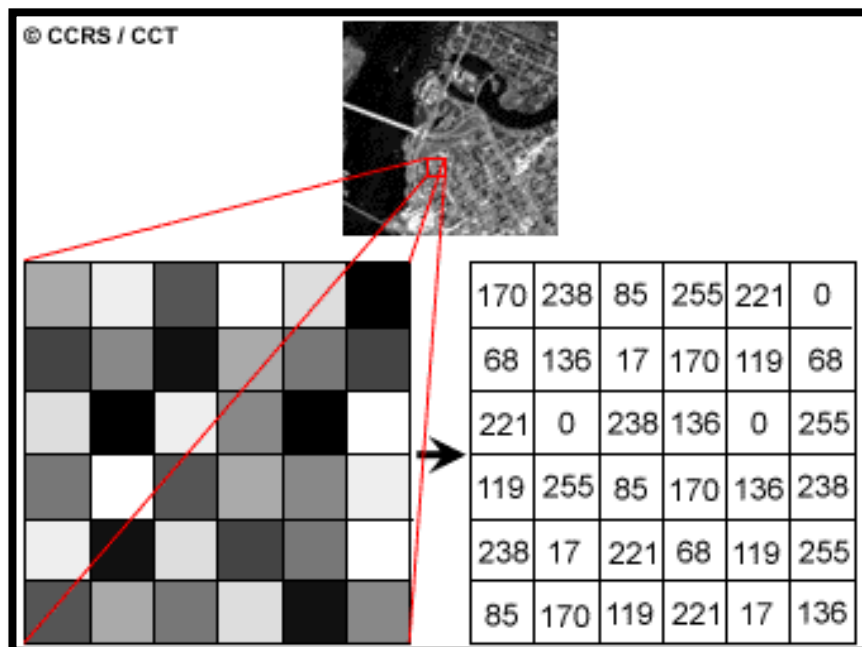
Sedangkan, sensor aktif menyediakan sendiri sumber energi untuk penerangan (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Sensor memancarkan radiasi yang diarahkan pada sasaran yang akan diteliti. Pancaran radiasi yang dipantulkan dari target akan terdeteksi dan diukur oleh sensor. Keuntungan untuk sensor aktif ialah kemampuan untuk mendapatkan pengukuran kapan saja, terlepas dari waktu, hari, atau musim. Sensor aktif dapat digunakan untuk memeriksa panjang gelombang yang tidak cukup disediakan oleh matahari, seperti gelombang mikro, atau lebih baik mengontrol pencahayaan dengan cara menerangi target. Namun, sensor aktif membutuhkan daya dalam jumlah yang cukup besar agar dapat menerangi target secara memadai. Beberapa contoh dari sensor aktif adalah laser fluorosensor, radar, dan lidar.

2.1.4.2. Data Penginderaan Jauh

Energi elektromagnetik dapat dideteksi baik secara fotografis atau elektronik. Proses fotografi menggunakan reaksi kimia di permukaan film peka cahaya untuk mendeteksi dan mencatat variasi energi (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Sebuah gambar mengacu pada representasi bergambar apa pun, terlepas dari perangkat panjang gelombang atau penginderaan jauh yang digunakan untuk mendeteksi dan merekam energi elektromagnetik. Foto biasanya direkam melalui rentang panjang gelombang inframerah tampak dari 0,3 μm hingga 0,9 μm .

Foto juga bisa diwakili dan ditampilkan dalam sebuah format digital dengan membagi gambar menjadi bentuk kecil berukuran sama yang disebut gambar elemen atau piksel, dan mewakili kecerahan

masing-masing area dengan nilai numerik atau nomor digital. Gambar 2.5. menunjukkan sebuah foto yang dipindai dan dibagi lagi menjadi piksel dengan pemberian nomor digital di setiap piksel yang mewakili kecerahan relatifnya. Komputer akan menampilkan setiap nilai digital sebagai tingkat kecerahan yang berbeda. Sensor yang merekam energi elektromagnetik, secara elektronik merekam energi sebagai array dari angka dalam format digital sejak awal. Cara ini merepresentasikan dan menampilkan data penginderaan jauh, baik secara gambar maupun digital, yang dapat dipertukarkan karena menyampaikan informasi yang sama (walaupun beberapa detail mungkin hilang saat mengkonversi bolak-balik). (Kairu, 2014).



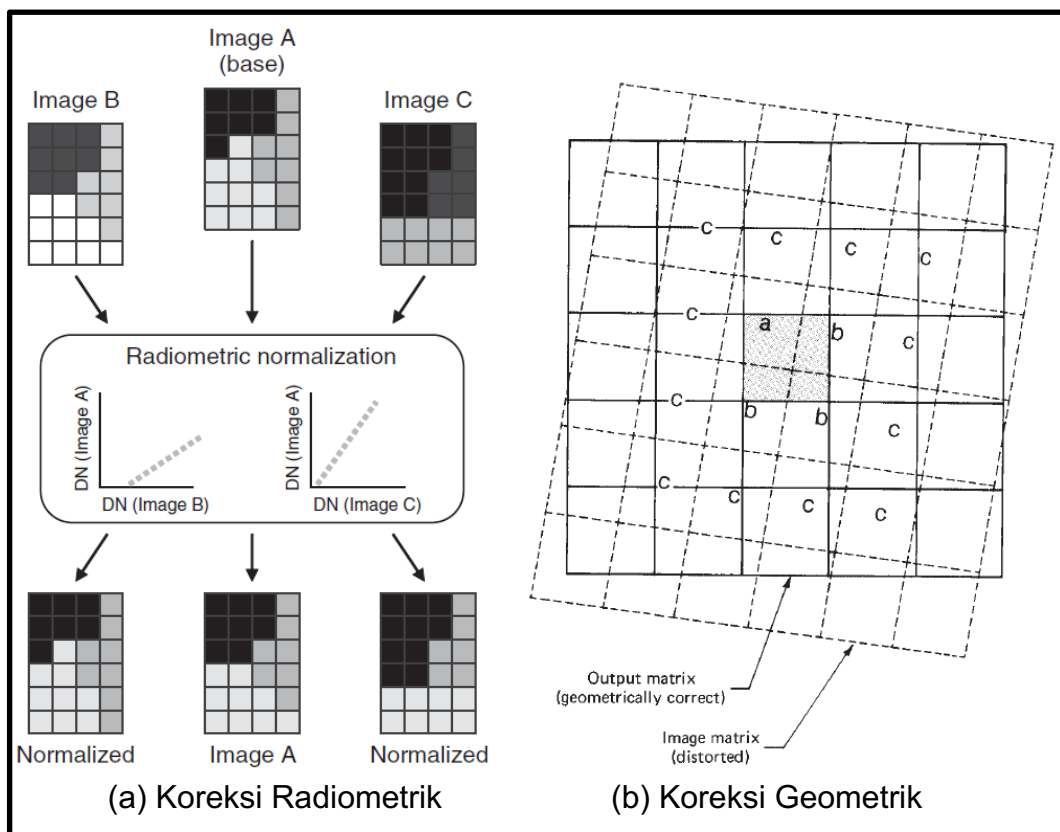
Gambar 2. 5. Nilai kecerahan dalam piksel foto
 Sumber: Kairu (2014)

