

# Bab 17: Data Sistem Informasi Geografis

STEPHANIE FOSTER, ERICA ADAMS, IAN DUNN, DAN ANDREW DENT

## PENDAHULUAN

Tempat adalah salah satu landasan dasar dari investigasi lapangan. Baik siapa maupun kapan penyakit terjadi bersifat relatif dan sering kali tergantung pada di mana kejadian tersebut terjadi. Ilmu informasi Geografis, sistem, perangkat lunak (secara kolektif dikenal sebagai GIS) dan metode adalah salah satu alat yang digunakan oleh ahli epidemiologi dalam mengevaluasi dan mengevaluasi *tempat*. Bab ini mengulas aplikasi GIS yang berkaitan dengan 10 langkah investigasi lapangan.

## LANGKAH 1. PERSIAPAN KEGIATAN LAPANGAN

### Menghasilkan Peta untuk Kesadaran Situasional

Teknik pemetaan standar akan menghasilkan visualisasi yang informatif dan memberikan orientasi untuk mempelajari lokasi, atribut fisik wilayah investigasi, dan karakteristik deskriptif populasi yang diminati. Petugas lapangan harus memulai dengan membuat peta referensi umum ([1,2](#)). Google Maps (Google, Inc., Mountain View, CA), OpenStreetMap (sumber terbuka [*open source*] perangkat lunak wiki dari OpenStreetMap Foundation), atau file-file geografis dari suatu negara berfungsi sebagai titik awal yang layak. Peta-peta ini dapat mencakup informasi tentang jaringan jalan, hotel, bandara, dan tempat menarik lainnya yang bermanfaat dalam memberikan pemahaman kepada tim lapangan dengan area di mana mereka akan menyelidiki suatu penyakit atau cedera. Peta referensi dapat berguna baik dalam pengaturan domestik dan internasional, terutama di daerah asing.

Selain itu, peta-peta tersebut berguna untuk menetapkan batas area investigasi ([2-4](#)). Dengan menggunakan ilmu informasi geografis, sistem, atau perangkat lunak (disebut sebagai GIS secara kolektif), batas dapat digambarkan untuk area yang diminati dan dari situ file data GIS tertentu, yang dikenal sebagai *shapefile*, dapat dibuat. ([2.4,5](#)). *Shapefile* ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi variabel-variabel yang diminati (misalnya, memperkirakan jumlah orang yang tinggal di dalam suatu area tertentu atau mempelajari sejauh mana kontaminasi dari *exposure* berbahaya) terjadi. ([Gambar 17.1](#)).

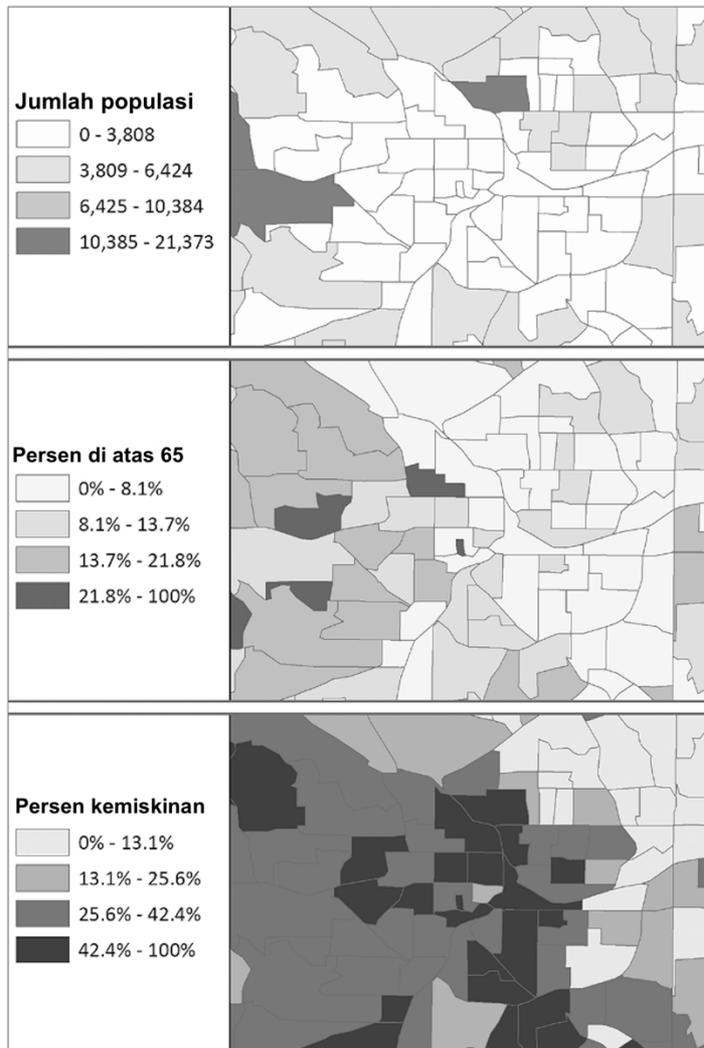
**Gambar 17.1.** Peta profil situs umum tidak hanya memberikan gambaran tentang lokasi dan hubungan spasial wilayah studi dengan titik acuan umum lainnya, tetapi juga menyajikan perkiraan karakteristik umum dari populasi yang terkena dampak.



