

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Justifikasi Solusi

Solusi yang ditawarkan penelitian ini berdasarkan kepada urgensi pengendalian hama lalat buah yang mengancam produktivitas dan keberlanjutan ekspor salak. Pengendalian tersebut menuntut penerapan AWM yang mampu melakukan *monitoring* sekaligus *suppression* kepada populasi lalat buah secara menyeluruh di wilayah yang luas, serta sebuah alat bantu yang cepat dan mudah diakses untuk mengimplementasikan metode tersebut di lapangan. Metode AWM yang digunakan sebagai acuan berasal dari praktik standar yang telah diimplementasikan bertahun-tahun pada kebun mangga di Australia, sehingga keandalannya sebagai kerangka pengendalian hama telah teruji. Namun, efektivitas AWM sangat bergantung pada akurasi penentuan tata letak perangkat di lapangan, yang selama ini masih dilakukan melalui proses pemetaan manual yang lambat dan birokratis. Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan metode AWM ke dalam bentuk GIS yang mampu mengotomatisasi perhitungan dan rekomendasi titik koordinat penempatan Steiner trap dan wooden block secara presisi. Justifikasi atas pemilihan kedua landasan solusi ini, yaitu metode AWM sebagai kerangka pengendalian dan GIS sebagai instrumen implementasinya, diuraikan pada dua subbab berikut.

##### 2.1.1 Metode AWM untuk pengendalian lalat buah pada kebun mangga di Australia [7]

Metode AWM yang terdiri dari gabungan teknik *monitoring* dan *suppression* terhadap populasi lalat buah telah menjadi praktik standar yang terbukti efektif pada perkebunan mangga di Australia. Penerapan metode ini penting untuk mengurangi penggunaan insektisida secara berlebihan, sehingga kualitas hasil panen tetap terjaga dan biaya yang dikeluarkan oleh petani menjadi lebih efisien. Keandalan metode ini sebagai kerangka pengendalian hama telah teruji melalui implementasinya selama bertahun-tahun, sehingga menjadikannya acuan yang kredibel untuk diadopsi pada komoditas inang lain.

Secara teknis, penerapan AWM, yang dijelaskan di dokumen manual [7], pada kebun mangga mengikuti tahapan dan regulasi spasial yang baku. Tahap pertama adalah penentuan zona yang akan dipasang sistem AWM, dengan luas wilayah minimal 25 ha atau lebih—semakin luas area yang dicakup, semakin efektif pengendalian yang dihasilkan. Penentuan zona ini umumnya memanfaatkan data foto satelit untuk memetakan batas wilayah yang akan dikendalikan. Pengendalian dilakukan menggunakan dua alat utama, yaitu *Steiner trap* dan *wooden block*, yang keduanya dilumuri atraktan *methyl eugenol* untuk menarik lalat buah jantan serta insektisida untuk membunuhnya. Masing-masing perangkat dipasang mengikuti pola penempatannya sendiri: satu *Steiner trap* diletakkan pada setiap area seluas 4–6 ha, sedangkan satu *wooden block* dipasang pada pohon dengan jarak setiap 100 m di perbatasan dan di dalam wilayah yang sudah ditentukan. Contoh implementasi pemetaan zona sistem AWM digambarkan di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh pemetaan zona sistem AWM

Sumber: [7]

*Key lessons* dari metode AWM dan relevansinya terhadap penelitian ini:

- Manual [7] menetapkan luas minimal 25 ha sebagai syarat penerapan AWM, agar pengendalian dapat berjalan efektif pada skala area yang cukup

luas. Ini relevan diterapkan pada penelitian ini karena seluruh lahan kebun salak milik Paguyuban Mitra Turindo memiliki luas lebih dari 25 ha, sehingga syarat minimal tersebut terpenuhi dan metode AWM layak diadopsi sebagai kerangka pengendalian.