2.1.4.3. Pengolahan Data Citra Digital

Pengolahan data citra digital merupakan hal yang sangat mendasar untuk dapat mengekstraksi informasi dari perekaman gambar melalui sensor gambar. Saat ini berbagai sumber informasi juga dapat diperoleh dengan cepat, mudah dan murah serta dapat diolah lebih tajam

dengan menggunakan aplikasi yang kompatibel. Sumber-sumber ini dapat diperoleh dari sistem satelit komersial dan sumber daya bumi milik pemerintah, satelit meteorologi, data pemindai di udara, data kamera digital di udara, hingga data gambar yang dihasilkan oleh sistem pemindaian resolusi tinggi secara fotogrametri dan digitalisasi lainnya.

Ide pokok pengolahan data citra digital cukup sederhana. Satu atau lebih citra dimuat ke program komputer untuk melakukan perhitungan menggunakan persamaan dengan mengambil nilai piksel dari citra mentah sebagai masukan. Hasil keluaran berupa citra digital baru dengan nilai piksel hasil perhitungan dari penerapan persamaan yang diberlakukan pada citra tersebut. Hasil tampilan output dapat disajikan dalam format gambar atau menggunakan software tambahan dalam penyajiannya (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Dalam proses pengolahan data citra digital, dikenal proses koreksi radiometrik dan koreksi geometrik.



Gambar 2. 6. Proses Koreksi Radiometrik dan Koreksi Geometrik
 Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

Proses koreksi radiometrik diilustrasikan pada Gambar 2.6 (a) untuk sebuah basis gambar dan dua gambar sekunder yang menunjukkan variasi kecerahan karena kedua perubahan tutupan lahan dan faktor asing (kondisi atmosfer, pencahayaan matahari, atau perubahan kalibrasi sensor). Piksel pada gambar A berpola lebih terang dari piksel yang sesuai pada gambar dasar, mungkin karena kabut atmosfer. Sementara piksel pada gambar B secara keseluruhan lebih gelap karena sudut matahari yang lebih rendah. Setelah gambar dinormalisasi, nilai kecerahan lebih mendekati dari sisa perbedaan kecerahan apapun yang kemudian sesuai dengan perubahan tutupan lahan yang sebenarnya. Kegiatan pemrosesan data radiometrik lainnya melibatkan dalam banyak aplikasi kuantitatif data gambar digital seperti konversi angka digital (DN) menjadi pancaran nilai absolut (atau pantulan). Secara umum, perhitungan koreksi radiometrik ini menggunakan persamaan berikut.

$$L = G * DN + B$$

dimana,

L = pancaran spektral (di atas bandwidth spektral dari saluran band)

G = kemiringan dari fungsi kalibrasi (cakupan saluran)

DN = nilai angka digital terekam

B = perpotongan dari fungsi kalibrasi (pengimbang saluran)

Operasi ini memberikan bentuk yang tepat dari fungsi respons A-ke-D untuk sensor tertentu dan sangat penting dalam aplikasi di mana pengukuran pancaran absolut diperlukan. Misalnya, konversi ini diperlukan ketika perubahan dalam pantulan absolut objek yang terjadi diukur dari waktu ke waktu menggunakan sensor yang berbeda. Demikian pula, konversi semacam itu penting dalam pengembangan model matematika secara fisik menghubungkan pancaran citra atau data pantulan ke pengukuran tanah kuantitatif (misalnya pengukuran kualitas air).

Sedangkan proses koreksi geometrik diilustrasikan pada gambar 2.6 (b). Diagram ini menunjukkan secara geometris matriks keluaran sel yang benar (garis padat) ditumpangkan di atas aslinya, matriks terdistorsi dari piksel gambar (garis putus-putus). Setelah menghasilkan transformasi fungsi, proses yang disebut resampling digunakan untuk menentukan nilai piksel yang akan diisi matriks output dari matriks gambar asli. Secara umum, rumus matematika yang digunakan untuk menghitung koreksi geometrik dengan persamaan berikut.

$$x = f_1(X, Y) \quad y = f_2(X, Y)$$

dimana,

(x,y) = koordinat gambar terdistorsi (kolom, baris)

(X,Y)= koordinat peta koreksi

f_1, f_2 = fungsi transformasi

Untuk mengilustrasikan hal ini, pertimbangkan piksel keluaran yang diarsir ditunjukkan pada Gambar 2.6 (b). DN untuk piksel ini dapat ditetapkan hanya berdasarkan dari DN piksel terdekat dalam matriks input, dengan mengabaikan sedikit pengimbang. Sebagai contoh, DN dari piksel input berlabel a akan ditransfer ke piksel output yang diarsir. Pendekatan ini disebut resampling tetangga terdekat. Hal ini memberikan keuntungan dari kesederhanaan perhitungan dan menghindari keharusan untuk mengubah nilai asli piksel masukan. Namun, fitur dalam matriks keluaran dapat diimbangi secara spasial hingga setengah piksel.

2.1.5. Sensor Gambar

Secara umum, sensor gambar dikonfigurasi untuk mengkonversi gambar yang diambil menjadi sinyal gambar listrik dan menghasilkan data gambar. Secara khusus, sensor gambar diatur di bagian ujung poros dan mentransmisikan sinyal gambar listrik dari poros ke ujung proksimalnya dengan saluran transmisi listrik, seperti kabel, kabel dan/atau papan sirkuit

cetak fleksibel (Harald and Christin, 2020). Pada era digital saat ini, sensor yang biasa digunakan sebagai modul penangkap gambar terdiri dari dua jenis yaitu *Charge Coupled Device* (CCD) dan *Complimentary Metal-Oxide Semiconductor* (CMOS). Kedua sensor ini memiliki kriteria masing-masing sesuai dengan peruntukan pada tujuan fotorgafi.