### Mengidentifikasi dan Memperoleh Data Tambahan Terkait

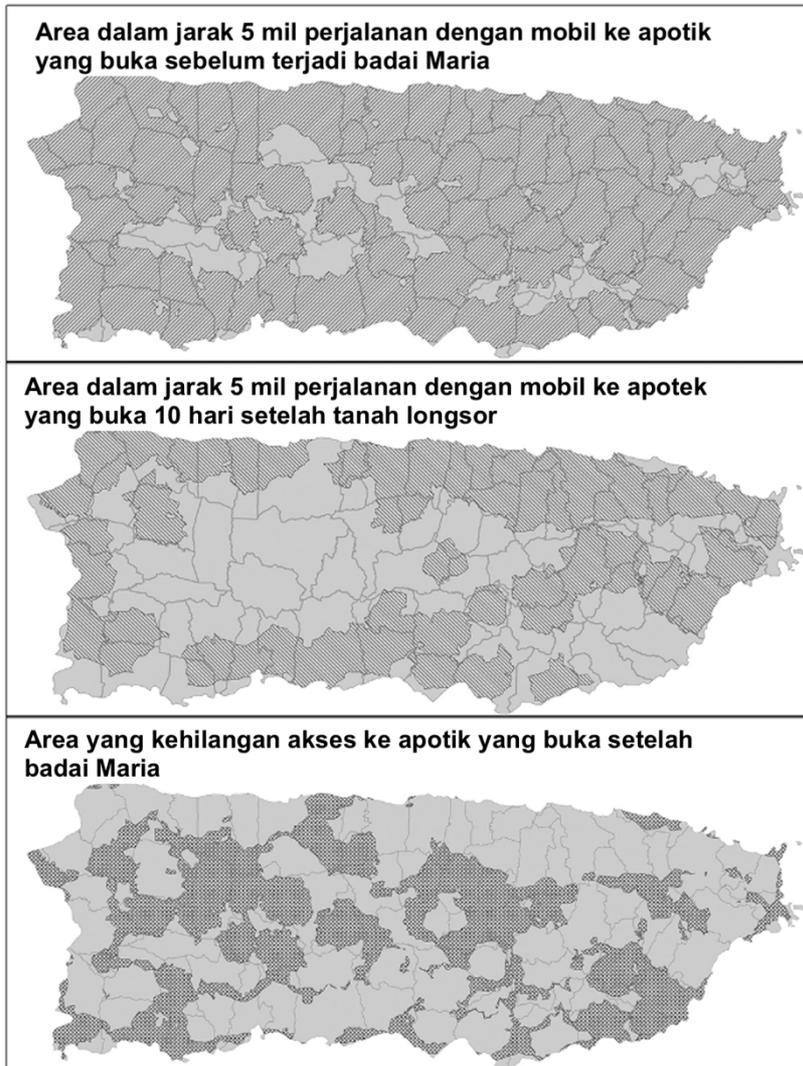
Jika waktu memungkinkan, tim lapangan dapat mempertimbangkan untuk mengumpulkan suatu kumpulan data terkait yang berguna di luar data referensi umum. Misalnya, menggabungkan data karakteristik sosiodemografi seperti jumlah populasi, usia, jenis kelamin, ras/etnis, populasi sensitif, kebutuhan bahasa/terjemahan, dan ukuran kemiskinan menurut negara bagian, distrik, atau batas sensus lainnya dapat dilakukan dengan menggunakan data Sensus AS ([Gambar 17.2](#)). Biro Sensus AS menyediakan data ini dengan pengidentifikasi geografis yang unik, sehingga memungkinkan hubungan yang mudah antara data populasi dan data lokasi di GIS ([6](#)).