- Manual [7] menetapkan jarak penempatan perangkat berdasarkan karakteristik tanaman inang yang ditargetkan—dalam hal ini pohon mangga yang tumbuh pada hamparan luas. Ini berarti jarak penempatan bersifat spesifik terhadap karakteristik tanaman, bukan nilai tetap yang berlaku universal. Oleh karena itu, pada penelitian ini, jarak tersebut perlu disesuaikan terhadap karakteristik tanaman salak yang tidak tumbuh dalam hamparan luas seperti pohon mangga, sehingga sistem harus mampu menghasilkan titik penempatan dengan jarak yang lebih rapat agar pengendalian tetap efektif.
- Pola penempatan alat disesuaikan dengan karakteristik tanaman salak: satu *Steiner trap* ditempatkan pada setiap area seluas 4 ha, dan satu *wooden block* dipasang dengan jarak setiap 50 m di perbatasan dan di dalam wilayah yang sudah ditentukan. Aturan kepadatan inilah yang menjadi parameter utama dalam algoritma komputasi penempatan titik pada sistem.

### **2.1.2 Implementasi GIS pada pengendalian hama berbasis *Area-Wide Integrated Pest Management* (AW-IPM) [16] [17]**

GIS merupakan implementasi tepat guna untuk mengoperasionalkan kebutuhan ketepatan penentuan lokasi dan kepadatan pemasangan perangkat. [16] menegaskan bahwa GIS adalah teknologi inti untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengoptimalkan program pengendalian hama berbasis area yang luas. Argumen ini diperkuat kembali oleh [17], sehingga menjadikan GIS sebagai instrumen implementasi AW-IPM—metode AWM yang melibatkan lebih dari satu tipe metode pengendalian hama—yang kredibilitasnya telah teruji dan dipublikasikan secara berulang dalam literatur ilmiah internasional.

[16] menjelaskan bahwa analisis spasial dapat memberikan dukungan keputusan dalam pemilihan lokasi yang sesuai untuk penempatan perangkat (*traps and targets*), sekaligus menentukan kepadatan perangkat yang dibutuhkan per

satuan luas (*required target/trap density per surface unit*) berdasarkan kondisi lapangan. [17] menyatakan kembali prinsip yang sama, yaitu bahwa setelah metode pengendalian dipilih, analisis spasial dapat digunakan secara langsung untuk memandu strategi pengendalian melalui penentuan lokasi penempatan perangkat dan kepadatan perangkat per satuan luas. Prinsip inilah yang menjadi landasan fungsi utama sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini, yaitu otomatisasi perhitungan titik penempatan *Steiner trap* dan *wooden block* sesuai dengan regulasi kepadatan perangkat.

Selain itu, kedua sumber menunjukkan bahwa penerapan GIS pada penempatan perangkat berdampak pada peningkatan efisiensi sumber daya. [16] mendokumentasikan bahwa pemilihan lokasi perangkat berbasis GIS dapat menghasilkan penghematan signifikan dari segi tenaga kerja dan logistik, serta mencegah pemasangan perangkat secara berlebihan pada lokasi yang tidak representatif. Hal ini secara langsung mendukung argumen pada BAB I bahwa otomatisasi penentuan titik koordinat dapat memangkas beban kerja dan proses birokrasi yang selama ini menjadi penghambat utama pemerataan AW-IPM.

Lebih lanjut, [17] mengamati adanya kesenjangan dalam pemanfaatan GIS pada pengendalian hama. Ia mencatat bahwa sebagian besar penelitian terdahulu lebih menekankan pada pemodelan distribusi, kelimpahan, dan prevalensi hama, sementara penekanan pada pengintegrasian *spatial tools* secara langsung ke dalam program pengendalian operasional masih relatif terbatas. [17] juga menegaskan bahwa idealnya *spatial tools* berfungsi sebagai alat terintegrasi yang beroperasi "*under the hood*", namun pada praktiknya hanya sedikit program yang berhasil mengintegrasikannya secara langsung. Kesenjangan inilah yang menjadi ruang kontribusi penelitian ini, yaitu menyediakan komputasi penempatan perangkat yang otomatis dan terintegrasi langsung ke dalam aplikasi yang dapat diakses oleh petani. *Key lessons* dari implementasi GIS pada AW-IPM dan relevansinya terhadap penelitian ini:

- [16] menegaskan bahwa GIS merupakan teknologi inti untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengoptimalkan program pengendalian hama

berbasis area yang luas. Hal ini relevan diterapkan pada penelitian ini sebagai dasar penggunaan GIS untuk menggantikan proses pemetaan manual yang selama ini menjadi penghambat dalam menentukan titik koordinat penempatan perangkat.

