

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lahan sangatlah penting untuk keberlangsungan kehidupan manusia. Lahan merupakan suatu daerah di permukaan bumi dengan sifat-sifat tertentu yang meliputi biosfer, atmosfer, tanah, lapisan geologi, hidrologi, populasi tanaman dan hewan serta hasil kegiatan manusia masa lalu dan sekarang, sampai pada tingkat tertentu dengan sifat-sifat tersebut mempunyai pengaruh berarti terhadap fungsi lahan oleh manusia pada masa sekarang dan masa yang akan datang (*Food and Agriculture Organization (FAO)*, dalam sitorus, 2004). Menurut Purwowidodo (1983) lahan memiliki arti suatu lingkungan fisik yang mencakup iklim, relief, hidrologi, tumbuhan yang sampai pada batas tertentu akan mempengaruhi kemampuan penggunaan lahan. Berdasarkan dari pengertian tersebut lahan dapat diartikan lingkungan fisik dengan berbagai ciri, kemampuan maupun sifatnya beserta segala sesuatu yang ada di atasnya termasuk di dalamnya kegiatan pemanfaatan lahan. Pemanfaatan lahan atau penggunaan lahan merupakan segala bentuk tutupan tanah yang dalam pembentukannya terdapat campur tangan dari manusia. Lahan banyak memiliki fungsi, sehingga manusia dapat memanfaatkannya untuk meningkatkan kualitas hidupnya. Fungsi utama lahan bagi manusia yaitu untuk tempat tinggal. Selain itu, lahan juga digunakan untuk berbagai kegiatan dalam menunjang keberlangsungan kehidupan. Tentu saja harus dengan mempertimbangkan ciri dan kemampuan lahan.

Perubahan penggunaan lahan merupakan fenomena dinamis berdasarkan ruang dan waktu. Pemicu terjadinya penggunaan lahan sangat beragam begitu pula dengan dampak yang ditimbulkan. Salah satu pemicu perubahan lahan yaitu bertambahnya jumlah penduduk yang akan meningkatkan kebutuhan lahan. Kabupaten Sleman secara administrasi berbatasan dengan Kota Yogyakarta. Tahun 1980-an yang diawali dengan pembangunan perumahan dan jalan lingkar

serta pembangunan kampus-kampus yang berbatasan dengan Kabupaten Sleman. Pertumbuhan penduduk yang meningkat berpengaruh pada kebutuhan manusia seperti kebutuhan akan penggunaan lahan. Selain itu, juga berpengaruh terhadap jumlah penduduk. Terbukti pada tahun 1995 hingga tahun 2015 menunjukkan peningkatan jumlah penduduk (Badan Pusat Statistik (BPS), Kabupaten Sleman Dalam Angka). Peningkatan jumlah penduduk berpengaruh terhadap perubahan penggunaan lahan. Luasan lahan tidak dapat ditambah namun dapat dialih fungsikan sesuai dengan kebutuhan manusia.

Pemanfaatan lahan berarti memanfaatkan sumber daya alam berupa lahan. Walaupun banyak pemicu dalam perubahan penggunaan lahan, namun ada juga dampak yang ditimbulkan. Perlu adanya konsep pembangunan yang berkelanjutan agar pemanfaatan lahan lebih terarah dan tidak semata hanya mengutamakan kebutuhan. Dimaksudkan dalam setiap pembangunan memperhatikan dampak lingkungan. Berdasarkan implemetasi dari UU No.23/1997 tentang prinsip-prinsip pengelolaan sumber daya alam mendefinisikan 3 (tiga) konsep utama dalam berkelanjutan, yaitu: kondisi SDA, kualitas lingkungan dan faktor demografi. Sehingga dalam melakukan pemanfaatan lahan juga harus berdasarkan prinsip tersebut.

Pemodelan merupakan salah satu cara untuk menganalisis fenomena dunia nyata. Model pada dasarnya adalah penyederhanaan dari objek yang nyata. Dengan pemodelan perubahan penggunaan lahan maka dapat dipantau perubahannya secara spasial atau keruangan. Luasan menjadi hal penting juga dalam analisis perubahan penggunaan lahan, dengan adanya pemodelan maka akan terlihat sejauh mana luasan yang di alih fungsikan. Pemodelan yang dilakukan dalam beberapa kurun waktu akan menyajikan informasi bagaimana pola perubahan penggunaan lahan. Pemodelan prediksi penggunaan lahan pada tahun yang akan datang juga sangat penting untuk pertimbangan pembangunan. Dimana pemodelan dilakukan dengan melihat pola laju pertumbuhan pembangunan pada tahun-tahun sebelumnya.

Cellular Automata-Markov merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi penggunaan lahan. Konsep *Callular*

Automata telah dikembangkan sejak tahun 1940-an dalam bidang komputer oleh Von Neumann dan Ulam. Keunggulan dari model ini yaitu dapat digunakan untuk mengaji suatu pola sederhana sehingga pola yang kompleks dengan prinsip yang sederhana (Singh, 2003 dalam Bowo, 2016). Model CA banyak diaplikasikan dalam ilmu kebumihutan, salah satunya adalah kajian perubahan penggunaan lahan. Sedangkan *Markov* merupakan konsep yang dikenalkan oleh ahli matematika Rusia Andrii A Markov. Konsep ini merupakan model sistematis yang didisain untuk menjelaskan probabilitas terjadinya suatu peristiwa ditentukan oleh peristiwa yang sebelumnya dapat digunakan untuk memprediksi peristiwa berikutnya. Kelebihan utama dari model ini adalah algoritmanya sederhana sehingga mudah diaplikasikan. Selain itu pemodelan ini juga dapat dilakukan validasi terhadap model yang dihasilkan. Sehingga dapat diketahui keakuratan prediksi penggunaan lahan yang dilakukan baik secara persebaran spasial maupun luasan Berdasarkan kelebihan tersebut, maka penelitian ini mencoba untuk menggunakan metode *Cellular Automata-Markov* untuk memprediksi penggunaan lahan di Kabupaten Sleman.

Pengendalian laju pertumbuhan penggunaan lahan sangat diperlukan agar keberlanjutan lingkungan dapat tetap terjaga. Salah satu acuan arahan pengendalian perubahan penggunaan lahan adalah dengan menggunakan metode *Cellular Automata-Markov* yaitu dengan mempelajari perubahan yang terjadi beberapa tahun sebelumnya. Selain itu, Kabupaten Sleman merupakan daerah dengan kerawanan bencana diantaranya lokasinya yang dekat dengan Gunung Merapi, gempa bumi, longsor dan kekeringan. Sehingga perlu adanya skenario pengendalian arah perubahan penggunaan lahan agar dapat terwujudnya keberlanjutan lingkungan dan meminimalisir kerugian apabila terjadi bencana.

Seiring berkembangnya teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis maka dapat dimanfaatkan dalam melakukan pemantauan perubahan penggunaan lahan. Penginderaan jauh menyediakan data spasial/keruangan dengan mudah, cepat, dan murah untuk melakukan pemodelan dan monitoring penggunaan lahan dengan metode *Cellular Automata-Markov*. Data penginderaan jauh yang digunakan adalah citra Landsat TM, Landsat ETM+, dan Landsat 8

OLO/TIRS. Citra tersebut merupakan salah satu data penginderaan jauh yang memiliki resolusi spasial menengah. Resolusi spasial citra landsat cocok untuk analisis penggunaan lahan skala menengah, selain itu citra landsat juga memiliki resolusi temporal 16 hari sehingga baik digunakan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan. Di sisi lain manfaat yang diperoleh dari citra landsat ini adalah murah, mudah, dan cepat diperoleh sehingga efisien untuk digunakan.

Sistem informasi geografis merupakan sistem informasi yang memiliki referensi geografi dan bersifat spasial. Terdapat dua bentuk data dalam SIG yaitu data spasial dan data atributnya. SIG mampu melakukan analisis yang dapat menghasilkan informasi baru. Kemampuan SIG dalam menghasilkan informasi baru dapat diaplikasikan dalam pembuatan peta prediksi penggunaan lahan. Kelebihan pengolahan menggunakan SIG adalah data spasial dapat diperoleh dengan lebih cepat dan lebih mudah selain itu penyajian data juga lebih menarik. Perpaduan antara penginderaan jauh dan Sistem Informasi geografis akan memudahkan dalam melakukan prediksi penggunaan lahan menggunakan metode *Cellular Automata-Markov* di Kabupaten Sleman.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang permasalahan di atas, maka penelitian ini diharapkan mampu menjawab pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut.