**Gambar 17.2. Menentukan populasi dan karakteristik populasi.** Metode sistem informasi geografis menyediakan sarana untuk menentukan perkiraan populasi dalam wilayah geografis tertentu untuk populasi penting. Dalam peta-peta ini, jumlah penduduk, persentase orang berusia 65 tahun, dan persentase orang miskin berdasarkan Perkiraan Survei Komunitas Amerika 2014 ditunjukkan melalui sensus.



Memahami pengaruh lingkungan alam dan buatan dimungkinkan dengan GIS (1–3). Misalnya, menjelajahi distribusi orang di komunitas dan lingkungan sekitar, lokasi sekolah, fasilitas penitipan anak, atau fasilitas tempat tinggal senior relatif terhadap lokasi industri mungkin membuktikan kunci investigasi. Selama bencana alam atau pelepasan bahan kimia, citra dapat berguna untuk memahami tingkat kerusakan, untuk melacak pergerakan populasi, dan untuk memandu perencanaan dan logistik perjalanan untuk kerja lapangan. Selain itu, mengidentifikasi rute transportasi dan lokasi utilitas umum mungkin berkaitan dengan pemahaman moda transmisi potensial (Gambar 17.3).

**Gambar 17.3. Analisis jaringan.** Penggunaan jaringan jalan raya atau transportasi umum memberikan analisis waktu perjalanan, jarak, dan konektivitas yang lebih akurat melalui metode penyangga yang lebih tradisional. Melalui analisis jaringan, rangkaian peta ini menunjukkan perubahan akses ke apotek akibat dampak Badai Maria di pulau Puerto Rico.



GIS dapat menjadi sumber utama untuk menghasilkan rencana pengambilan sampel. Dengan menggunakan GIS, peneliti dapat memilih rumah atau area di dalam komunitas untuk kegiatan pengambilan sampel ([Gambar 17.4](#)).

**Gambar 17.4. Menggunakan sistem informasi geografis untuk pengambilan sampel.**

Seperti yang ditunjukkan di sini, data perumahan, jalan, dan informasi lingkungan dapat digunakan untuk mengembangkan rencana pengambilan sampel saat melakukan kerja lapangan.



Demikian pula, peneliti dapat menggunakan data jaringan jalan untuk mengembangkan rute yang dapat dioptimalkan untuk pengumpulan data. Sebelum kegiatan lapangan di Panama, misalnya, peneliti menggunakan GIS untuk melakukan karakterisasi berbagai tingkatan hutan yang berdekatan dengan desa untuk pemilihan lokasi studi (7). Selain itu, peneliti menggunakan peta untuk menentukan aksesibilitas setiap desa.

Tergantung pada lokasi wilayah studi (yaitu, domestik vs internasional), tingkatan data yang berbeda mungkin tersedia. Dalam situasi domestik, data terkini dan historis dari Biro Sensus AS dan citra satelit sudah tersedia. Hal ini juga mungkin terjadi di beberapa pengaturan internasional; namun, tidak mudah untuk memperoleh informasi ini sebelum penugasan. Dalam situasi seperti ini, investigator bisa mengandalkan pada informasi yang tidak baru atau informasi dengan rincian minimal sebelum memulai kegiatan lapangan. Dalam keadaan seperti ini, tim harus mempertimbangkan untuk mengumpulkan data yang relevan setelah tiba di lokasi.