- [16] dan [17] menjelaskan bahwa analisis spasial dapat memberikan dukungan keputusan dalam memilih lokasi penempatan perangkat, sekaligus menentukan kepadatan perangkat yang dibutuhkan per satuan luas. Ini menjadi landasan langsung bagi fungsi inti sistem, yaitu otomatisasi perhitungan dan rekomendasi titik penempatan *Steiner trap* dan *wooden block* sesuai regulasi kepadatan yang berlaku.
- [16] mendokumentasikan bahwa pemilihan lokasi perangkat berbasis GIS dapat menghasilkan penghematan signifikan dari segi tenaga kerja dan logistik, serta mencegah pemasangan perangkat berlebihan pada lokasi yang tidak representatif. Ini relevan terhadap tujuan penelitian ini untuk mengurangi beban kerja dan proses birokrasi penentuan titik koordinat, yang selama ini menjadi penghambat utama pemerataan AWM.
- [17] mengamati bahwa integrasi *spatial tools* secara langsung ke dalam program pengendalian hama operasional masih terbatas, dengan sebagian besar penelitian terdahulu lebih menekankan pemodelan distribusi dan prevalensi hama dibandingkan penerapan langsung di lapangan. Inilah yang menjadi ruang kontribusi utama penelitian ini: mengembangkan modul GIS yang terintegrasi langsung ke dalam aplikasi MySalak, sehingga mengisi kesenjangan antara analisis spasial teoretis dan penerapan praktis yang dapat diakses langsung oleh petani.

## 2.2 Tinjauan Teori

### 2.2.1 *Area-Wide Management* (AWM)

Hampir semua negara di Asia-Pasifik, terutama negara berkembang, bergantung berat kepada penggunaan insektisida yang tidak terkoordinasi untuk membasmi hama lalat buah [7]. Hal ini merupakan bentuk dari pendekatan pengendalian hama *field-by-field*, di mana setiap petani mengendalikan hama secara mandiri tanpa koordinasi dan tanpa mempertimbangkan individu hama yang bermigrasi masuk



dari lahan sekitarnya yang tidak dikendalikan. Kelemahan mendasarnya adalah bahwa lahan-lahan yang tidak terkendali—seperti tanaman inang alternatif, kebun pekarangan, atau inang liar—tetap menjadi *refugia*, yaitu sumber permanen imigran hama yang terus-menerus memasuki kembali lahan yang sudah dikendalikan, sehingga upaya pengendalian tidak pernah berkelanjutan [6]. Selain itu, pendekatan ini juga dapat memberikan banyak dampak negatif kepada ekosistem seperti penurunan kualitas hasil panen, pencemaran tanah dan air, dan juga merusak sistem imun tubuh manusia akibat paparan berlebihan terhadap insektisida [18].

Di sisi lain, pendekatan *area-wide* menargetkan pengendalian total populasi hama dalam suatu area yang telah dibatasi secara geografis [6]. Konsep ini mengakui bahwa semua *refugia* dalam sebuah area harus ditangani secara serentak sehingga tidak tersisa titik yang dapat menjadi sumber kembalinya serangan hama [6]. Hal ini menegaskan bahwa penetapan batas area (*delimited area*) merupakan syarat ilmiah yang fundamental: setiap titik dalam zona tersebut harus tercakup oleh upaya pengendalian agar tidak melemahkan keseluruhan program.

Salah satu sistem AWM yang diaplikasikan pada kebun mangga di Australia—yang menjadi referensi utama pengendalian salak di Turi, Sleman—menggunakan kombinasi teknik *monitoring* dan *suppression* diterapkan secara terkoordinasi di seluruh zona yang telah ditetapkan [7]. Cakupan spasial yang menyeluruh di dalam batas area tersebut menjadi kunci keberhasilan program. Oleh karena itu, metode ini terdiri dari komponen utama yang memungkinkan cakupan tersebut, yaitu *Steiner trap* dan *wooden block* sebagai alat *monitoring* dan *suppression* populasi jantan, serta media penghantaran senyawa atraktan *methyl eugenol*.

### **2.2.2 Steiner trap**

*Steiner trap* adalah silinder plastik bening berbentuk horizontal dengan lubang di kedua ujungnya yang digantung pada batang pohon menggunakan kawat. Ukurannya bervariasi dengan panjang 12–14.5 cm dan diameter 8.5–11 cm. Untuk keperluan pengendalian hama lalat buah (*Bactrocera sp.*), bagian pusat di dalam perangkat ini dilumuri *methyl eugenol* sebagai atraktan jantan dan insektisida untuk

membunuh hama. Atraktan *methyl eugenol* bertahan sampai 4–10 minggu sebelum harus dilumuri ulang [19].