1. Bagaimana prediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2031 menggunakan metode *Cellular Automata-Markov* di Kabupaten Sleman.
2. Bagaimana perbandingan prediksi penggunaan lahan tahun 2031 dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) tahun 2011-2031 Kabupaten Sleman.
3. Bagaimana arah pengendalian perubahan penggunaan lahan terhadap kawasan rawan bencana.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan berikut.

1. Memprediksi perubahan penggunaan lahan tahun 2031 menggunakan metode *Cellular Automata-Markov* di Kabupaten Sleman.
2. Menganalisis perbandingan antara prediksi penggunaan lahan 2031 dengan RTRW Kabupaten Sleman.
3. Menganalisis arah pengendalian perubahan penggunaan lahan terhadap kawasan rawan bencana.

1.4 Kegunaan Penelitian

Adapun manfaat yang dituju dari penelitian analisis prediksi perubahan penggunaan lahan menggunakan metode *Cellular Automata-Markov* di Kabupaten Sleman dari segi akademis dan praktis berikut.

1. Dalam bidang keilmuan penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk referensi dalam studi mengenai penggunaan lahan dan rencana tata ruang.
2. Dalam bidang praktis penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai sumber untuk mengontrol alih lahan. Selain itu di harapkan mampu menjadi masukan dan informasi dalam penyempurnaan Rencana Tata Ruang Wilayah.

1.5 Telaan Pustaka dan Penelitian Sebelumnya

1.5.1 Telaah Pustaka

1.5.1.1 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan merupakan segala jenis kenampakan yang ada di permukaan bumi dan telah dikaitkan dengan aktivitas manusia dalam memanfaatkan lahan. Penggunaan lahan merupakan aspek penting karena mencerminkan tingkat peradaban manusia yang menghuninya. Menurut Malingreau (1979), penggunaan lahan merupakan campur tangan manusia baik secara permanen atau periodik terhadap lahan dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan, baik kebutuhan kebendaan, spiritual maupun gabungan keduanya. Penggunaan lahan merupakan unsur penting dalam perencanaan wilayah. Bahkan

menurut Campbell (1996), disamping sebagai faktor penting dalam perencanaan, pada dasarnya perencanaan kota adalah perencanaan penggunaan lahan.

Klasifikasi penggunaan lahan merupakan pedoman atau acuan dalam proses interpretasi apabila data pemetaan penggunaan lahan menggunakan citra penginderaan jauh. Tujuan klasifikasi supaya data yang dibuat informasi yang sederhana dan mudah dipahami. Terdapat beberapa pendapat para ahli dalam melakukan klasifikasi penggunaan lahan, akan tetapi saat ini telah ada SNI penggunaan lahan yang digunakan dalam pemetaan nasional. Klasifikasi tersebut terbagi dalam berbagai skala, dari skala besar hingga skala kecil.

1.5.1.2 Alih Fungsi Lahan

Sumberdaya lahan dari dulu hingga sekarang telah diketahui daya manfaatnya bagi kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan. Saat ini penggunaan lahan tidak hanya digunakan sebagai permukiman dan pertanian, akan tetapi sudah dimanfaatkan dengan lebih bervariasi dan tidak terbatas. Penggunaan lahan tersebut dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan seperti industri, peternakan, perikanan, kebun campuran, kehutanan, perkotaan, bangunan, pariwisata, perdagangan, dan lain-lain. Sejalan dengan meningkatnya aktivitas pembangunan dan meningkatnya pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan lahan juga meningkat pesat sedangkan ketersediaan dan luas lahan tetap. Walaupun setiap lahan memiliki karakteristik sendiri untuk setiap sektor pemanfaatannya, akan tetapi pada kenyataannya masih sering terjadi benturan kepentingan dan alih pemanfaatan lahan.

Penguasaan terhadap sumberdaya lahan juga mulai sulit dikendalikan status penggunaan lahan dan status pemiliknya. Peradaban manusia modern menurut sumberdaya lahan sebagai tempat untuk semaksimal mungkin dapat memuaskan hidupnya. Rekayasa pengelolaan lahan dengan teknologi modern mulai semarak diterapkan seperti pemotongan lereng bukit, penimbunan rawa, pembuatan dinding tanggul sungai, penambangan dengan alat-alat berat, dan penebangan hutan dengan cepat. Pengelolaan sumberdaya lahan seperti ini semata-mata mengarah pada kepentingan ekonomi tanpa memperhatikan ekologi. Apabila

tidak dikendalikan dengan baik tentu saja data berdampak pada kerusakan sumberdaya lahan dan lingkungan hidup.

Pengalihan fungsi lahan menjadi sumber kerusakan keseimbangan lahan itu sendiri. Banyak alih fungsi lahan mengandung pengertian perubahan penggunaan lahan oleh manusia (Muhajir.et.al.1992). Kasus yang terjadi melibatkan tingkah laku manusia yang melakukan pengolahan lahan secara tidak berimbang. Baik negara maju maupun negara berkembang permasalahan alih fungsi lahan banyak terjadi. Kasus alih fungsi lahan yang biasa disebut konversi lahan sering muncul kepermukaan dan menimbulkan problematika. Seharusnya dalam melakukan alih fungsi lahan di dahului dengan adanya perencanaan dengan pendekatan lingkungan, agar hal-hal yang merugikan dapat dicegah atau dihidari. Ini lah yang kemudian dimaksudkan dengan konsep “*economics and ecological balance*”, bahwa di samping mengejar kepentingan ekonomi, pembangunan juga harus tetap memperhatikan kelestarian fungsi lingkungan.



Gambar 1.1. Alih fungsi lahan pertanian

Posisi strategis Kabupaten Sleman menyebabkan pesatnya peningkatan permintaan lahan untuk pembangunan. Kabupaten Sleman memiliki banyak fasilitas pendidikan. Ada 487 sekolah dan 7 perguruan negeri di Kabupaten Sleman (BPS, 2014). Fasilitas pendidikan yang ada dapat meningkatkan jumlah penduduk dalam jumlah banyak, khususnya penduduk dari luar Kabupaten Sleman. Dampak dari banyak pendatang dari luar Kabupaten Sleman salah satunya adalah permintaan pembangunan tempat tinggal baik untuk jangka waktu pendek maupun panjang. Pemenuhan kebutuhan akan tempat tinggal berbanding lurus dengan permintaan lahan. Pengalihan fungsi lahan di Kabupaten Sleman kebanyakan adalah lahan pertanian menjadi lahan terbangun. Dinas

Perikanan dan Kehutanan (DP2K) Sleman mencatat luas lahan pertanian di wilayah setempat pada 2014 seluas 22.300 ha. Jumlah tersebut menurun dibandingkan tahun sebelumnya yaitu 22.560 ha.

1.5.1.3 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)

Penataan ruang merupakan suatu sistem proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan tata ruang dan pengendalian tata ruang. Penataan ruang diatur dalam Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007. Disebutkan bahwa struktur ruang ialah susunan pusat-pusat permukiman dan sistem jaringan sarana prasarana yang berfungsi sebagai pendukung kegiatan ekonomi masyarakat yang secara hirarkis memiliki hubungan fungsional. Pola ruang ialah distribusi peruntukan ruang dalam suatu wilayah yang meliputi peruntukan ruang untuk lindung dan peruntukan ruang untuk fungsi budidaya.

Berdasarkan Pasal 2 Undang- Undang Nomor 26 Tahun 2007 ditegaskan bahwa penataan ruang diselenggarakan berdasarkan beberapa asas. Asas tersebut yaitu:

- a. Keterpaduan, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan mengintegrasikan berbagai kepentingan yang bersifat lintas sektor, lintas wilayah, dan lintas pemangku kepentingan. Pemangku kepentingan antara lain adalah pemerintah pusat, pemerintah daerah, dan masyarakat.
- b. Keserasian, keselarasan, dan keseimbangan, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan mewujudkan keserasian antara struktur ruang dan pola ruang, keselarasan antara kehidupan manusia dengan lingkungannya, keseimbangan pertumbuhan dan perkembangan antar daerah serta antara kawasan perkotaan dan kawasan pedesaan.
- c. Keberlanjutan, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan menjamin kelestarian dan keberlangsungan daya dukung dan daya tampung lingkungan dengan memperhatikan kepentingan generasi mendatang.
- d. Keberdayagunaan dan Keberhasilgunaan, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan mengoptimalkan manfaat ruang dan sumber daya

yang terdukung di alamnya serta menjamin terwujudnya tata ruang yang berkualitas.