Perlu diketahui bahwa sensor CCD atau CMOS dirancang untuk digunakan dalam aplikasi penginderaan jauh dan lebih sensitif terhadap variasi kecerahan yang datang dari bidang gambar ke kristal perak halida yang ada dalam film. Pada saat yang sama, responsnya linier. Selain itu, sensor elektronik dapat mengukur pada rentang dinamis yang jauh lebih luas dari nilai kecerahan pengambilan daripada yang bisa disimpan (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Jadi, banyak keuntungan dari fotografi digital dibandingkan dengan metode analog dimulai dari peningkatan sensitivitas, linieritas, dan rentang dinamis pengambilan data gambar. Sensor gambar CCD dan CMOS bersifat monokromatik, namun untuk mendapatkan data penuh warna maka setiap *photosites* dari array sensor biasanya ditutupi dengan filter warna biru, hijau, atau merah. Biasanya, *photosites* berbentuk bujur sangkar dengan warna biru, hijau, dan merah yang diatur berselang-seling dalam pola Bayer seperti pada gambar 2.7. Setengah dari filter dalam ini polanya hijau, sisanya berwarna biru atau merah, dalam jumlah yang sama.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G | B | G | B | G | B | G | B | G | B |
| R | G | R | G | R | G | R | G | R | G |
| G | B | G | B | G | B | G | B | G | B |
| R | G | R | G | R | G | R | G | R | G |
| G | B | G | B | G | B | G | B | G | B |
| R | G | R | G | R | G | R | G | R | G |
| G | B | G | B | G | B | G | B | G | B |
| R | G | R | G | R | G | R | G | R | G |
| G | B | G | B | G | B | G | B | G | B |
| R | G | R | G | R | G | R | G | R | G |

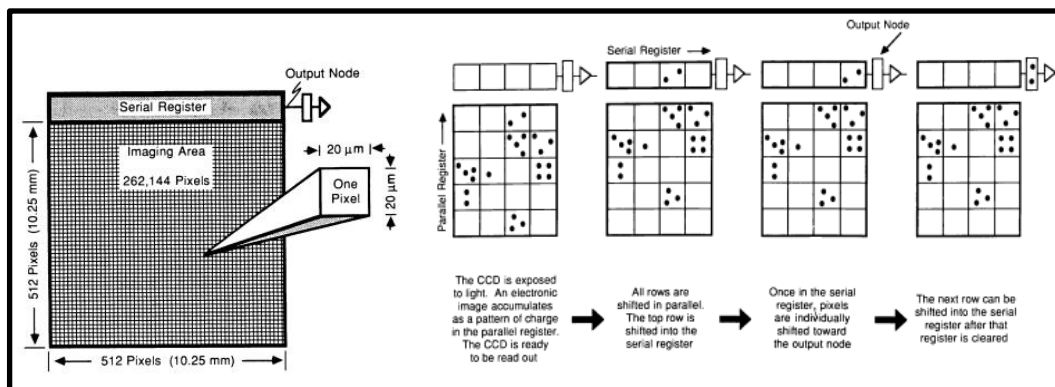
Gambar 2. 7. Pola Bayern Sensor Gambar CCD dan CMOS

Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

2.1.5.1. CCD

CCD merupakan salah satu perkembangan besar di era digital. Konseptualnya sangat sederhana, yaitu menggunakan jumlah muatan listrik untuk mewakili kuantitas analog seperti intensitas cahaya dan sampel pada waktu tertentu. Fungsi memori berasal dari pergeseran muatan yang secara bersamaan ke bagian bawah deretan sel. Oleh karena itu, CCD adalah perangkat waktu diskrit, yaitu sebuah kontinuitas atau analog, serta sinyal sampel pada waktu diskrit.

Cara kerja CCD memanfaatkan dioda-dioda sensitif cahaya yang mengubah cahaya berbentuk foton menjadi bentuk elektron bermuatan listrik (Qasthari, 2017). Proses kerja CCD diilustrasikan pada gambar 2.8., dimana muatan listrik dipendam pada berbagai saluran dalam silikon yang kemudian ditransfer ke tiap kolom grid CCD untuk dapat didigitasi oleh perangkat analog ke *digital/analog to digital converter* (ADC).



Gambar 2. 8. Grid dan Proses Kerja CCD

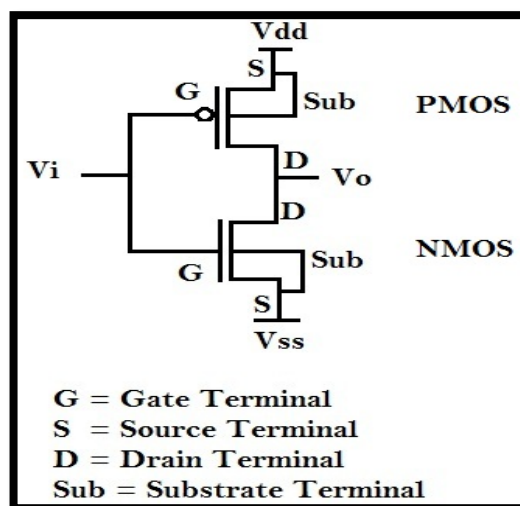
Sumber: Qasthari (2017)

Sebagai sensor gambar CCD umumnya memiliki susunan sel untuk menangkap gambar cahaya dengan efek fotolistrik. Paket-paket muatan awalnya tidak diubah menjadi sinyal listrik, melainkan dipindahkan dari sel ke sel oleh *coupling* dan *decoupling* sumur potensial (*potential well*) dalam semikonduktor yang membentuk CCD. Di akhir baris, muatan, dari semua elemen gambar (piksel), dapat diubah menjadi sinyal listrik. Idenya di sini adalah memiliki jumlah yang besar (mungkin jutaan) sel

penginderaan untuk mencapai resolusi yang baik, tetapi sejumlah kecil (mungkin satu) sel pembacaan untuk lebih mudah dalam penggunaan dan penyimpanan.