Fungsi utama *Steiner trap* yaitu untuk melakukan *monitoring* populasi jantan lalat buah. Lalat buah jantan yang terperangkap dan mati di dalam perangkap ini dihitung jumlahnya guna merekam nilai *flies per trap per day* (FTD) tiap minggunya. FTD adalah index populasi hama yang memberi indikasi jumlah rata-rata lalat yang tertangkap per perangkap per hari selama periode tertentu saat perangkap tersebut dipasang di lapangan [9].

*Trap density* (kerapatan perangkap), yaitu jumlah perangkap per satuan luas area, merupakan faktor krusial dalam efektivitas *monitoring* lalat buah. Dalam konteks penelitian ini, kerapatan yang digunakan mengikuti aturan 1 perangkap per 4 ha di kebun salak [7]. Aturan ini membutuhkan penentuan koordinasi penempatan—setiap perangkap benar-benar mewakili luasan 4 ha tanpa tumpang tindih maupun celah yang tidak tercakup. Oleh karena itu, lokasi setiap perangkap perlu diidentifikasi secara presisi menggunakan koordinat geografis. Hal ini sejalan dengan rekomendasi bahwa lokasi perangkap sebaiknya di-*georeference* menggunakan *global positioning system* (GPS), karena GPS memungkinkan setiap perangkap dipetakan melalui koordinat geografis yang kemudian dapat dijadikan input dalam sistem informasi geografis (GIS).

### 2.2.3 *Wooden block*

*Wooden block*, yang disebut juga *male annihilation technique* (MAT) *block*, adalah potongan kayu bakar (biasa berukuran 5 cm x 5 cm) yang bagian tengahnya dilubangi dan dimasukkan kawat untuk digantung pada batang pohon. Kayunya juga dilumuri atraktan *methyl eugenol* dan insektisida untuk menarik dan membunuh lalat buah jantan. Berbeda dari *Steiner trap*, perangkat ini digunakan untuk program menekan populasi lalat buah dalam program *suppression*, sehingga tidak ada keperluan untuk menampung dan menghitung jumlah lalat buah yang mati [6].

Sama seperti *Steiner trap*, *wooden block* juga memiliki kerapatan penempatan tertentu agar penekanan populasi jantan dapat tercapai secara optimal di seluruh

area. Kerapatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 *block* setiap 50 meter, yang ditempatkan selaras dengan perbatasan dan dalam pola *grid* di dalam wilayah yang sudah ditentukan. Pola *grid* ini memastikan bahwa cakupan blok tersebar merata tanpa meninggalkan celah yang berpotensi menjadi *refugia* bagi lalat buah jantan yang belum terpapar atraktan. Oleh karena itu, sebagaimana pada *Steiner trap*, penentuan koordinat penempatan setiap *wooden block* perlu dilakukan secara presisi, sehingga jarak antarblok benar-benar konsisten dengan kerapatan yang ditetapkan dan seluruh bagian area dapat tercakup secara menyeluruh.

#### 2.2.4 *Geographic Information System (GIS) [20]*

GIS adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, melakukan pencarian, menganalisis, dan menampilkan data geospasial. GIS terdiri dari beberapa elemen, yakni: data geospasial, pengumpulan data, pengelolaan data, penampilan data, dan eksplorasi data.

Data geospasial mencakup lokasi fitur spasial. Sistem koordinat geografis atau system koordinat proyeksi digunakan untuk menemukan fitur spasial di permukaan bumi. Sistem koordinat geografis dinyatakan dalam garis bujur dan garis lintang, sedangkan sistem koordinat proyeksi dinyatakan dalam koordinat  $x$  dan  $y$ . Salah satu sistem koordinat yang digunakan dalam GIS adalah *Universal Transverse Mercator (UTM)*. GIS menggambarkan data geospasial dalam bentuk data vektor atau data raster. Model data vektor menggunakan titik, garis, dan poligon untuk merepresentasikan fitur spasial. Sedangkan model data raster menggunakan *grid* dan sel *grid* untuk merepresentasikan fitur spasial: fitur titik digambarkan menggunakan sel tunggal, fitur garis menggunakan sel-sel yang berdampingan, dan fitur poligon menggunakan kumpulan barisan sel.