- e. Keterbukaan, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan memberikan akses yang seluas-luasnya pada masyarakat untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan penataan ruang.
- f. Kebersamaan dan Kemitraan, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan melibatkan seluruh pemangku kepentingan.
- g. Perlindungan kepentingan umum, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan mengutamakan kepentingan masyarakat.
- h. Kepastian hukum dan keadilan, adalah bahwa penataan ruang diselenggarakan dengan berlandaskan hukum/ketentuan peraturan perundang-undangan dan bahwa penataan ruang dilaksanakan dengan mempertimbangkan rasa keadilan masyarakat serta melindungi hak dan kewajiban semua pihak secara adil dengan jaminan kepastian hukum.
- i. Akuntabilitas, adalah bahwa penyelenggaraan penataan ruang dapat dipertanggungjawabkan, baik prosesnya, pembiayaannya, maupun hasilnya.

Rencana pemanfaatan tata ruang adalah suatu proses untuk menentukan struktur ruang dan pola ruang yang meliputi penyusunan dan penetapan rencana tata ruang. Pada Undang- Undang Penataan Ruang, perencanaan rencana tata ruang wilayah nasional, rencana tata ruang wilayah provinsi, dan rencana tata ruang wilayah kabupaten/kota mencakup ruang darat, ruang laut, dan ruang udara, termasuk ruang dalam bumi. Dalam Rencana Tata Ruang Kabupaten dan Kota mengacu kepada Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi. Adanya ketidaksesuaian pemanfaatan ruang dapat dilakukan pengendalian pemanfaatan ruang. Pengendalian pemanfaatan ruang dilakukan untuk menjaga kesesuaian pemanfaatan ruang dengan fungsi ruang yang ditetapkan rencana tata ruang.

1.5.1.4 Model *Celluler Automata-Markov*

Model *Celluler Automata* memiliki sifat dinamis yang mengintegrasikan dimensi ruang dan waktu. Konsep *celluler automata* ini telah dikembangkan sejak tahun 1940-an dalam bidang komputer oleh Von Neumann dan Ulam.

Keunggulan dari konsep ini dapat digunakan untuk mengkaji suatu pola sederhana hingga pola yang kompleks dengan prinsip yang sederhana. Model *cellular automata* ini sering diadopsi dan diaplikasikan dalam bidang ilmu kebumihantropika (secara keruangan).

Lahirnya konsep *Cellular Automata* ini berawal dari pemikiran kurangnya pemberian tempat yang cukup pada kemungkinan-kemungkinan lain dalam ilmu perhitungan. Seperti halnya hukum newton ketika menerbitkan *Principia of Mathematica*-nya, hingga terbukti kebenarannya ketika mulai terlihat bukti-bukti bermunculan dan hasil dari ilmu tersebut yang ternyata bermanfaat bagi umat manusia. Secara sistematis kemungkinan dari pola-pola program/aturan dasar dari konsep CA-nya yang disebutnya sebagai *Rule*. Dalam konsep ini diandaikan bahwa piksel sebagai awal mula konsep matematikanya. Disekitar piksel itu terapat piksel tetangga yang menempel langsung, jika ini bujursangkar, maka terdapat 8 piksel tetangga. Maka secara hipotesa, terdapat 2^8 kemungkinan pola program dasar dari CA, berarti ada 256 *rule* dasar warna berbeda digunakan untuk menunjukkan fase/tahapan yang berbeda.

Semua *rule* tersebut kemudian dimasukkan program penggambar (*plotter*) dan lembar hasil cetakan tersebut dibawa dan diuji pada berbagai macam bidang keilmuan seperti fisika, biologi, kimia, musik, bahkan statistika dll. *Rule* yang paling dasar, yakni *rule* no. 110 yang kemungkinan besar adalah ibu dari semua *rule* yang ada di alam yang tersebar di berbagai disiplin ilmu. *Rule* no 110 ternyata bisa berkembang menjadi 255 *rule* lainnya yang mungkin terjadi seiring tahap tertentu. Sebagai perbandingan, *Rule* no 30 juga pada fase tertentu menghasilkan pola/patern *Rule* No.86, 135 dan no.149. Namun terbatas hanya pada pola tersebut. Sedangkan *Rule* 110 bersifat universal, semua *rule* yang ada akan dihasilkannya setelah fase tertentu. Hal ini kemudian dibuktikan bahwa matematika tradisional adalah bagian kecil dari *Rule* no 110. Sehingga matematika tradisional bisa diterapkan pada CA (dan telah lolos *Turing Test* (test matematika dasar seperti penjumlahan, pengurangan, dll)). *Rule* no 110 ini juga unik, jika sekilas dilihat ia tampak tak beraturan. Namun jika di-*zoom* akan tampak bahwa pada level *local rule* ini sangat teratur dan punya pola-pola tertentu

dari rule lainnya. Rule 110 adalah rule yang disusun dari rule-rule lainnya, inilah model yang tepat untuk alam semesta.

Fakta *Cellular Automata* di alam yang pada dasarnya mengikuti program dasar sederhana tertentu dalam evolusinya. Contohnya ada di punggung seekor zebra yang bergaris-garis merupakan suatu program dasar kecil (*autonomous*) yang berulang setiap tahapnya. Program itu diawali dari sebuah *cell* kecil yang berkembang ke *cell-cell* berikutnya menurut aturan tertentu sampai kemudian berulang lagi dan berulang lagi. Hingga diperoleh pola *stripe* tersebut. Contoh lain ada pada punggung kerang. Tuhan nampaknya menjadikan rumah kerang sebagai *display* untuk fenomena *Cellular Automata*. Setiap sel warna mengeluarkan warna dan atau menghambat sel disekitarnya untuk mengeluarkan warna menurut pola tertentu.

Penilaiannya didasarkan bahwa CA berangkat dari matematika/algorithm yang bersifat “mati” dan tidak terkait dengan “*free will*” umat manusia yang “hidup” dan kreatif. Hal tersebut membuat dalam penggunaan setiap tahapan *Cellular Automata* faktor keinginan manusia tidak dipertimbangkan. Seperti pada prediksi penggunaan lahan dimana tingkat kesesuaian ini dipengaruhi oleh asumsi bahwa perubahan penggunaan lahan pada tahun –tahun yang akan datang berjalan sesuai dengan model yang terjadi pada masa lalu, dimana faktor-faktor penghambat dan pendorong terjadinya perubahan penggunaan lahan tidak dikaji.

Markov merupakan suatu konsep yang dikenalkan oleh ahli matematika Rusia Andrei A Markov. Konsep *Markov* pada hakekatnya merupakan model matematis yang didesain untuk menjelaskan suatu proses yang berlangsung bertahap. Menurut konsep *Markov*, probabilitas terjadinya suatu peristiwa ditentukan oleh peristiwa yang secara langsung mendahuluinya dan dapat digunakan untuk memprediksikan peristiwa yang selanjutnya. Probabilitas tersebut disebut dengan istilah probabilitas transisi dan bersifat tetap. Kelebihan dari model ini adalah algoritmanya yang sederhana dan mudah untuk diaplikasikan.