## Memilih Perangkat Lunak dan Peralatan GIS

Paket GIS komersial dan sumber terbuka menawarkan opsi perangkat lunak yang berguna (4, 8). Selain itu, ada paket perangkat lunak statistik dengan kemampuan analisis spasial. Ketika memilih paket GIS, pengguna harus mempertimbangkan pengumpulan data, analisis, dan kebutuhan visualisasi, serta sumber daya teknis dan keuangan yang tersedia, dalam menentukan paket mana yang paling layak.

## Mengembangkan Kapasitas GIS

Awal investigasi sering kali merupakan waktu terbaik untuk berkolaborasi dengan pakar GIS karena orang tersebut dapat memberikan saran mengenai peta, data, dan rencana analisis terkait. Melibatkan pakar GIS sejak awal juga dapat membangun kapasitas GIS di antara tim lapangan. Selama tahun 2017, misalnya, tim dari Pusat Kesehatan Global CDC bekerja sama dengan pakar GIS dalam Program Penelitian, Analisis, dan Layanan Geospasial untuk menentukan metode terbaik untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis lokasi di mana pekerja seks aktif di Papua New Guinea (9). Kolaborasi tersebut menghasilkan rencana untuk menentukan lokasi untuk melakukan survei, menerapkan metode pengumpulan data lokasi, dan memungkinkan analisis data spasial, yang mengarah pada pengembangan alat pemetaan interaktif. Setelah selesai, tidak hanya data relevan yang dikumpulkan, tetapi tim mulai mengembangkan kapasitas GIS internal.

## Rangkuman

- Peta referensi umum dapat memberikan pengetahuan situasional.
- Peta dapat berguna untuk menetapkan batas-batas wilayah investigasi.
- Peta dapat berperan dalam mengembangkan rencana pengambilan sampel.
- Data yang tersedia untuk umum (misalnya, Biro Sensus AS dan data hasil kesehatan) dapat dipetakan dan dievaluasi untuk bidang minat tertentu.
- Data citra juga mungkin informatif, terutama ketika mencoba menilai kerusakan akibat bencana alam.
- Mengundang SME GIS untuk berpartisipasi dalam proses perencanaan dapat membangun kapasitas tim lapangan.

## LANGKAH 2. KONFIRMASI DIAGNOSIS

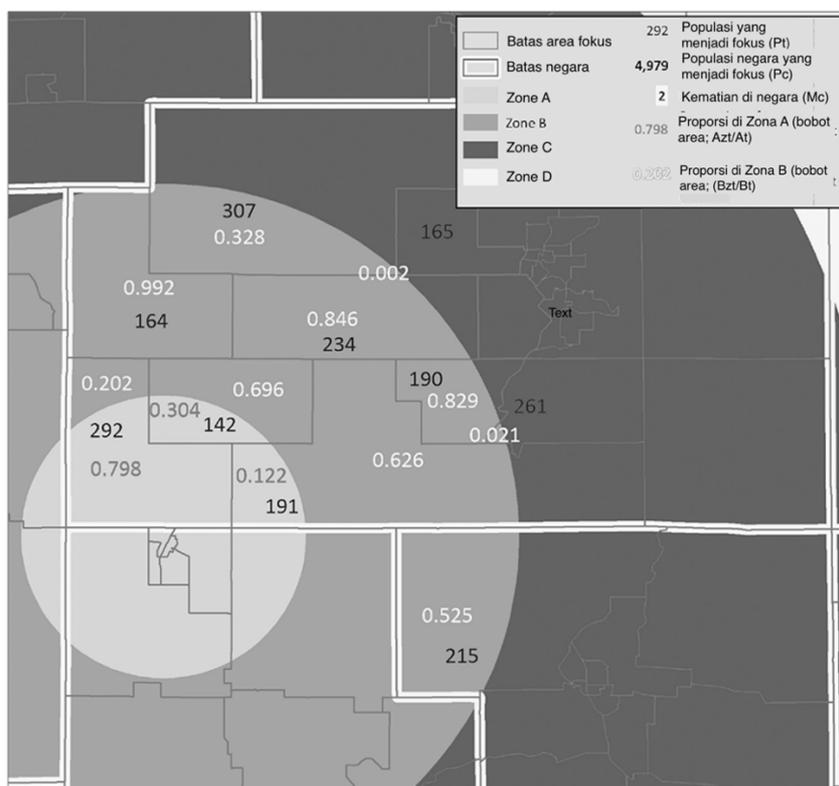
Investigator lapangan mungkin mulai mengekstrak informasi lokasi yang diberikan langsung dari laporan laboratorium. Alamat tempat tinggal pasien pada saat diagnosis sering dikumpulkan bersama dengan spesimen untuk pengujian laboratorium. Oleh karena itu, data ini harus tersedia ketika laboratorium atau rumah sakit melaporkan hasilnya. Jika informasi ini tidak tersedia melalui laporan laboratorium atau catatan elektronik lainnya, tim lapangan harus mempertimbangkan apakah informasi lokasi akan penting untuk analisis dan menentukan metode untuk mengumpulkan data tersebut.