GIS pertama-tama memerlukan pengumpulan data sebagai langkah awal. Data geospasial dapat diperoleh dari data publik yang tersedia melalui *data clearinghouse* atau *geoportal*, di mana metadata diperlukan untuk memahami informasi mengenai data tersebut. Apabila data publik tidak tersedia, data baru dapat diperoleh melalui digitasi dari peta kertas atau ortofoto, dibuat dari citra satelit, atau dikonversi dari data *Global Positioning System (GPS)*, data survei, alamat jalan, maupun berkas teks yang berisi koordinat  $x$  dan  $y$ .



Salah satu cara memperoleh data geospasial, khususnya citra satelit, adalah melalui layanan *web mapping*. Pada *web mapping*, server menyediakan peta dan citra melalui *browser* yang kemudian diakses oleh *client* untuk keperluan penampilan data, kueri data, dan pemetaan. Layanan semacam ini mulai populer di kalangan masyarakat umum sejak tahun 2005, ketika Google memperkenalkan Google Maps dan Google Earth. Dalam penelitian ini, citra satelit dari Google Earth digunakan sebagai salah satu sumber data geospasial untuk mengidentifikasi kondisi dan batas area pertanaman salak, yang kemudian menjadi dasar penentuan titik koordinat penempatan *Steiner trap* dan *wooden block* melalui kalkulasi *grid* yang sesuai *trap density* yang sudah ditetapkan. Selain itu, data koordinat dari *Steiner trap* yang telah terpasang sebelumnya (data *existing*) diperoleh melalui GPS, dan digunakan sebagai salah satu data masukan dalam perhitungan *grid* tersebut.

Setelah pengumpulan data, GIS memerlukan pengelolaan data atribut, umumnya menggunakan sistem manajemen *database (database management system/DBMS)* untuk menangani data atribut yang dapat berjumlah besar, khususnya pada data vektor. Data atribut disimpan dalam *database* relasional berupa kumpulan tabel. Pada penelitian ini, setiap titik koordinat yang merepresentasikan lokasi *Steiner trap* maupun *wooden block* memiliki data atribut yang menyertainya, seperti tanggal dan status pemasangan.

Selanjutnya, GIS mencakup penampilan data, yang umumnya pembuatan peta sebagai antarmuka utama GIS. Pembuatan peta dapat bersifat informal, yaitu sekadar menampilkan data geospasial pada peta untuk dilihat, maupun formal, yaitu untuk keperluan presentasi profesional dan laporan—yang menggabungkan elemen-elemen seperti judul, badan peta, legenda, dan skala agar dapat menyampaikan informasi geografis secara jelas kepada pembaca peta. Dalam penelitian ini, aplikasi yang dibangun menampilkan lokasi *Steiner trap* dan *wooden block* dalam bentuk peta formal interaktif, sehingga persebaran kedua perangkat tersebut di seluruh zona dapat divisualisasikan secara langsung.

Terakhir, GIS memungkinkan eksplorasi data, yaitu aktivitas visualisasi, manipulasi, dan kueri data menggunakan peta, tabel, dan grafik sebagai langkah

awal sebelum dilakukannya analisis data secara formal. Eksplorasi data dapat berbasis peta, seperti klasifikasi data, agregasi data, dan perbandingan peta, atau berbasis fitur, yang melibatkan kueri data atribut maupun data spasial, seperti hubungan keterkandungan (*containment*), perpotongan (*intersect*), dan kedekatan (*proximity*). Dalam penelitian ini, eksplorasi data diterapkan melalui beberapa fitur, di antaranya filter *toggle* untuk menampilkan titik rekomendasi berdasarkan status pemasangannya, mode navigasi yang menghitung jarak dan arah dari lokasi pengguna ke titik yang dipilih sebagai bentuk kueri spasial berbasis *proximity*, serta fitur pelacakan jumlah Steiner trap dan wooden block yang telah terpasang pada setiap zona sebagai bentuk agregasi data berbasis fitur poligon.