Berikut ini merupakan unsur-unsur dari pembentuk *Cellular Automata-Marcov*:

a. *Geometri*

Geometri adalah bentuk sel serta bentuk sistem yang disusun oleh sel-sel tersebut. *Geometri Cellular Automata* terdiri atas dimensi *Cellular Automata* tersebut (1- dimensi, 2-dimensi, dst), dan bentuk geometri dari masing-masing sel penyusunnya

b. *State Set*

State set adalah himpunan keadaan atau status yang dapat dimiliki oleh masing-masing sel *cellular automata* tersebut. Status ini dapat berupa angka maupun sifat tertentu. Misalnya jika masing-masing sel merepresentasikan bagian suatu hutan, maka status dapat merepresentasikan misalnya jumlah binatang pada masing-masing lokasi atau jenis pohon-pohon yang tumbuh disana. *State set* haruslah berhingga (*finite*, terbatas) dan terhitung (*countable*, diskrit).

c. *Neighbourhood*

Neighbourhood atau tetangga adalah sel-sel yang dapat mempengaruhi status suatu sel pada *Cellular Automata*. Umumnya *neighbourhood* suatu sel hanya meliputi sel-sel yang berada disekitarnya (jari-jari *neighbourhood* – r , tidak besar)

d. Fungsi Transisi

Fungsi transisi adalah aturan yang menentukan bagaimana status suatu sel berubah berdasarkan status sekarang dan status tetangganya.

e. Status Awal Sel

Status awal sel adalah status yang dimiliki oleh masing-masing sel pada saat sistem mulai berjalan.

Karakteristik *Cellular Automata-Markov* antara lain: sistem diskrit yang dinamis, *locality*, *parallelism* dan *emergent*. Dengan karakteristik ini, *Cellular Automata* sesuai digunakan untuk memodelkan sistem yang kompleks secara sederhana dan sesuai untuk diimplementasikan pada lingkungan paralel.

a. Sistem Diskrit yang Dinamis

Sistem diskrit yang dinamis adalah sistem yang memiliki spesifikasi perubahan disebabkan oleh sistem itu sendiri (karena faktor internal), entiti-entiti yang menyusun sistem tersebut terhitung (*countable*), perubahan entiti-entiti itu terjadi dalam waktu yang diskrit (per *time-step*).

b. *Locality*

Locality berarti ketika sebuah sel berubah, status barunya hanya dipengaruhi oleh status lama dan status *neighbours*-nya. Karena umumnya *neighbourhood* suatu sel hanya meliputi sel-sel sekitarnya saja (jari-jari *neighbourhood* tidak besar) dapat dikatakan bahwa perubahan status dari tiap sel hanya bergantung pada dirinya dan selsel disekitarnya saja.

c. *Parallelism*

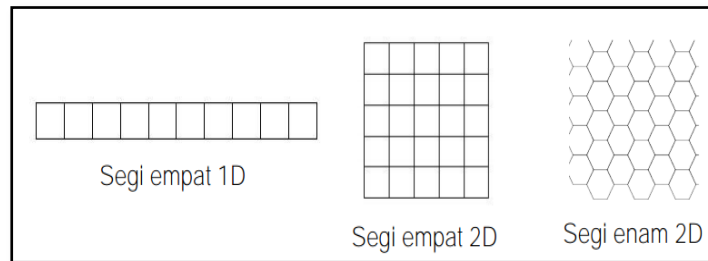
Parallelism berarti perubahan masing-masing sel dapat dilakukan dengan tidak bergantung pada sel lain sehingga semua sel dapat diperbarui secara serentak. Karena itu *Cellular Automata-Markov* pada dasarnya sesuai diimplementasikan pada lingkungan paralel.

d. *Emergent*

Tiap sel penyusun *Cellular Automata* hanya melakukan fungsi-fungsi sederhana yang sepertinya tidak terlalu bermanfaat. Namun, ketika sel-sel tersebut dilihat sebagai satu kesatuan, maka akan menjadi satu sistem yang dapat menghasilkan sesuatu yang besar. Jadi seakan-akan sistem tersebut muncul dengan tiba-tiba, yaitu gabungan bagian-bagiannya lebih besar daripada penjumlahan bagian-bagiannya. Hal inilah yang disebut dengan *emergent behavior* dari *Cellular Automata*.

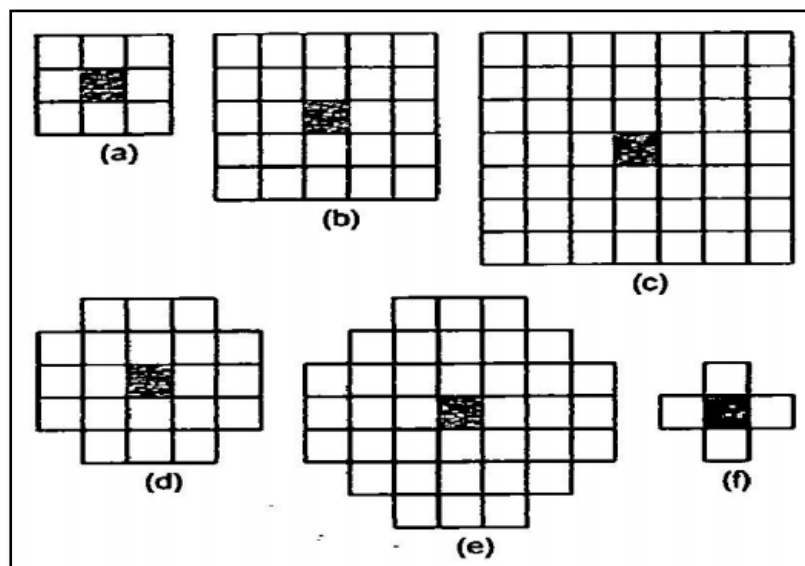
Kombinasi dari konsep *cellular automata* dan *Markov* dapat digunakan untuk melakukan pemodelan perubahan penggunaan lahan. Dalam GIS, *cellular automata* merupakan model sederhana dari proses terdistribusi spasial (*Spatial distributed process*). Data terdiri dari susunan sel-sel (*grid*), dan masing-masing diatur sedemikian rupa sehingga hanya diperbolehkan berada di salah satu dari beberapa keadaan. *Cellular system* dapat didefinisikan sebagai suatu koleksi tersusun dari unsur-unsur serupa yang disebut cell. Struktur ini diberikan oleh

pilihan dari bentuk piksel atau biasa disebut *lattice*. Beberapa *lattice* adalah 1 dimensi, 2 dimensi, dan 3 dimensi.



Gambar 1.2. Susunan sel *Cellular Automata* (Paharuddin 2012, dalam Buhari 2016)

Perubahan penggunaan lahan didasarkan pada kesesuaian lahannya, penggunaan lahan periode sebelumnya dan penggunaan lahan tetangganya. Ketetanggaan artinya perubahan penggunaan lahan pada satu piksel akan dipengaruhi oleh penggunaan lahan pada piksel tetangganya. Dalam hal ini yang perlu didefinisikan adalah jumlah piksel yang dianggap sebagai tetangga. Konsep ketetanggaan ini, secara teknis diterjemahkan dengan filter, seperti pada gambar berikut :



Gambar 1.3. ilustrasi dari ukuran filter, (a) filter 3x3 (b) filter 5x5, (c) filter 7x7, (d) filter orthogonal 5x5, (e) filter orthogonal 7x7, (f) filter cros 4 tetangga terdekat (sumber :Jensen 1996, dalam Buhari 2016)

Cellular Automata-Markov telah banyak digunakan untuk memodelkan permasalahan atau system mulai dari system yang sederhana sampai yang kompleks. *Cellular Automata-Markov* dapat diterapkan pada berbagai bidang, diantaranya dibidang transportasi, kesehatan, lingkungan/ekologi, dan bidang sains. *Cellular Automata-Markov* banyak digunakan untuk memodelkan lalu lintas, dengan tujuan utama biasanya adalah untuk mempelajari beban dari jalan-jalan di area tertentu, perilaku pengguna jalan, tingkat kemacetan. Pada biddang kesehatan *Cellular Automata-Markov* juga sering digunakan untuk pemodelan penyebaran penyakit. Biasanya masalah penyebaran penyakit ini dimodelkan dengan *Cellular Automata-Markov* dua dimensi. Dalam bidang lingkungan, dapat dimanaatkan untuk pemodelan penggunaan lahan akibat dorongan social-ekonomi, lingkungan, dan kebijakan. Selain itu juga dapat digunakan untuk prediksi penyebaran api. Pada bidang sains khususnya fisika *Cellular Automata-Markov* digunakan untuk memodelkan pergerakan partikel dan kuantum, sedangkan pada bidang biologi digunakan untuk memodelkan sel biologis.

1.5.1.5 Validasi Model

Validasi model disini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar keakuratan proyeksi yang telah dilakukan. Dengan begitu diperlukan penggunaan lahan *existing* untuk melakukan validasi. Proyeksi penggunaan lahan pada tahun 2018 divalidasi dengan penggunaan lahan *existing* yang telah dilakukan pengecekan dilapangan. Hasil validasi ini nantinya akan diketahui dari nilai koefisien Kappa.