### LANGKAH 3. TENTUKAN KEBERADAAN EPIDEMI

#### GIS untuk Menentukan Populasi Berisiko

Ketika menentukan apakah suatu *outcome* kesehatan tertentu terjadi pada tingkat yang lebih besar dari rate yang diperkirakan, populasi berisiko yang tepat harus ditentukan. Ini sering melibatkan perkiraan suatu populasi dalam wilayah geografis tertentu. Data sensus sudah tersedia di berbagai unit geografis (misalnya, blok, saluran sensus, distrik, dan negara bagian) dalam file yang mudah diproses di GIS (6). Demikian pula, mengevaluasi data sensus dengan GIS dapat membantu dalam mengidentifikasi populasi perbandingan yang relevan. Sering kali, batas-batas geopolitik yang sudah ada sebelumnya cukup untuk memperkirakan karakteristik populasi. Namun, hal ini tidak selalu terjadi. Misalnya, pola angin dapat membawa kontaminan hanya ke sebagian daerah atau melintasi beberapa saluran sensus, menciptakan bentuk yang tidak standar. GIS dapat menghitung *area of interest* dan digunakan untuk memperkirakan proporsi *area of interest* relatif terhadap batas geopolitik yang diketahui. Proporsi ini kemudian dapat diterapkan pada data populasi untuk memperkirakan populasi yang diinginkan (Gambar 17.5).

**Gambar 17.5. Menerapkan sistem informasi geografis (GIS) untuk memperkirakan populasi yang menarik dalam area tertentu.** Melalui GIS, dimungkinkan untuk memperkirakan karakteristik sosiodemografis ketika batas-batas kepentingan tidak sesuai dengan batas-batas politik standar. Estimasi ini dapat dihitung dengan mengalokasikan proporsi yang sama dari wilayah geografis yang termasuk dalam batas kepentingan untuk karakteristik sosiodemografis. Sumber: [Referensi 10](#).