Kelima elemen tersebut saling berkaitan dan membentuk satu kesatuan proses dalam GIS, mulai dari perolehan data geospasial hingga kemampuan menampilkan dan mengeksplorasi data tersebut secara interaktif. Karakteristik inilah yang menjadikan GIS relevan untuk diterapkan dalam konteks AWM, mengingat keberhasilan program AWM sangat bergantung pada presisi dan kelengkapan cakupan spasial di seluruh area yang telah ditetapkan.

Salah satu *software* GIS yang mendukung tampilan, penyuntingan, pencetakan, dan analisis data geospasial dalam berbagai format data—termasuk vektor dan raster—adalah QGIS [21]. Penggunaan *software* ini untuk pengelolaan data dijelaskan di BAB III.

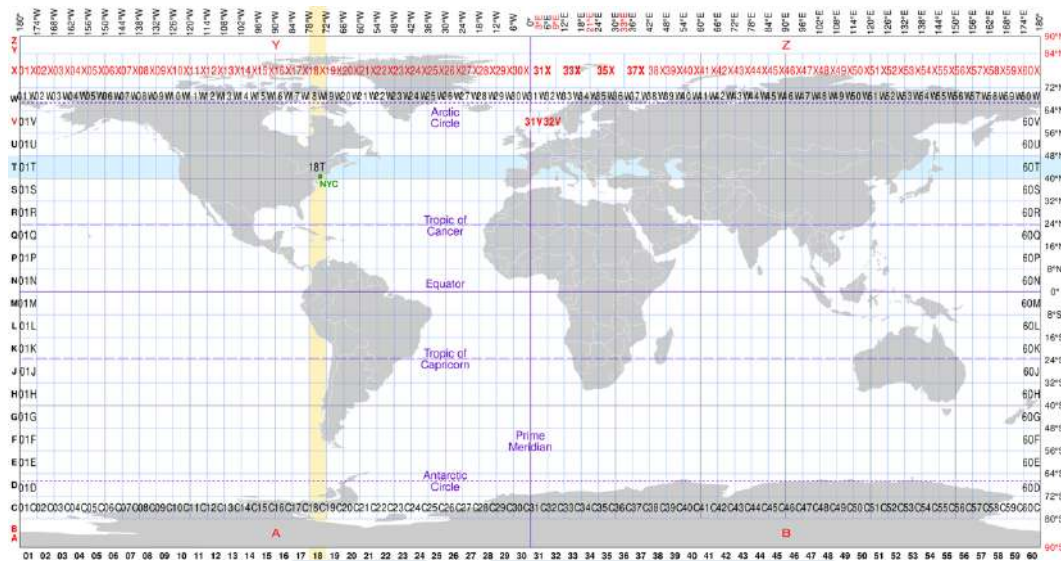
### **2.2.5 Sistem koordinat geografis [20]**

Sistem koordinat geografis adalah sistem referensi untuk penentuan lokasi fitur spasial di permukaan bumi yang terdiri dari garis bujur (*longitude*) dan garis lintang (*latitude*). Garis bujur mengukur sudut ke arah timur atau barat dari meridian—garis khayal pada permukaan bumi yang menghubungkan kutub utara dan kutub selatan bumi—utama, sedangkan garis lintang mengukur sudut ke arah utara atau selatan dari garis ekuator. Sistem ini didasarkan pada datum, yaitu model matematis bumi yang menjadi basis perhitungan koordinat geografis, yang terdiri dari titik awal (garis bujur dan lintang acuan), elipsoid, serta selisih antara elipsoid dan bentuk bumi pada titik awal tersebut.

Salah satu datum yang umum digunakan adalah WGS84 (*World Geodetic System 1984*), yang digunakan sebagai sistem referensi global untuk keperluan penentuan posisi dan navigasi, termasuk sebagai datum bagi pembacaan GPS. Satelit GPS mengirimkan posisinya dalam koordinat WGS84, dan seluruh kalkulasi internal pada penerima GPS juga didasarkan pada datum ini. Dalam penelitian ini, koordinat yang ditampilkan kepada pengguna serta data lokasi *Steiner trap* dan *wooden block* menggunakan sistem koordinat geografis berbasis WGS84.