Keadaan suatu *cellular automata* sepenuhnya dipengaruhi oleh variabel yang dimiliki tiap sel. *Cellular automata* bekerja dengan tahapan waktu yang diskrit, dimana nilai variabel sel dipengaruhi oleh nilai variabel sel tetangganya di tahapan waktu sebelumnya. Tetangga dari suatu sel yaitu sel-sel yang berdekatan dengan sel itu sendiri. Variabel sel diperbaharui secara simultan, berdasarkan kepada nilai variabel yang dimiliki sel tersebut dan tetangganya di tahapan waktu sebelumnya, menurut aturan lokal tertentu (Wolfram, 1983, dalam Bahari 2016).

Tabel 1.1. Kontingensi untuk J kategori

Simulasi	Realitas				
	1	2		J	Total
1	p_{11}	p_{12}		p_{1J}	$S_1 = \sum P_{1j}$
2	p_{21}	p_{22}		p_{2J}	$S_2 = \sum P_{2j}$
....					
J	p_{J1}	p_{J2}		p_{JJ}	$S_J = \sum P_{Jj}$
Total	$R_1 = \sum P_{j1}$	$R_1 = \sum P_{j2}$		$R_J = \sum P_{jJ}$	1

Sumber : Pontius (2000) dalam Bahari (2016)

$$K = \frac{P(A) - P(E)}{1 - P(E)} \dots\dots\dots 1.3$$

Di mana $P(A)$ adalah proporsi benar yang diamati dan $P(E)$ adalah proporsi benar yang diharapkan. Nilai $P(A)$ dan $P(E)$ masing-masing ditentukan dari formula berikut :

$$(A) = \sum_{j=1}^J P_{jj} \dots\dots\dots 1.1$$

$$(E) = \sum_{j=1}^J P_{jj} * P_{jj} \dots\dots\dots 1.2$$

Dimana :

P_{Jj} = Proporsi sel yang termasuk kategori j pada simulasi,

P_{jj} = Proporsi sel yang termasuk kategori j pada reslitas,

P_{jj} = Proporsi sel yang termasuk kategori j pada simulasi dan realitas,

j = Jumlah iterasi pada seluruh kategori,

J = Banyak kategori.

Statistik Kappa mencampur padukan kesalahan kuantifikasi dengan kesalahan lokasi dan memperkenalkan dua statistik secara terpisah untuk mempertimbangkan kesamaan lokasi dan kesamaan kuantitas. Nilai ambang batas untuk membedakan tingkat kecocokan dari setiap koefisien Kappa, ditunjukkan pada tabel 1.2.

Tabel 1.2 Kecocokan Nilai Korfisien Kappa

Nilai Kappa	Tingkat Kecocokan
< 0.05	Tidak ada
0.05	Sangat Jelek
0.20	Jelek
0.40	Sedang
0.55	Agak baik
0.70	Baik
0.85	Sangat baik
0.99	Sempurna

Sumber : Pontius (2000) dalam Bahari (2016)

1.5.1.6 Penginderaan Jauh

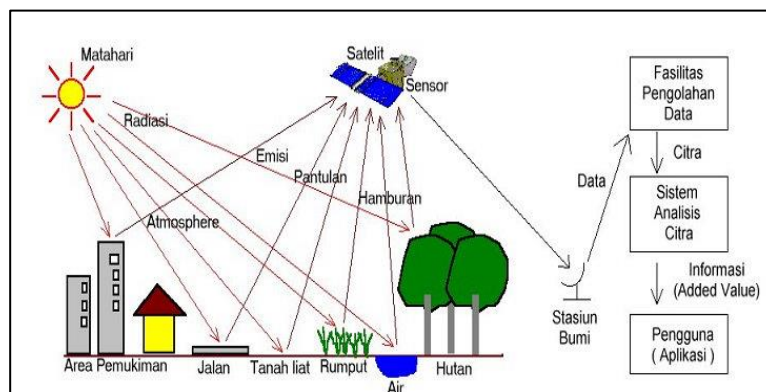
Penginderaan jauh merupakan ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah atau gejala dengan jalan menganalisis data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung terhadap obyek, daerah, atau gejala yang dikaji (Lillesand dan Keifer, 1979). Sedangkan menurut Lindgren penginderaan jauh adalah teknik yang dikembangkan untuk perolehan dan analisis tentang bumi, informasi tersebut berbentuk radiasi elektromagnetik yang dipantulkan atau dipancarkan dari permukaan bumi. Penginderaan jauh merupakan sistem yang memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik atau spektrum energi lain dalam mendapatkan informasi objek kajian.

Terdapat beberapa komponen yang saling berkaitan untuk melakukan penginderaan. Rangkaian komponen indraja meliputi, sumber tenaga, atmosfer, interaksi antara tenaga dan objek, sensor dan wahana. Sumber tenaga dalam proses indraja terdiri atas tenaga alamiah dan tenaga buatan. Tenaga alamiah adalah sinar matahari, sedangkan tenaga buatan adalah berupa gelombang mikro.

Fungsi tenaga tersebut adalah menyinari objek permukaan bumi dan memantulkannya pada sensor. Dalam atmosfer terdapat molekul-molekul gas yang dapat menyerap, memantulkan, dan melewatkan radiasi elektromagnetik. Oleh karena itu, di dalam indraja terdapat istilah jendela atmosfer, yaitu bagian spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat mencapai bumi. Dengan demikian keadaan atmosfer sangat berpengaruh terhadap pancaran energi. Keadaan atmosfer dapat menghalangi pancaran sumber tenaga ke muka bumi. Kondisi tersebut berarti menghalangi pula interaksi antara tenaga dan objek.

Interaksi antara tenaga dan objek dapat terlihat pada rona yang dihasilkan. Tiap-tiap objek memiliki karakteristik yang berbeda-beda dalam memantulkan atau memancarkan tenaga ke sensor. Objek yang mempunyai daya pantul tinggi akan terlihat cerah pada citra, sedangkan objek yang daya pantulnya rendah akan terlihat gelap pada citra. Contohnya, batu gamping yang mempunyai daya pantul tinggi akan terlihat lebih cerah daripada batu granit yang mempunyai daya pantul rendah.

Sensor merupakan alat pemantau yang dipasang pada wahana, baik pesawat maupun satelit. Berdasarkan proses perekamannya, sensor dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sensor fotografik dan sensor elektronik. Sensor tersebut diletakkan pada sebuah wahana. Wahana adalah kendaraan yang digunakan untuk membawa sensor guna mendapatkan data indraja. Berdasarkan ketinggian peredaran dan tempat pemantulannya di angkasa, wahana dapat dibedakan menjadi tiga kelompok. Tiga kelompok wahana tersebut yaitu pesawat terbang rendah sampai menengah, pesawat terbang tinggi, dan satelit.



Gambar 1.4. Sistem penginderaan jauh (Sutanto, 2004)

Matahari memancarkan tenaga elektromagnetik ke segala arah, sebagian daripadanya mencapai bumi. Perjalanannya berlangsung secara radiasi. Radiasi tenaga elektromagnetik berlangsung dengan kecepatan tetap dan dengan pola gelombang yang harmonik. Pola gelombangnya dikatakan harmonik karena komponen-komponen gelombangnya teratur secara sama dan repetitif dalam ruang dan waktu (Sutanto, 1986). Tenaga elektromagnetik terdiri atas berkas atau spektrum yang sangat luas yakni meliputi spektra kosmik, Gamma, X, Ultraviolet, tampak, inframerah, gelombang mikro dan radio. Atmosfer membatasi bagian spektrum elektromagnetik yang dapat digunakan dalam penginderaan jauh. Pengaruhnya bersifat selektif terhadap panjang gelombang. Karena pengaruh selektif inilah maka timbul jendela atmosfer yaitu bagian dari spektrum elektromagnetik yang dapat mencapai bumi. Dalam jendela atmosfer ada hambatan atmosfer yaitu kendala yang disebabkan oleh hamburan pada spektrum tampak dan serapan yang terjadi pada spektrum inframerah termal (Sutanto, 1986).