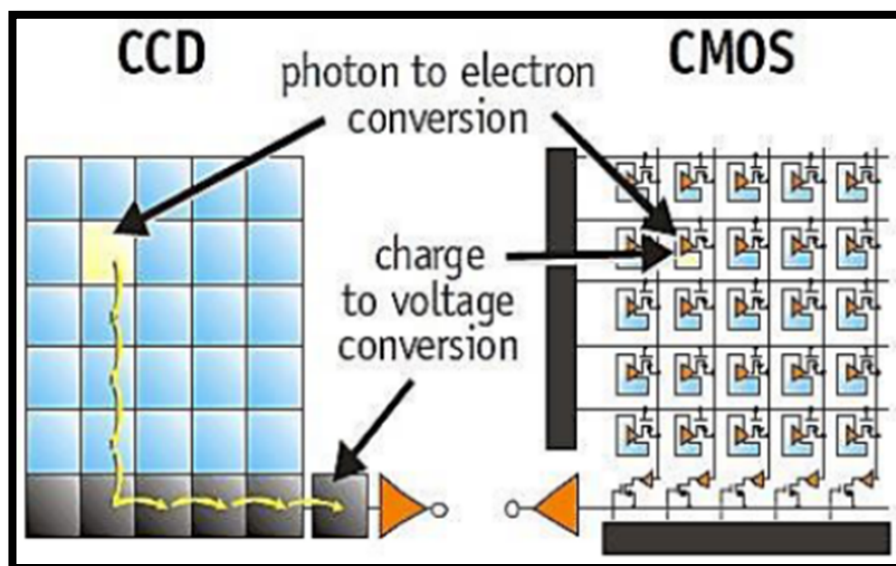
2.1.5.2. CMOS

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi CMOS telah membuat kemajuan luar biasa sehingga sirkuitnya telah mencapai kekuatan yang tak tertandingi dalam kombinasi dengan kecepatan dan kompleksitas yang tinggi. Inverter CMOS menggunakan transistor NMOS dan PMOS secara seri dengan kedua gerbang yang terhubung bersama pada input, seperti yang terlihat pada gambar 2.9. (Zimmer, 2014). Transistor PMOS bertindak sebagai beban aktif dan pengoperasiannya memiliki manfaat yang cukup besar dari teknologi CMOS. Ketika input terhubung ke daya rendah, transistor NMOS ditutup dan PMOS dibuka. Hal ini terjadi karena gerbangnya memiliki tegangan negatif yang terkait dengan sumber dan langsung terhubung ke tegangan suplai positif. Oleh karena itu, keluaran dayanya tinggi. Dengan daya tinggi pada input, transistor NMOS dihidupkan dan transistor PMOS ditutup. Operasi *pull-up* dan *pull-down* aktif ini menyebabkan simetri total untuk karakteristik transfer, yang dapat dibangun dari karakteristik transistor.



Gambar 2. 9. Skema Diagram Inverter CMOS
Sumber: Zimmer (2014)

Sensor gambar CMOS dapat segera mengubah muatan kubus ke tegangan sebelum keluar dari setiap piksel. Sensor CMOS modern juga menyertakan penguat untuk setiap piksel. Setelah amplifikasi, output tegangan piksel adalah ditransfer melalui kawat mikro pada output dari kepingan. Sensor CMOS terdiri dari beberapa komponen sirkuit campuran yang memuat array piksel, prosesor sinyal analog, konverter analog-ke-digital, generator polarisasi, generator waktu, logika digital dan memori Hosny, 2017). Jika dibandingkan dengan CCD, sirkuit pada CMOS dapat segera melakukan konversi gambar menggunakan tegangan listrik yang tertanam di tiap piksel seperti pada gambar 2.10. Pada dasarnya, menyematkan teknologi CMOS ke dalam sensor merupakan solusi tanpa meningkatkan biaya yang dapat menawarkan nilai tinggi ke pengembang kamera (Gove, 2020).



Gambar 2. 10. Perbedaan Cara Kerja CCD dan CMOS
Sumber: Hosny (2017)

Perbandingan secara keseluruhan, sensor CCD digunakan untuk menangkap gambar berkualitas tinggi karena menghasilkan gambar dengan sedikit noise. Disamping itu, sensor CCD memiliki keunggulan lain dari sensor CMOS yang diantaranya ukuran piksel lebih kecil, tingkat sensitivitas yang lebih tinggi, dan faktor pengisian arus secara penuh

(Mehta and Patel, 2015). Sedangkan sensor CMOS digunakan untuk merekam gambar dengan tingkat kecepatan yang lebih tinggi. Keuntungan lain dari sensor CMOS adalah penggunaan daya yang rendah, persediaan daya tunggal, kemampuan integrasi yang tinggi, pembiayaan yang lebih rendah, dan kemampuan akses secara acak yang lebih cepat (Bigas, Cabruja, Forest, Salvi 2005).

2.1.6. Pemotretan Udara

Sejak tahun 1840, Arago, Direktur Observatorium Paris, menganjurkan penggunaan fotografi untuk survei topografi. Foto udara pertama yang diambil pada tahun 1858, dilakukan oleh seorang fotografer Paris bernama Gaspard-félix Tournachon. Dikenal sebagai "Nadar", dia menggunakan balon udara untuk mendapatkan foto di atas kota Val de Bièvre, dekat Paris. Sejak itu, fenomena survei udara kian berkembang hingga memasuki dunia digital yang semakin dipermudah dengan penggunaan kamera udara digital dalam pengambilan datanya.

Kamera udara digital memiliki berbagai ukuran dan bentuk. Dimensi format lintas-jalur dan sepanjang-jalur dari sensor kamera digital ditentukan oleh jumlah dan ukuran fisik piksel yang ada di setiap arah larik sensor. Lintasan dimensi dapat ditemukan dari persamaan:

$$d_{xt} = n_{xt} \times P_d$$

dimana,

d_{xt} = dimensi lintas-track dari array sensor

n_{xt} = jumlah piksel yang ada dalam arah lintas jalur

P_d = dimensi fisik setiap piksel

Kamera udara digital yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kamera udara digital format besar milik Dissurpotrudau, Leica DMC III. Kamera DMC III ini menggunakan sensor gambar CMOS ekstra besar dengan kemampuan tangkap gambar berdimensi 26112 x 15000

piksel (391 MP) untuk citra pankromatik dan ukuran piksel sebesar 3,9 μ m (Mueller and Neumann, 2016). Menurut klaim dari pihak produsen kamera DMC III, Leica Geosystem, kamera ini merupakan kamera digital format besar pertama yang menggunakan sensor CMOS sebagai sensor penangkap gambar untuk menghasilkan tampilan detail yang sangat tajam setelah proses *zooming* (pembesaran gambar), sehingga mudah untuk interpretasi objek. Contoh hasil gambar dapat dilihat pada lembar lampiran 3.

Dalam pengambilan data foto udara, terdapat teknik pengambilan data yang dibagi menjadi dua metode yaitu teknik pemotretan udara miring (*oblique*) dan teknik pemotretan udara vertikal. Kedua teknik ini memiliki peran dan fungsi masing-masing sesuai dengan keperluannya.

2.1.6.1. Pemotretan Udara Miring (*Oblique*)

Dalam buku petunjuk teknis TNI AU Nomor Perkasau/31/IV/2012 tentang Pemotretan Udara *Oblique* Digital menyebutkan bahwa pemotretan udara *oblique* adalah kegiatan perekaman dari udara menggunakan kamera udara dengan sumbu pengambilan yang terarah antara vertikal dan horizontal (tidak tegak lurus terhadap bumi). Sesuai dengan pengertian *oblique* atau miring, kegiatan pemotretan udara ini bertujuan untuk memperoleh data tambahan dalam perekaman data permukaan bumi secara vertikal.