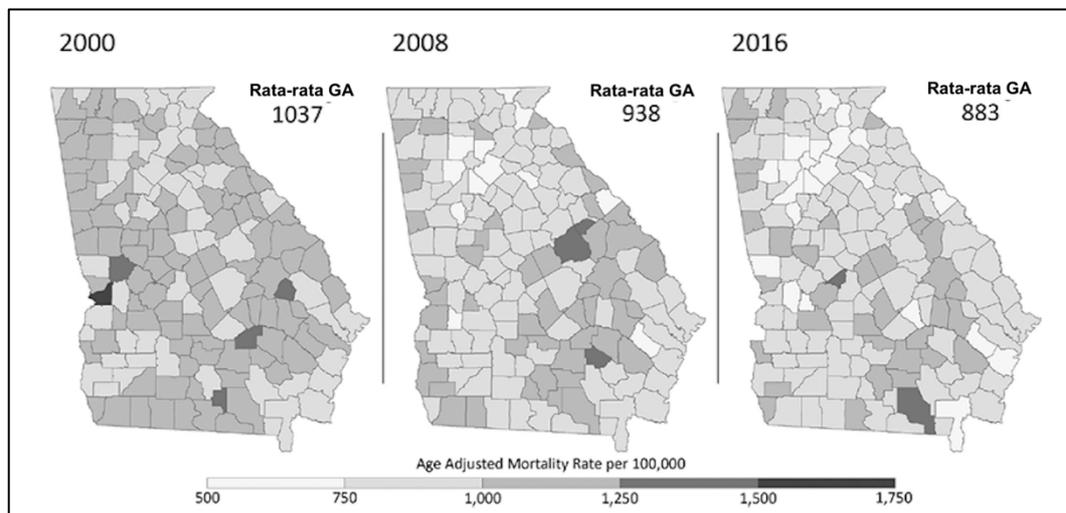


## Menjelajahi Angka Secara Lintas Ruang dan Waktu

Analisis spasial dan temporal awal dari tingkat dasar akan berguna pada tahap investigasi awal ini untuk menetapkan keberadaan KLB. Melalui metode spasial dan temporal, perkiraan perubahan tingkat penyakit atau cedera sepanjang waktu mungkin menjadi jelas. Serangkaian peta statis dapat menyajikan tren temporal distribusi penyakit ([Gambar 17.6](#)).

**Gambar 17.6. Serangkaian peta menyediakan cara yang efisien untuk menyajikan aspek yang berbeda dari data yang sama secara bersamaan.**

Seri tersebut dapat mewakili tingkat populasi dengan karakteristik sosiodemografis yang berbeda, atau dapat digunakan untuk mengeksplorasi perubahan dari waktu ke waktu. Penurunan angka kematian yang disesuaikan dengan usia di Georgia dapat dilihat pada data dari tahun 2000, 2008, dan 2016.



Peta mikro terkait, jenis seri peta lainnya, dapat menampilkan tingkat penyakit di area yang sama sepanjang waktu atau kelompok populasi yang berbeda ([3](#), [8](#), [11](#)). Selain itu, perangkat lunak interaktif tersedia untuk memberikan gambaran distribusi penyakit sepanjang waktu.

## Mengungkap Faktor Risiko

Analisis faktor risiko lingkungan (misalnya, arah angin, kecepatan angin, atau sumber air minum) dapat membantu mengungkap rute *exposure* umum. GIS juga dapat digunakan untuk mengeksplorasi dan mendefinisikan jaringan sosial yang penting dalam memahami penyebaran penyakit. Jika sumber penularan ditentukan, lokasi umum juga dapat terungkap. Setidaknya, peneliti lapangan dapat mulai memikirkan metode untuk memperoleh informasi lokasi pasien dan lokasi yang dicurigai di mana infeksi mungkin terjadi untuk mulai menghasilkan hipotesis mengenai faktor *exposure* dan penularan.

## Rangkuman

- Batas-batas geografis dapat disesuaikan dengan wilayah studi tertentu dan dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah dan karakteristik populasi yang mendasarinya.
- Analisis spasial dan temporal awal dapat memberikan bukti tingkat penyakit yang tidak biasa sepanjang waktu.
- Visualisasi dapat memberi tahu tim tentang faktor-faktor penularan potensial dan perubahan pola penyakit di tempat dan waktu yang berbeda.

## LANGKAH 4. IDENTIFIKASI DAN HITUNG KASUS

### Mengumpulkan dan Geocoding Data Lokasi

Alamat jalan pada saat diagnosis penyakit ditegakkan, baik tempat tinggal atau tempat umum, biasanya merupakan bagian dari upaya pengumpulan data rutin; namun, harus diingat bahwa sangat penting untuk mengumpulkan informasi lokasi dalam format standar (3). Setelah dikumpulkan, data ini dapat diubah menjadi titik atau bentuk untuk pemetaan, proses ini dikenal sebagai *geocoding* (3, 12,13). Memberikan instruksi khusus untuk mengumpulkan informasi alamat yang lengkap dan akurat dapat mempengaruhi penempatan titik yang benar (3, 12).