Tenaga yang datang dari obyek di permukaan bumi diterima atau direkam oleh sensor. Pengenalan obyek pada dasarnya dilakukan dengan menyidik karakteristik spektral obyek yang tergambar pada citra. Obyek yang banyak memantulkan/memancarkan tenaga akan tampak cerah pada citra, sedang obyek yang pantulannya/pancarannya sedikit tampak gelap. Meskipun demikian, pada kenyataannya tidak sesederhana ini. Ada obyek yang berlainan tetapi mempunyai karakteristik spektral sama atau serupa sehingga menyulitkan pembedaannya dan pengenalannya pada citra. Hal ini dapat diatasi dengan menyidik karakteristik lain selain karakteristik spektral seperti bentuk, ukuran, dan pola di dalam penginderaan jauh. Sensor merekam tenaga yang dipantulkan atau dipancarkan oleh obyek di permukaan bumi. Data yang dihasilkan dalam proses penginderaan jauh dapat berupa data digital dan numerik untuk dianalisis dengan menggunakan komputer. Data penginderaan jauh dapat juga berupa data visual yang pada umumnya dianalisis secara manual. Data visual dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu data citra dan non citra (Sutanto, 1986).

1.5.1.7 Citra Landsat

Satelit Landsat (*land satellite*), milik Amerika Serikat yang pertama kali diluncurkan pada tahun 1972, dengan nama ERTS-1 (*Eart Resources Tecnology Satellite -1*). Proyek eksperimental ini sukses, dan dilanjutkan dengan peluncuran selanjutnya, seri kedua, tapi berganti nama menjadi Landsat, sehingga ERTS-1 berganti nama menjadi landsat-1.

Hingga tahun 1991, telah sampai pada Landsat-5. Selama kurun waktu tersebut telah terjadi perubahan desain pada sensornya hingga dapat dikelompokkan menjadi dua generasi. Generasi pertama yaitu landsat-1, landsat-2, dan landsat-3. Landsat-1 dan landsat-2 memuat dua macam sensor : RBV (*Return Beam Vidicon*, terdiri atas 3 saluran RBV1, RBV2, dan RBV3 dengan resolusi spasial 79 meter) dan MMS (*Multispectral Scanner*, resolusi spasial 79 meter terdiri atas 4 saluran yaitu MMS4, MMS5, MMS6, dan MMS7; dimulai dari nomor 4 mengacu pada 3 saluran pertama pada RBV). Landsat 3 masih memuat kedua sensor tersebut, namun dengan penyusutan jumlah saluran RBV menjadi 1 saluran tunggal beresolusi 40 meter.

Landsat generasi kedua adalah landsat-4 dan landsat-5. Landsat generasi kedua ini memiliki dua macam sensor, yaitu dengan mempertahankan MMS-nya tetapi mengganti RBV dengan TM (*Thematic Mapper*). Dengan demikian, urutan penomoran MMS menjadi MMS1, MMS2, MMS3, dan MMS4. Sensor TM yang memiliki 7 saluran dinomori dengan nomor 1 hingga 7. Keanehan pada sistem penomoran sensor TM ini terletak pada TM6 yang menggunakan spektrum inframerah termal, beresolusi 120 m, yang terletak diantara saluran inframerah tengah TM5 dan TM7 yang beresolusi spasial 30m. hal ini disebabkan oleh penambahan saluran TM7, jauh setelah rencana pembuatan 6 saluran TM disepakati oleh pemerintah Amerika Serikat. Generasi berikutnya adalah Landsat-6 dimana membawa sensor yang merupakan pengembangan dari sensor TM (*Thematic Mapper*). Sensor tersebut adalah ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) pengembangan yang dilakukan adalah penambahan saluran pankromatik dengan Panjang gelombang 0,50- 0,9 μm dimana saluran pankromatik ini mempunyai resolusi sebesar 15 x 15 meter. Perbaikan resolusi saluran termal menjadi 60 meter. Sedangkan

desain untuk 6 saluran lainnya sama seperti pada sensor TM. Namun satelit landsat-6 ini tidak mencapai orbit pada saat peluncurannya.

Desain dan operasi Landsat 7 direncanakan akan membawa dua sensor, yaitu ETM⁺ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) dan HRMSI (*High Resolution Multispectral Stereo Imager*). Desain dari ETM⁺ sama dengan ETM pada Landsat-6 namun ditambah dengan dua sistem model kalibrasi untuk mengeliminasi gangguan radiasi matahari dengan menambahkan lampu kalibrasi untuk fasilitas koreksi radiometrik. Satelit Landsat-7 juga dilengkapi dengan fasilitas penerima sistem posisi lokasi (*Global Positioning System/GPS receiver*) untuk meningkatkan ketelitian posisi atau letak satelit di dalam jalur orbitnya.



Gambar 1.5. Scanner ETM⁺ pada Landsat-7

The Landsat Data Continuity Mission (yang selanjutnya dinamakan Landsat 8 setelah berhasil mengorbit dan telah diverifikasi) diluncurkan dari Pangkalan Angkatan Udara Vandenberg di California pada tanggal 11 Februari 2013 di atas roket Atlas V. Setelah bekerjasama sebelumnya, kolaborasi antara *United States Geological Survey* (USGS) dan *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) melanjutkan misi mereka untuk meningkatkan kualitas

data yang menggabungkan sains dan kebutuhan operasional untuk melakukan observasi perubahan penggunaan lahan dan penutup lahan.

Wahana antariksa Landsat 8 dibuat oleh *Orbital Sciences Corporation*, didesain untuk misi selama 5 tahun, dengan bahan bakar cukup untuk 10 tahun operasi. Inti dari observatorium Landsat 8 adalah *Operational Land Imager (OLI)*, didesain dan dibuat oleh *Ball Aerospace and Technologies Corporation*. Kedepannya, instrumen OLI telah memutakhirkan kemampuan pengukuran selagi memastikan kesesuaian dengan data-data yang telah lampau, melalui cara mengumpulkan data permukaan bumi dengan resolusi dan spesifikasi saluran spektral yang tetap konsisten dengan data Landsat sebelumnya.

Sensor Landsat 8 didesain sebagai sensor *push-broom* dengan 4 kaca teleskop, performa *signal-to-noise* yang lebih tinggi, dan telah terkuantisasi 12 *bit*. Instrumen OLI mengumpulkan data dalam saluran tampak, inframerah-dekat, serta inframerah gelombang pendek sebaik saluran pankromatiknya. Terdapat dua saluran spektral baru telah ditambahkan, yaitu saluran biru-tua untuk studi pesisir dan *aerosol* (Saluran 1), serta saluran untuk deteksi awan *cirrus* (Saluran 9). Sebuah saluran penjamin kualitas / *Quality Assessment Band (QA)* juga diikutsertakan. Salah satu dari kelebihan *Quality Assessment Band (QA)* yaitu dapat memberikan informasi penting mengenai citra Landsat 8 itu sendiri. Informasi penting yang terkandung di dalam QA band misalnya awan, awan *cirrus*, vegetasi, bayangan awan, dan tubuh air.

Thermal Infrared Sensors (TIRS) dibuat oleh NASA *Goddard Space Flight Center*, ditambahkan sebagai muatan tambahan pada sensor untuk melanjutkan pencitraan termal dan untuk mendukung terapan-terapan yang muncul seperti pemodelan evapotranspirasi untuk memantau penggunaan air pada lahan irigasi. TIRS mengumpulkan data dalam 2 saluran gelombang inframerah-panjang dan mempunyai umur misi selama 3 tahun. Resolusi spasial sebesar 100 meter dari data TIRS telah terregistrasi pada data OLI untuk membuat kalibrasi radiometrik dan geometrik.