Penggunaan foto udara miring memiliki perkembangan yang meningkat pesat dalam berbagai aplikasi seperti pemetaan perkotaan dan penilaian bencana. Dengan karakter "tampilan samping", foto miring menghasilkan tampilan perspektif yang lebih alami dibandingkan dengan tampilan perspektif foto udara vertikal (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Hal ini dapat memudahkan proses interpretasi gambar (terutama untuk individu yang memiliki pelatihan atau pengalaman terbatas dalam

interpretasi gambar), seperti yang terlihat pada gambar 2.11. Secara proses fotogrametris, foto udara miring tidak dapat dihitung dengan sempurna karena adanya pengaruh sudut pengambilan gambar dan memiliki skala yang tidak seragam.



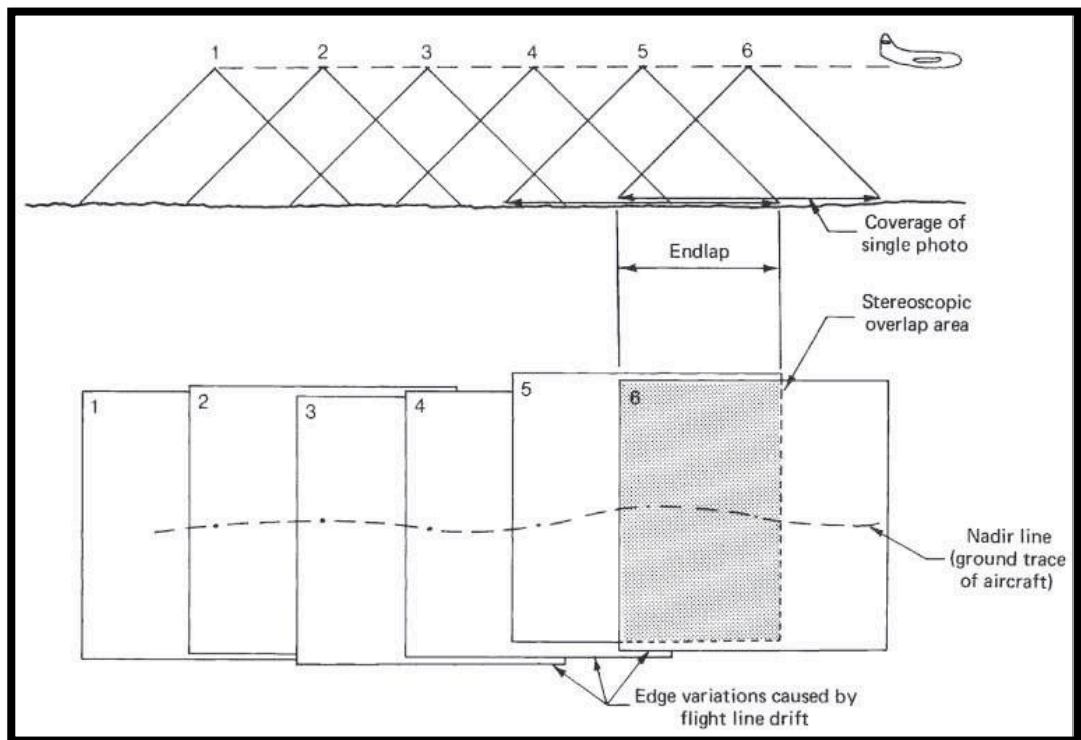
Gambar 2. 11. Contoh Foto Udara Miring
Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

2.1.6.2. Pemotretan Udara Vertikal

Dalam buku petunjuk teknis TNI AU Nomor Perkasau/49/VI/2012 tentang Pemotretan Udara Vertikal Digital menyebutkan bahwa pemotretan udara vertikal digital adalah kegiatan perekaman dari udara dengan menggunakan kamera udara digital yang dipasang pada pesawat udara di mana sumbu lensa kamera tegak lurus terhadap permukaan bumi. Tujuan dari teknik pemotretan ini digunakan dalam bidang pemetaan (pembuatan peta) sesuai dengan kaidah pemetaan yang berlaku.

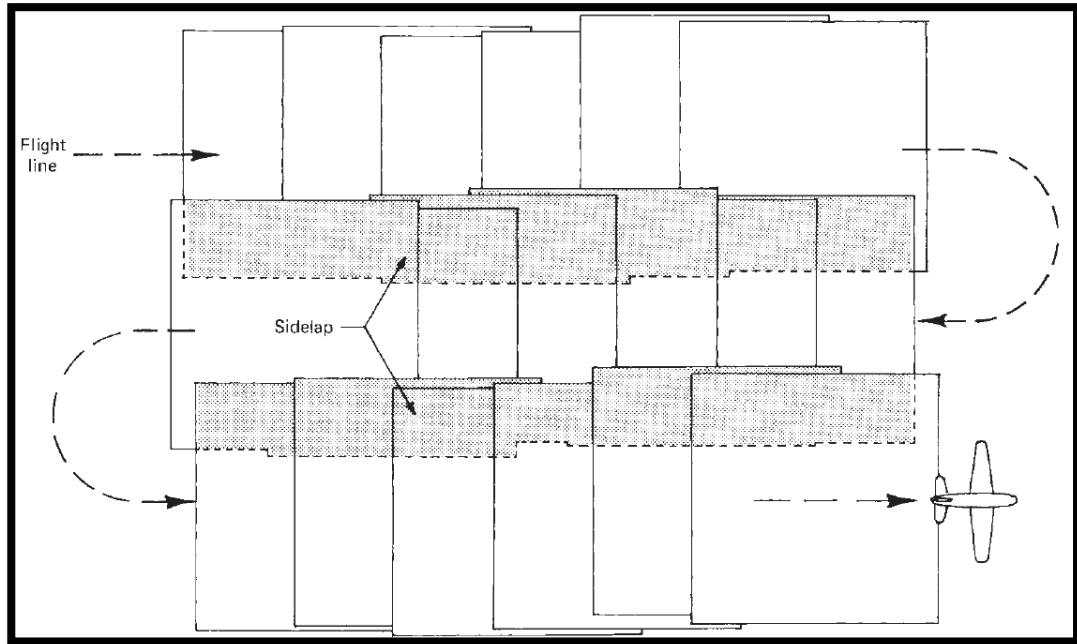
Sebagian besar foto udara vertikal diambil dengan bingkai kamera di sepanjang jalur penerbangan, atau strip penerbangan. Garis

yang diikuti di tanah secara langsung berada di bawah pesawat selama perolehan fotografi, yang disebut garis nadir. Garis ini menghubungkan pusat gambar dari foto-foto vertikal (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Gambar 2. 12. mengilustrasikan karakter khas dari cakupan fotografi sepanjang jalur penerbangan. Foto-foto yang berurutan umumnya diambil dengan cakupan total minimal 50% tiap foto (*endlap*) sepanjang jalur penerbangan.