Tim lapangan dapat menentukan secara dini metode yang dipilih untuk mengumpulkan koordinat geografis selama pengumpulan data di lapangan (2). Mengingat inkonsistensi dalam tidak tersedianya data alamat yang lengkap dan akurat, variabilitas akurasi perangkat lunak *geocoding*, dan ketersediaan perangkat *Global Positioning System* (GPS) yang luas, mengumpulkan koordinat GPS mungkin terbukti lebih baik daripada data alamat. Selain itu, memperoleh data tingkat alamat untuk analisis dalam lingkup internasional merupakan tantangan tersendiri, terutama di lokasi terpencil di mana alamat standar mungkin tidak tersedia untuk pengumpulan data atau untuk proses *geocoding*. Misalnya, selama epidemi penyakit virus Ebola selama 2014-2016, infeksi menyebar dengan cepat. Di satu desa yang sangat terpencil, identifikasi cepat orang yang terinfeksi dan isolasi mereka sangat penting untuk membatasi penularan. Selama kerja lapangan tersebut, investigator menggunakan perangkat GPS untuk mengumpulkan garis lintang dan garis bujur dari setiap lokasi rumah tangga selama pengumpulan data dan wawancara (14). Memiliki lokasi rumah tangga ini memungkinkan analisis spatiotemporal dari faktor risiko penularan. Tanpa lokasi titik, pemeriksaan faktor risiko di tingkat rumah tangga tidak mungkin dilakukan.

Selain data GPS, informasi lokasi jaringan dari perangkat seluler mungkin digunakan untuk mengidentifikasi lokasi. Saat ini, hampir semua perangkat seluler standar dapat menghasilkan data geografis. Dalam satu contoh kerja lapangan di Afrika, investigator

lapangan menggunakan fungsi *geotagging* pada ponsel mereka untuk mengambil gambar untuk mendokumentasikan lokasi mereka.

### **Lebih dari Sekedar Titik di Peta**

Kesalahpahaman yang umum terjadi adalah bahwa lokasi hanya dapat mewakili satu posisi. Mengumpulkan data spasial dalam format selain titik (misalnya, garis atau poligon) juga bersifat informatif (2–4). Selain itu, data spasial tertentu dapat mewakili ide-ide abstrak (misalnya tempat untuk beraktivitas) (15,16). Tempat untuk beraktivitas dapat mencakup tempat kerja, rumah ibadah, tempat tinggal, restoran, tempat pembelian makanan, tempat rekreasi, tempat tinggal teman, dan tempat lain yang mungkin sering dikunjungi oleh orang yang berkepentingan. Oleh karena itu, ketika di lapangan, peneliti tidak boleh terbatas pada pencatatan alamat jalan atau penetapan satu titik georeferensi.

Memvisualisasikan titik distribusi produk yang terkontaminasi melalui data jaringan jalan dapat menjadi informasi selama proses identifikasi kasus. Data spasial lain yang mungkin menarik mencerminkan pergerakan material antara fasilitas dan titik interaksi dengan populasi yang terkena dampak. Produk makanan dapat mengalami perjalanan panjang dari produksi atau panen ke konsumen dan setiap lokasi di sepanjang rute. Bahkan rute itu sendiri bisa menjadi sumber risiko. Lokasi pemrosesan (misalnya, instalasi pengolahan air atau penghangat, ventilasi, dan *air condition*) juga dapat menjadi sumber risiko. Mengumpulkan data tentang lokasi dan koneksi antara jaringan ini dapat membantu pemahaman tim tentang faktor risiko.

Selain itu, GIS dan informasi lokasi dapat berguna dalam memahami dampak intervensi tertentu atau perubahan pada lingkungan alami atau buatan. Misalnya, di Atlanta, Georgia, GIS dan informasi lokasi digunakan untuk mempelajari kemungkinan dampak kesehatan bagi penduduk yang dihasilkan dari pengembangan "Jalur Pejalan Kaki (*Beltline*)" kota untuk meningkatkan kenyamanan berjalan kaki di perkotaan dan meningkatkan perjalanan aktif (17,18). Upaya pengumpulan data lapangan meliputi lokasi dan pengukuran karakteristik trotoar, kenyamanan berjalan kaki, dan estetika (Gambar 17.7). Data dikumpulkan untuk segmen jalan tertentu, dipetakan, dan dianalisis secara spasial untuk memeriksa kemungkinan dampak "Jalur Pejalan Kaki" terhadap kesehatan penduduk setempat.