Tabel 1.3 Spektrum Saluran dan Resolusi Spasial Landsat 8

Saluran	Panjang Gelombang (mikrometer)	Resolusi (meter)
Saluran 1 - <i>Coastal Aerosol</i>	0.43 - 0.45	30
Saluran 2 - Biru	0.45 - 0.51	30
Saluran 3 - Hijau	0.53 - 0.59	30
Saluran 4 - Merah	0.64 - 0.67	30
Saluran 5 - Inframerah Dekat	0.85 - 0.88	30
Saluran 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Saluran 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Saluran 8 - Pankromatik	0.50 - 0.68	15
Saluran 9 - <i>Cirrus</i>	1.36 - 1.38	30
Saluran 10 - TIRS 1	10.60 - 11.19	100
Saluran 11 - TIRS 2	11.50 - 12.51	100

Sumber : United States Geology Survey (USGS)

1.5.1.8 Klasifikasi *Supervised Maximum Likelihood*

Klasifikasi *supervised* meliputi sekumpulan algoritma yang didasari pemasukan contoh objek (berupa nilai spektral) oleh operator. Contoh ini disebut sampel dan lokasi geografis kelompok piksel sampel ini disebut sebagai daerah contoh (*training area*). Sebelum sampel ini diambil, operator (atau pengguna) harus mempersiapkan sistem klasifikasi yang diterapkan, seperti halnya klasifikasi manual. Dua hal penting yang harus dipertimbangkan dalam klasifikasi ialah sistem klasifikasi dan kriteria sampel. Pengambilan sampel secara digital oleh operator pada dasarnya merupakan cara “melatih” komputer untuk mengenali obyek berdasarkan kecenderungan spektralnya.

Algoritma kemiripan maksimum merupakan algoritma yang secara statistik paling mapan. Asumsi dari algoritma ini ialah bahwa obyek homogen selalu menampilkan histogram yang terdistribusi normal (*Bayesian*). Dalam algoritma ini piksel diklasikan sebagai objek tertentu tidak karena jarak euklidiannya, melainkan oleh bentuk, ukuran dan orientasi sampel pada *feature space* (yang berupa elipsoidal). Untuk memutuskan klasifikasi, dibutuhkan informasi statistik berupa rerata dan simpangan baku tiap sampel, serta variansi

(ragam) dan konvariansi. Rerata dan simpangan baku tiap sampel secara otomatis tersimpan pada waktu melakukan pengambilan sampel.

1.5.1.9 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis merupakan suatu bidang kajian ilmu yang relatif baru yang dapat digunakan oleh berbagai bidang disiplin ilmu sehingga berkembang dengan sangat cepat. Berdasarkan *directory internasional GIS*, pengertian dari GIS adalah *a computer system for capturing, managing, integrating, manipulating, analysing and displaying data which is spatially referenced to the Earth*. Tentunya masih banyak definisi atau pengertian lain dari GIS yang juga disosialisasikan oleh pakar-pakar GIS dari berbagai disiplin ilmu. Sebagai perbandingan, ESRI sebagai suatu vendor besar yang bergerak dalam bidang GIS mendefinisikan GIS sebagai kumpulan yang terorganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografi dan personil yang dirancang secara efisien untuk memperoleh, menyimpan, mengmuhktahirkan, memanipulasi, menganalisis dan menampilkan semua bentuk informasi yang mempunyai referensi geografi. Secara umum, berdasarkan definisi-definisi yang data tersebut, satu fungsi dari GIS yang sangat penting adalah kemampuan untuk menganalisis data, terutama data spasial yang kemudian menyajikannya dalam bentuk suatu informasi spasial berikut data atributnya.

ESRI (1990), dalam Prananta (2015) mendefinisikan SIG sebagai kumpulan yang terorganisir dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografi dan personil yang dirancang secara efisien untuk memperoleh, menyimpan, meng-update, memanipulasi, menganalisis dan menampilkan semua bentuk informasi yang bereferensi geografi. Sistem Informasi Geografis dapat diuraikan menjadi beberapa subsistem sebagai berikut :

a. *Data Input*, subsistem ini bertugas untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan atribut dari berbagai sumber. Subsistem ini pula yang bertanggungjawab dalam mengkonversi atau mentransformasikan format data-data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh sistem informasi geografis.

- b. *Data Output*, subsistem ini menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basisdata baik dalam bentuk *softcopy* maupun bentuk *hardcopy* seperti tabel, grafik, peta dan lain-lain.
- c. *Data Management*, subsistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun atribut ke dalam sebuah basisdata sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, di-*update*.
- d. *Data Manipulation & Analysis*, subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh sistem informasi geografis. Selain itu, subsistem ini juga melakukan manipulasi dan pemodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

1.5.2 Penelitian Sebelumnya

Adilla (2017), melakukan penelitian untuk menentukan persebaran fisik Kota Semarang dari tahun 2005 hingga tahun 2017 dan menentukan kesesuaian prediksi arah persebaran fisik Kota Semarang tahun 2029 dengan model *CA-Markov* terhadap RTRW Kota Semarang. Penelitian dilakukan menggunakan citra Landsat dengan pendekatan temporal dan menggunakan pemodelan *CA-Markov*. Hasil dari penelitian ini adalah peta kesesuaian prediksi penggunaan lahan terhadap RTRW Kota Semarang.

Buhari (2016), menganalisis prediksi perubahan garis pantai secara geospasial menggunakan model *CA-Markov*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besarnya perubahan garis pantai di Kabupaten Pinrang sejak tahun 2000 hingga tahun 2015 dan memprediksi besarnya perubahan garis pantai di Kabupaten Pinang untuk 10 dan 20 tahun mendatang. Metode yang digunakan adalah *CA-Markov*. Hasil dari penelitian ini adalah model perubahan garis pantai 2025.

Pratama (2015), melakukan penelitian dengan tujuan menganalisis perubahan penggunaan lahan pertanian menjadi rumah tinggal di Kota Bandung. Metode yang digunakan adalah analisis spasial (*overlay*). Hasil dari penelitian ini yaitu peta perubahan penggunaan lahan pertanian menjadi rumah tinggal di Kota Bandung.

Mukandar (2017), melakukan pemetaan untuk mengidentifikasi perubahan lahan pada kawasan sabuk hijau waduk Mrica dari tahun 2001 hingga 2017 dengan menggunakan citra landsat. Metode yang digunakan adalah analisis spasial (*overlay*) dan *image processing*. Hasil dari penelitian ini adalah peta perubahan penggunaan lahan pada kawasan sabuk hijau waduk Mrica tahun 2001-2017.

Natali (2017), melakukan Pengembangan Model Keberlangsungan wirausaha Dengan *Cellular Automata*. Metode yang digunakan yaitu dengan menganalisis data menggunakan program ECA (*Entrepreneurial Cellular Automata*). Hasil dari penelitian ini adalah Model simulasi Keberlangsungan Wirausaha.

Hardini (2019), melakukan prediksi penggunaan lahan Kabupaten Sleman tahun 2031 menggunakan citra landsat. Metode yang digunakan yaitu *CA-Markov*, *overlay* dan deskriptif. Hasil dari penelitian ini adalah prediksi penggunaan lahan Kabupaten Sleman tahun 2031, evaluasi prediksi penggunaan lahan terhadap RTRW, dan arahan pengendalian penggunaan lahan terkait daerah rawan bencana.

Tabel 1.4 Penelitian sebelumnya

Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Adilla, 2017	Analisis Arah dan Prediksi persebaran fisik Wilayah Kota Semarang Tahun 2029 Menggunakan Sistem Informasi Geografi dan CA Markov Model	Menentukan arah persebaran fisik Kota Semarang dari tahun 2005 sampai 2017.	Pendekatan Temporal dan <i>CA-markov</i>	Peta kesesuaian prediksi hasil <i>CA-markov</i> dengan RTRW
		Menentukan kesesuaian prediksi arah persebaran fisik Kota Semarang tahun 2029 dengan model <i>CA markov</i> terhadap RTRW Kota Semarang.		
Buhari, 2016	Analisis Geospasial Menggunakan Metode <i>Cellular Automata</i> untuk Prediksi Perubahan Garis Pantai	Menganalisis besarnya perubahan garis pantai di kabupaten Pinang sejak tahun 2000 hingga tahun 2015 menggunakan metode <i>Cellular Automata</i> .	Pendekatan Temporal dan <i>Cellular Automata</i>	Model perubahan garis pantai 2025 dan 2015
		Memprediksi besarnya perubahan garis pantai di Kabupaten Pinang untuk 10 dan 20 tahun mendatang menggunakan metode <i>Cellular Automata</i> .		