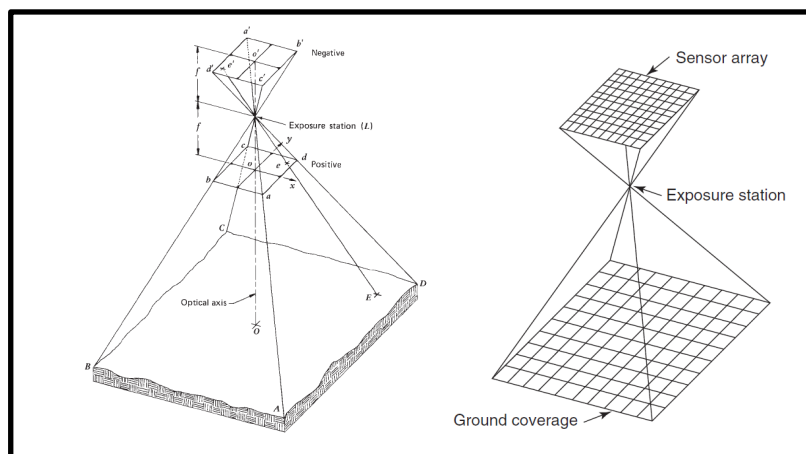
Gambar 2. 12. Ilustrasi Pemotretan Udara Vertikal antar Foto
 Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

Mengingat luasnya area yang diambil dalam kegiatan pemotretan, maka pengambilan foto dibuat dalam beberapa jalur penerbangan di atas area untuk mendapatkan cakupan stereoskopik yang lengkap. Gambar 2. 13. mengilustrasikan strip yang berdekatan dilakukan pemotretan. Pada penerbangan berturut-turut di atas area tersebut, jalur yang berdekatan memiliki *sidelap* sekitar 30%. Beberapa strip terdiri dari blok foto-foto.



Gambar 2. 13. Ilustrasi Pemotretan Udara Vertikal antar Blok
 Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

Perhitungan koordinat foto xy suatu titik adalah jarak tegak lurus dari xy sumbu koordinat. Titik di sebelah kanan sumbu y memiliki koordinat x positif dan titik ke kiri memiliki koordinat x negatif. Demikian pula, titik-titik di atas sumbu x memiliki koordinat y positif dan yang di bawah ini memiliki koordinat y negatif seperti pada Gambar 2. 14.



Gambar 2. 14. Elemen Dasar Geometri Pemotretan Udara Vertikal Digital

Sumber: Lillesand, Kiefer and Chipman (2015)

2.1.7. Fotogrametri

Fotogrametri adalah ilmu dan teknologi untuk mendapatkan pengukuran spasial dan produk turunan geometris lainnya yang dapat diandalkan dari foto (Lillesand, Kiefer and Chipman, 2015). Secara historis, analisis fotogrametri melibatkan penggunaan produk fotografi *hardcopy* seperti cetakan kertas atau transparansi film. Saat ini, sebagian besar prosedur fotogrametri melibatkan penggunaan produk data fotografi digital, atau *softcopy*. Dalam kasus tertentu, produk digital ini mungkin dihasilkan dari pemindaian *hardcopy* resolusi tinggi foto-foto (misalnya, foto-foto sejarah). Namun, yang luar biasa sebagian besar foto digital digunakan dalam aplikasi fotogrametri modern datang langsung dari kamera digital. Faktanya, pemrosesan fotogrametri digital data kamera sering dicapai dalam penerbangan seperti ortofoto digital, digital model elevasi (DEM), dan produk data SIG lainnya tersedia segera setelah atau bahkan selama misi fotografi udara.

Proses fotogrametri ini memiliki delapan aspek dasar yang harus diperhitungkan, menurut Mikhail et al (2001), diantaranya sebagai berikut:

- a. Menentukan skala foto vertikal dan memperkirakan horizontal jarak tanah dari pengukuran yang dilakukan secara vertikal foto. Skala sebuah foto mengungkapkan hubungan matematis antara jarak yang diukur pada foto dan yang sesuai jarak horizontal diukur dalam sistem koordinat tanah. Adapun formula yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$Scale = \frac{\text{camera focal length } (f)}{\text{flying height above terrain } (H)} = \frac{f}{H}$$

- b. Menggunakan pengukuran area yang dibuat pada foto vertikal untuk menentukan luas ekivalen dalam sistem koordinat bumi. Area dasar dari fitur berbentuk yang tidak beraturan ditentukan dengan mengukur area fitur pada foto. Area foto kemudian dikonversi dengan persamaan:

$$Ground\ area = photo\ area \times \frac{1}{(Scale)^2}$$

- c. Mengukur efek perpindahan relief pada foto udara vertikal. Gambar bagian atas objek yang muncul dalam sebuah foto dipindahkan dari gambar dasarnya dengan persamaan:

$$relief\ displacement = \frac{rh}{H}$$

dimana,

r = jarak radial pada foto dari titik utama ke titik gambar yang dipindahkan

h = ketinggian di atas datum titik objek

H = ketinggian terbang di atas datum acuan

- d. Menentukan ketinggian benda dari pengukuran perpindahan relief. Besarnya nilai perpindahan relief tergantung pada ketinggian terbang, jarak dari foto titik utama ke fitur, dan ketinggian fitur.
- e. Menentukan ketinggian objek dan ketinggian medan dengan mengukur gambar paralaks. Posisi relatif fitur dari foto ke foto yang terletak lebih dekat ke kamera (pada yang lebih tinggi elevasi) akan lebih banyak berubah daripada posisi fitur jauh dari kamera (pada ketinggian yang lebih rendah). Perubahan ini disebut paralaks dan dapat diukur pada foto yang tumpang tindih untuk menentukan ketinggian objek dan elevasi medan.
- f. Menentukan elemen orientasi eksterior foto udara. Penggunaan foto udara untuk pemetaan tujuan fotogrametri tujuan, perlu menentukan enam parameter independen yang menggambarkan posisi dan orientasi sudut setiap foto relatif terhadap asal dan orientasi sistem koordinat tanah yang digunakan untuk pemetaan.
- g. Produksi peta, DEM, dan ortofoto. Pemetaan dari foto udara dapat mengambil banyak bentuk. Secara historis, peta topografi diproduksi

menggunakan *hardcopy stereopairs* ditempatkan di perangkat yang disebut *stereoplotter*.

- h. Mempersiapkan rencana penerbangan untuk memperoleh fotografi udara vertikal.