Untuk dapat digunakan dalam perhitungan dan pemetaan dua dimensi, koordinat geografis pada elipsoid perlu ditransformasikan ke dalam bidang datar melalui proses yang disebut proyeksi peta. Proyeksi peta memungkinkan penggunaan peta dua dimensi serta perhitungan dengan koordinat  $x$  dan  $y$  yang lebih sederhana dibandingkan perhitungan langsung dengan nilai bujur dan lintang. Namun, proses transformasi dari permukaan elipsoid ke bidang datar selalu menimbulkan distorsi, sehingga tidak ada proyeksi peta yang sempurna; setiap proyeksi mempertahankan sebagian sifat spasial sambil mengorbankan sifat lainnya.

Sistem koordinat proyeksi dibangun di atas suatu proyeksi peta dan dirancang untuk perhitungan serta penentuan posisi yang lebih detail, sehingga umum digunakan dalam pemetaan skala besar. Untuk menjaga akurasi pengukuran, sistem koordinat proyeksi biasanya dibagi ke dalam beberapa zona, masing-masing dengan titik pusat proyeksinya sendiri.



Gambar 2.2 Zona UTM pada peta dunia

Sumber: [22]

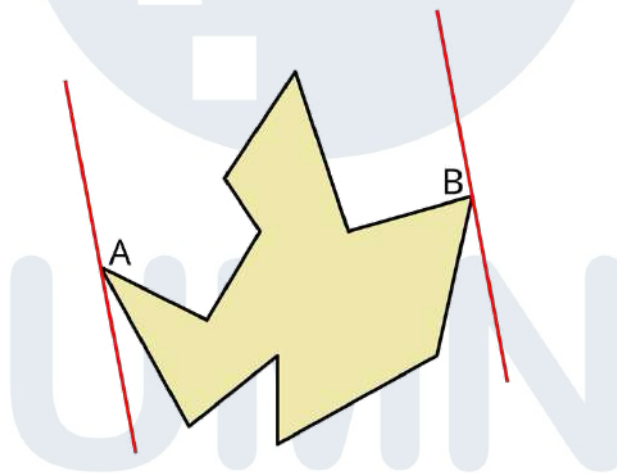
Salah satu sistem koordinat proyeksi yang umum digunakan adalah UTM, yang digambarkan pada Gambar 2.2. Sistem *grid* UTM membagi permukaan bumi antara 84° LU dan 80° LS ke dalam 60 zona, di mana setiap zona mencakup 6° garis bujur dan dibagi lagi menjadi belahan bumi utara dan selatan. Dalam penelitian ini, UTM digunakan untuk melakukan perhitungan geometris secara presisi, seperti perhitungan jarak Euclidean antar-titik koordinat, karena satuan meter pada UTM memungkinkan kalkulasi jarak dan luas yang lebih akurat dibandingkan satuan derajat pada sistem koordinat geografis WGS84. Oleh karena itu, koordinat yang awalnya tersimpan dalam format WGS84 ditransformasikan ke UTM sebelum proses analisis spasial dilakukan, dan dikonversi kembali ke WGS84 setelah hasilnya diperoleh untuk ditampilkan kepada pengguna.

## 2.2.6 Analisis spasial

Analisis spasial adalah proses menganalisis lokasi, atribut, pola, dan hubungan anterelemen dalam data spasial [23]. Hal ini juga salah satu kemampuan inti GIS yang memungkinkan pengolahan data geospasial berdasarkan lokasi serta hubungan keruangan antar-fitur, seperti keterkandungan (*containment*), perpotongan (*intersect*), dan kedekatan (*proximity*) [20]. Operasi-operasi ini

umumnya diterapkan pada data vektor—baik titik, garis, maupun poligon, dan menjadi dasar bagi berbagai perhitungan geometris dalam GIS.

Salah satu metode analisis spasial yang relevan untuk penelitian ini adalah *rotating calipers*. *Rotating calipers* adalah teknik dalam geometri komputasional yang bekerja dengan menggeser sepasang garis paralel—diibaratkan seperti dua bilah jangka sorong (*caliper*)—yang masing-masing menyentuh tepi suatu poligon cembung, kemudian memutar kedua garis tersebut secara bersamaan mengelilingi poligon sampai membentuk satu putaran penuh. Teknik ini pertama kali digunakan oleh Shamos pada tahun 1978 untuk menentukan seluruh pasangan titik *antipodal* pada poligon cembung, sebelum kemudian dinamai dan dikembangkan lebih lanjut oleh Toussaint pada tahun 1983 untuk menyelesaikan berbagai permasalahan geometri lain, salah satunya pembentukan *bounding box* dengan orientasi optimal [15]. Hal ini digambarkan pada contoh di Gambar 2.3, di mana A dan B adalah vertex *antipodal* dengan garis paralel pendukung.