Nama Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Prananta, 2015	Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Pertanian Menjadi Rumah Tinggal Di Kota Bandung Tahun 2012 - 2015	Mengetahui pertumbuhan alih fungsi lahan pertanian menjadi rumah tinggal di Kota Bandung tahun 2012-2015.	Analisis spasial (<i>overlay</i>)	Peta perubahan lahan pertanian menjadi rumah tinggal di Kota Bandung dan Peta hasil evaluasi terhadap RTRW di Kota Bandung.
		Menghitung luas lahan yang mengalami perubahan penggunaan lahan pertanian menjadi rumah tinggal di Kota Bandung tahun 2012-2015		
		Mengevaluasi kesesuaian perubahan penggunaan lahan pertanian menjadi rumah tinggal yang terjadi di Kota Bandung dengan RTRW Kota Bandung.		
Mukandar, 2017	Identifikasi Perubahan Penggunaan Lahan pada Kawasan Sabuk Hijau Waduk Mrica Menggunakan Citra Satelit Landsat	Untuk mengidentifikasi perubahan lahan pada kawasan sabuk hijau waduk Mrica dari tahun 2001 hingga 2017 dengan menggunakan citra Landsat.	Analisis spasial (<i>overlay</i>) dan <i>image processing</i>	Peta perubahan penggunaan lahan pada kawasan sabuk hijau waduk Mrica tahun 2001-2017.
Natali, 2017	Pengembangan Model Keberlangsungan wirausaha Dengan <i>Cellular Automata</i>	Mempelajari faktor- faktor yang berpengaruh pada keberlangsungan wirausaha, Mempelajari informasi yang disediakan oleh GEM, Khususnya yang berhubungan dengan pertumbuhan wirausaha	Analisis data menggunakan program ECA (<i>Entrepreneurial Cellular Automata</i>)	Model simulasi Keberlangsungan Wirausaha
Hardini, 2019	Analisis Prediksi Penggunaan Lahan Menggunakan Model <i>Cellular Automata-Markov</i> di Kabupaten Sleman	Untuk memprediksi penggunaan lahan tahun 2031, mengevaluasi prediksi perubahan penggunaan lahan terhadap RTRW, dan membuat arahan pengendalian penggunaan lahan terkait kerawanan terhadap kawasan rawan bencana.	Pendekatan Temporal , pemrosesan <i>CA-markov</i> dan analisis spasial (<i>overlay</i>)	Peta prediksi penggunaan lahan Kabupaten Sleman tahun 2031, Peta evaluasi prediksi penggunaan lahan terhadap RTRW, dan Peta arahan pengendalian penggunaan lahan terkait daerah rawan bencana.

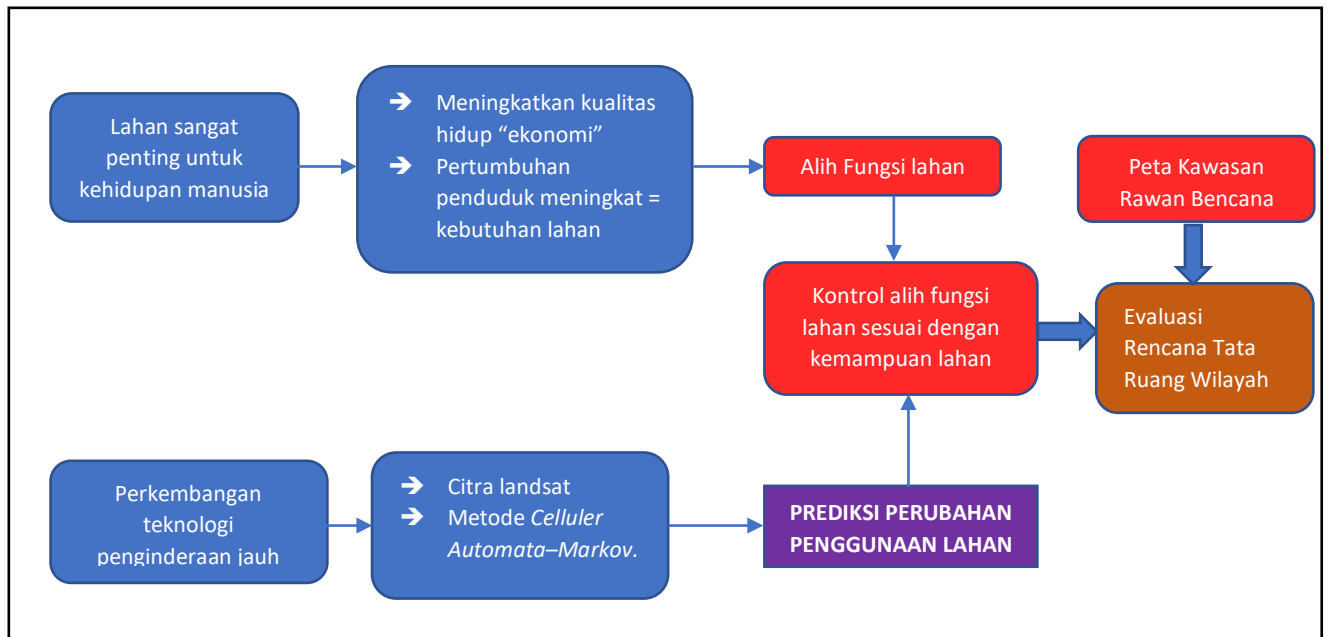
1.6 Kerangka Penelitian

Lahan sangatlah penting dalam kehidupan manusia, pemanfaatan lahan digunakan untuk meningkatkan kualitas hidup. Selain meningkatkan kualitas hidup, pertumbuhan penduduk yang semakin bertambah setiap tahunnya juga membuat kebutuhan akan lahan meningkat. Lahan tidak dapat bertambah akan tetapi bisa di alih fungsikan. Alih fungsi lahan ini harus di kontrol oleh pemangku kebijakan, sehingga nantinya pemanfaatan lahan sesuai dengan kemampuan lahannya.

Perkembangan teknologi saat ini dalam berbagai bidang sangat membantu untuk memberikan berbagai macam solusi terhadap berbagai macam masalah yang dihadapi. Perkembangan dalam bidang penginderaan jauh dan sistem informasi geografi menjadi salah satu perkembangan teknologi yang pesat. Seiring pesatnya perkembangan teknologi tersebut, maka sangat bermanfaat dalam melakukan pemetaan dan pemodelan secara lebih cepat dan lebih akurat. Selain itu untuk lebih khususnya sangat bermanfaat untuk melakukan prediksi penggunaan lahan dengan cakupan yang luas.

Prediksi perubahan penggunaan lahan dapat dilakukan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh citra landsat yang memiliki resolusi temporal 16 hari dan resolusi spasial 30 meter, sehingga cocok untuk pemetaan penggunaan lahan dalam cakupan daerah yang luas. Metode *Cellular Automata-Markov* digunakan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan dengan didukung data citra landsat multitemporal. Hasil prediksi perubahan penggunaan lahan pada tahun sebelumnya akan divalidasi dengan penggunaan lahan *existing* sehingga model prediksi penggunaan lahan lebih mendekati akurat.

Perubahan penggunaan lahan yang diprediksi merupakan pemodelan dimana dianggap bahwa laju pembangunan ataupun alih fungsi lahan sama dengan laju pembangunan tahun sebelumnya. Sehingga selain akan diketahui perubahan penggunaan lahan di tahun yang akan datang, pemodelan prediksi perubahan penggunaan lahan tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam mengontrol alih fungsi lahan.



Gambar 1.6. Diagram kerangka pemikiran

1.7 Batasan Operasional

- Penggunaan lahan : Segala jenis kenampakan yang ada di permukaan bumi dan telah dikaitkan dengan aktivitas manusia dalam memanfaatkan lahan.
- Cellular Automata-Markov* : Metode yang dapat digunakan untuk memprediksi penggunaan lahan dengan konsep, terjadinya suatu peristiwa ditentukan oleh peristiwa yang secara langsung mendahuluinya dan dapat digunakan untuk memprediksikan peristiwa yang selanjutnya.
- Klasifikasi *Supervised Maximum likelihood* : Klasifikasi spektral pada citra secara terkontrol oleh operator menggunakan sampel (*training area*). Sedangkan untuk memutuskan klasifikasi, dibutuhkan informasi statistik berupa rerata dan simpangan baku tiap sampel, serta variansi (ragam) dan konvariansi. Rerata dan simpangan baku tiap sampel secara otomatis tersimpan pada waktu melakukan pengambilan sampel.