2.1.8. Geographic Information System (Geospatial Analysis)

Geographic information system (GIS) atau dalam bahasa Indonesia disebut Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem komputer yang dipergunakan untuk merekam, menyimpan, memeriksa, dan menyajikan data terkait dengan posisi suatu objek di permukaan bumi. SIG dapat menampilkan berbagai jenis data pada satu lembar peta, seperti jalan, bangunan, dan vegetasi. Hal ini memungkinkan pengguna untuk lebih mudah dalam melihat, menganalisis, dan memahami pola serta hubungannya. Dengan memanfaatkan teknologi SIG, pengguna dapat membandingkan lokasi dari berbagai hal untuk menemukan keterkaitan antara satu atribut dengan atribut lainnya. Sebagai contoh penggunaan SIG, dalam satu peta dapat mencakup pabrik yang menghasilkan polusi dan lahan atau sungai yang terkena dampak polusi. Peta seperti di atas akan membantu pengguna menentukan tempat persediaan air paling berisiko.

Salah satu fungsi analisis dari SIG ialah *geospatial analysis*. Fungsi modul dari aplikasi SIG, *geospatial analysis* dapat mengumpulkan, memanipulasi, dan menampilkan data dan citra dari SIG termasuk GPS dan foto satelit. Analisis data geospasial bergantung pada koordinat geografis dan pengidentifikasi khusus seperti alamat jalan dan kode pos. Pengidentifikasi ini digunakan untuk membuat model geografis dan visualisasi data dalam pemodelan dan prediksi tren yang lebih akurat. *Geospatial analysis* dapat menambahkan waktu dan lokasi ke jenis data tradisional, dan konteks tambahan ini memungkinkan gambaran peristiwa yang lebih lengkap. Wawasan yang mungkin hilang dalam lembar kerja

besar terungkap dalam pola dan gambar visual yang mudah dikenali. Dari kemampuan ini, pengguna dapat menjelajahi data lintas waktu dan ruang untuk melihat secara instan bagaimana sesuatu telah berubah dari hari ke tahun.

2.2. Hasil Penelitian Terdahulu

Dalam suatu penelitian, tidak terlepas dari bentuk penelitian sebelumnya yang pernah dilaksanakan oleh peneliti lain. Mengetahui sejumlah penelitian sebelumnya dapat menjadi dasar pada penelitian berikutnya dan memberikan perbedaan dari masing-masing penelitian. Dalam tabel 2.1. mencantumkan beberapa daftar penelitian sebelumnya mengenai teknologi sensor CMOS dan penerapannya. Tiga penelitian teratas pada tabel 2.1. merupakan penelitian yang menjadi inspirasi bagi peneliti dalam menyelesaikan pertanyaan penelitian pada penyusunan tesis kali ini. Dua penelitian teratas pada tabel 2.1. melakukan percobaan perbandingan sensor CCD dan CMOS dengan membandingkan hasil tangkapan gambar dari dua jenis kamera digital yang memiliki sensor yang berbeda, yaitu sensor CCD dan sensor CMOS. Dari kedua penelitian ini diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa tangkapan gambar dengan sensor CCD lebih menyerupai kondisi aslinya daripada sensor CMOS. Namun, tidak menutup kemungkinan pada perkembangan teknologi selanjutnya akan didapatkan kemampuan sensor CMOS yang menyamai kemampuan dari sensor CCD. Apabila hal ini masih belum tercapai, kemungkinan terbesar dari kedua sensor ini akan saling melengkapi dan bukan saling menyaingi. Pada penelitian ketiga, hasil penelitiannya menemukan cara identifikasi pohon berdasarkan perubahan tutupan lahan. Oleh karena itu, peneliti mencoba melakukan perhitungan perubahan tata guna lahan dari penelitian tersebut namun dengan menggunakan analisa dari aplikasi ArcGIS.

Tabel 2. 1. Hasil Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti, Tahun, Judul | Tujuan Penelitian | Ringkasan Penelitian | |
|----|---|---|---|---|
| | | | Persamaan | Perbedaan |
| 1. | Sanket Mehta, Arpita Patel, Jagrat Mehta (2015). CCD or CMOS Image Sensor For Photography. IEEE ICCSP 2015 conference | Melakukan perbandingan sensor CCD dan CMOS | Penggunaan CMOS untuk fotografi dalam penelitian | Penggunaan sensor untuk kamera digital secara umum |
| 2. | Kamaljeet Kainth, Baljeet Singh (2020). Analysis of CCD and CMOS Sensor Based Images from Technical and Photographic Aspects International Conference of Advance Research and Innovation (ICARI-2020) | Menganalisa perbedaan sensor CCD dan CMOS dari perekaman gambar berdasarkan aspek teknik dan fotografi. | Penggunaan CMOS untuk fotografi dalam penelitian | Penggunaan sensor untuk kamera digital secara umum |
| 3. | Xiangshu Xi, Kai Xia, Yinhui Yang, Xiaochen Du, Hailin Feng 2021. Evaluation of dimensionality reduction methods for individual tree crown delineation using instance | Melakukan proses klasifikasi tinggi pohon pada hutan berdasarkan komposit warna menggunakan fitur BlendMask dan | Melakukan segmentasi objek dengan menggunakan data citra dalam menentukan perubahan tutupan | Metode yang digunakan untuk melakukan komposit warna pada objek dalam data citra. |