Gambar 2.3 Contoh sepasang vertex *antipodal* dengan garis paralel

Sumber: [24]

Salah satu penerapan *rotating calipers* yang relevan dengan penelitian ini adalah pembentukan *Minimum Rotated Rectangle* (MRR), yaitu persegi panjang dengan luas terkecil yang masih dapat membungkus seluruh poligon, dengan orientasi sisi-sisinya selalu sejajar terhadap salah satu sisi *convex hull* dari poligon tersebut. Dalam penelitian ini, MRR dimanfaatkan untuk menentukan orientasi dominan dari poligon batas wilayah kelompok tani, yang selanjutnya menjadi dasar



pembentukan *rotated grid* pada algoritma penentuan titik rekomendasi penempatan *Steiner trap* dan *wooden block* yang dijelaskan lebih lanjut pada BAB III.

Dalam penelitian ini, analisis spasial diterapkan sebagai bagian dari algoritma penentuan titik rekomendasi penempatan *Steiner trap* dan *wooden block* yang dijelaskan lebih lanjut pada BAB III.

### 2.2.7 Aplikasi MySalak

MySalak merupakan sistem pemantauan pertanian salak yang dikembangkan melalui kerja sama antara Universitas Gadjah Mada dengan komunitas petani salak di kawasan Turi, Sleman, Yogyakarta. Sistem ini dirancang untuk membantu kelompok tani dalam memantau populasi hama lalat buah (*Bactrocera sp.*) secara lebih efisien dan berbasis data. Secara umum, MySalak terdiri atas dua lapisan utama: *hardware* berupa *smart trap* berbasis LoRaWAN yang dipasang di lahan, serta *software* berupa aplikasi web yang digunakan oleh petani maupun petugas pendamping untuk memantau kondisi lahan secara *real-time* [25].

Pada sisi perangkat lunak, MySalak menyediakan sejumlah fitur yang mencakup seluruh siklus pemantauan hama. Fitur manajemen pengguna mendukung hierarki peran yang terdiri atas *superadmin*, *admin\_ugm*, *agriculture\_dept* (petugas dinas pertanian), *lead\_farmer* (ketua kelompok tani), dan *farmer* (petani), sehingga hak akses dapat disesuaikan dengan tanggung jawab masing-masing pihak. Fitur manajemen kelompok tani memungkinkan pencatatan data setiap kelompok beserta perbatasan area lahannya.

Dari sisi arsitektur perangkat lunak, MySalak menggunakan pendekatan clean architecture dengan pemisahan yang jelas antara lapisan *entity*, *use case*, *repository*, dan *handler* HTTP. *Backend* dibangun menggunakan *framework* FastAPI berbasis Python, yang menyediakan antarmuka REST API bagi aplikasi *frontend*. *Database* yang digunakan adalah PostgreSQL, diakses melalui ORM SQLAlchemy dengan manajemen migrasi skema menggunakan Alembic. Autentikasi pengguna menggunakan mekanisme JWT (JSON Web Token). Pada sisi *frontend*, aplikasi web dikembangkan secara terpisah dan berkomunikasi dengan backend melalui REST API yang disediakan.

Skema *database* MySalak yang sudah ada sebelum pengembangan fitur AWM terdiri atas beberapa tabel inti. Tabel *ms\_farmer\_groups* menyimpan data identitas setiap kelompok tani, termasuk koordinat pusat lokasi, status aktif, dan gambar profil kelompok. Tabel *ms\_area\_coordinates* menyimpan titik-titik koordinat yang membentuk batas area lahan milik setiap kelompok tani; setiap titik memiliki atribut *order\_index* untuk menentukan urutan vertex pembentuk poligon tersebut. Tabel *ms\_traps* mencatat setiap perangkat yang terpasang di lahan, dengan kolom atribut koordinat geografis dan serta status keaktifan perangkat. Ketiga tabel ini menjadi fondasi data spasial yang digunakan sebagai masukan dalam pengembangan fitur generasi saran penempatan pada penelitian ini.