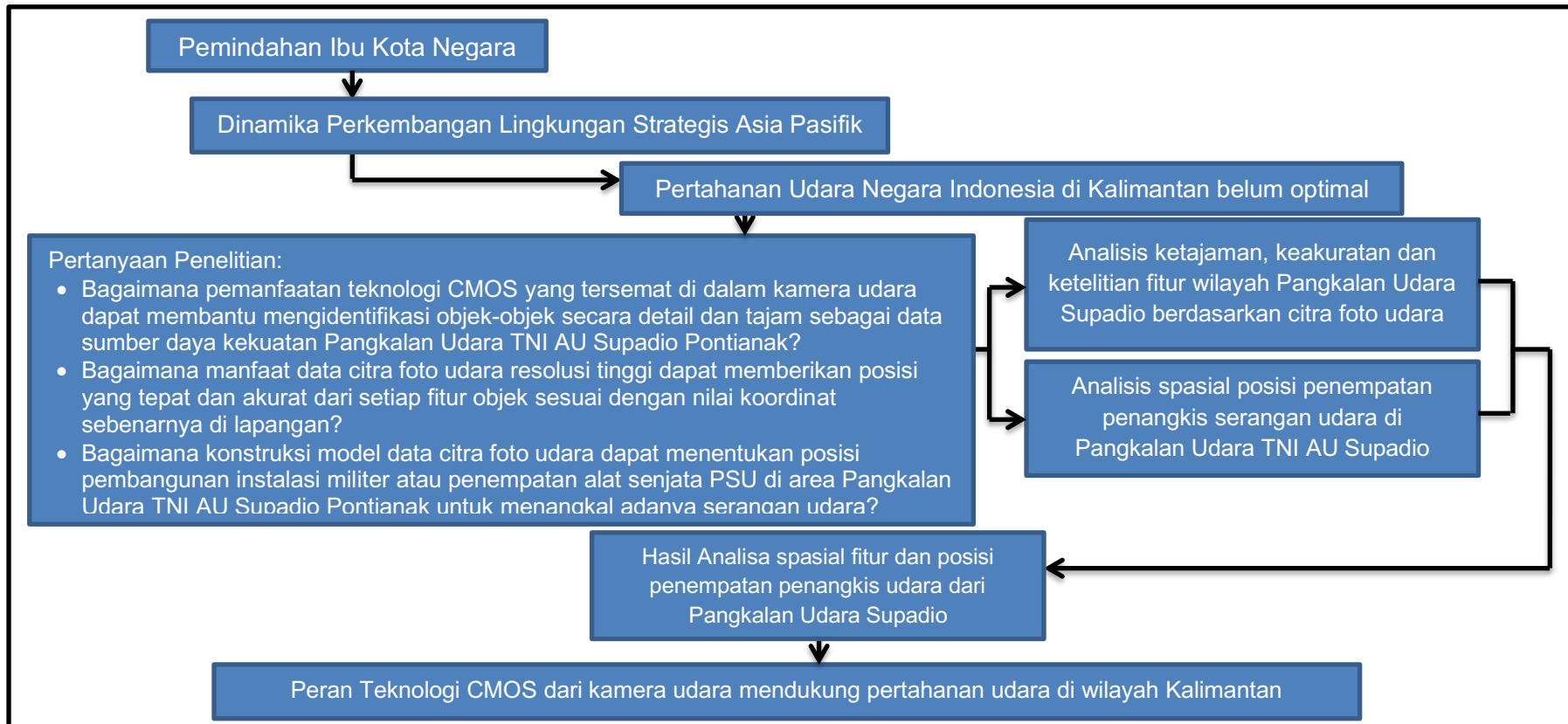
| No | Peneliti, Tahun, Judul | Tujuan Penelitian | Ringkasan Penelitian | |
|----|---|---|---|--|
| | | | Persamaan | Perbedaan |
| | segmentation network and UAV multispectral imagery in urban forest. Computers and Electronics in Agriculture | Mask R-CNN | lahan. | |
| 4. | M.V.V.RadhaKrishna, M.Venkata Govindh, P. Krishna Veni (2020). A Review on Image Processing Sensor Journal of Physics: Conference Series, CONSILIO 2020 | Melakukan analisis perbandingan proses penyimpanan gambar dari CCD dan CMOS | Penggunaan sensor CMOS dalam penyimpanan gambar | Membahas tentang arsitektur CMOS secara fisik sampai dengan menyimpan suatu gambar hingga penerapannya ke dalam bidang medis |
| 5. | Oghy Octori, Agung Budi Cahyono (2015). Foto Udara Menggunakan Wahana UAV Jenis Fix Wing DOI:10.12962/j24423998.v11i1.1092 | Melakukan proses pemetaan menggunakan wahana UAV fix wing | Hasil yang diperoleh berupa foto udara dengan menggunakan kamera digital bersensor CMOS | Kamera digital yang digunakan dalam penelitian merupakan kamera digital non metrik. |
| 6. | Defry Mulia, Hepi Hapsari (2014). Studi Fotogramteri Jarak Dekat (Close Range Photogrammetry) dalam | Melakukan proses pemetaan dengan metode fotogrametri hingga mendapatkan | Hasil diperoleh berupa data citra foto udara | Kamera digital yang digunakan merupakan kamera non metrik |

| No | Peneliti, Tahun, Judul | Tujuan Penelitian | Ringkasan Penelitian | |
|----|---|--|--|--|
| | | | Persamaan | Perbedaan |
| | Penentuan Volume Suatu Objek. Jurnal Teknik Pomits Vol.X No.X (2014) | hasil kontur permukaan tanah | | |
| 7. | M.F.A. Vogels, S.M. de jong, G. Sterk, E.A. Addink (2017). Agricultural cropland mapping using black-and-white aerial photography, Object-Based Image Analysis and Random Forests International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation | Melakukan klasifikasi objek dalam citra menggunakan algoritma Random-Forest | Melakukan proses segmentasi objek dari data | Data yang digunakan berupa citra satelit WorldView 1 dengan resolusi spasial 0,5m. |
| 8. | G.W. Staben, A. Lucieer, K.G. Evans, P. Scarth, G.D. Cook (2016). Obtaining biophysical measurements of woody vegetation from high resolution digital aerial photography in tropical and arid environments: Northern Territory, Australia | Melakukan analisa fisis dari kondisi hutan berdasarkan analisis citra berbasis objek dan membandingkan hasil perhitungan data dari GSD yang berbeda. | Melakukan analisis objek pada data citra menggunakan kamera udara digital format besar | Instrumen, lokasi, dan proses fotogrametris yang berbeda sesuai dengan instrumen yang digunakan dalam penelitian |

| No | Peneliti, Tahun, Judul | Tujuan Penelitian | Ringkasan Penelitian | |
|-----|---|---|---|--|
| | | | Persamaan | Perbedaan |
| | International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation | | | |
| 9. | Rykker Evers, Peter Masters (2018). The Application Of Low-Altitude Near-Infrared Aerial Photography For Detecting Clandestine Burials Using A Uav And Low-Cost Unmodified Digital Camera. Forensic Science International | Melakukan pemrosesan citra foto dengan mengubah kontras skala abu-abu dengan algoritma yang tersedia serta menerapkan filter pada gambar untuk mendapatkan tingkat pantulan yang dapat dikalkulasi. | Melakukan proses data citra untuk mendapatkan hasil citra yang tajam tanpa menghilangkan informasi yang terkandung di dalam data citra. | Menggunakan kamera digital non metrik dengan kemampuan daya tangkap gambar yang berbeda. |
| 10. | González, A., Pérez, J. C., Muñoz, J., Méndez, Z., & Armas, M. (2012). Watershed image segmentation and cloud classification from multispectral MSG–SEVIRI imagery. Advances in Space Research | Melakukan proses klasifikasi awan dan badan air dengan menggunakan algoritma berdasarkan pantulan cahaya yang ditangkap oleh sensor satelit | Melakukan segmentasi objek dari citra menggunakan object segemntation based methods | Data yang digunakan dalam penelitian berupa data citra satelit multispektral |

2.3. Kerangka Berpikir

Sesuai landasan teori dan daftar penelitian terdahulu di atas, peneliti menyusun kerangka pemikiran (Gambar 2.9) sebagai prosedur penyusunan metode penelitian dan kerangka kerja.



Gambar 2. 15. Kerangka Berpikir