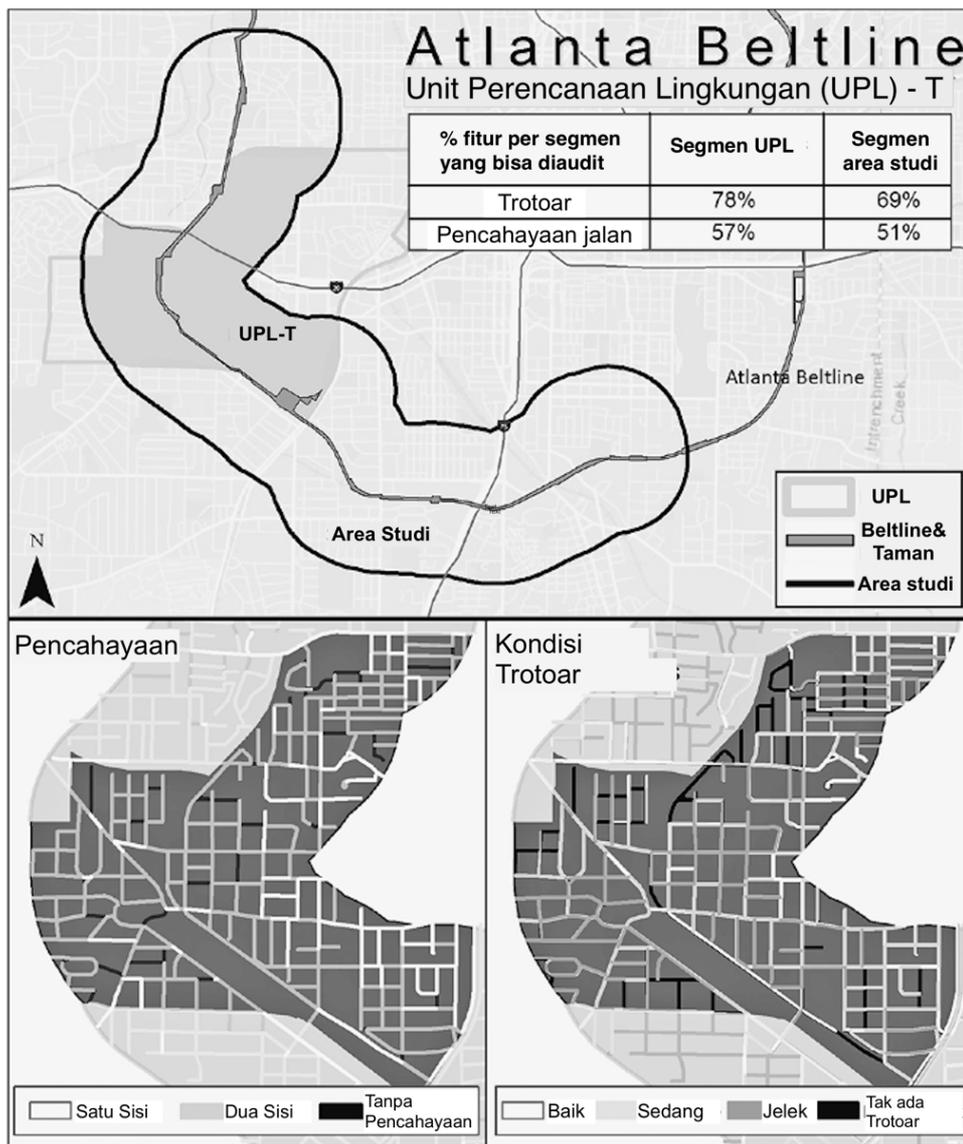
### **Rangkuman**

- GIS dapat digunakan untuk menentukan tempat yang terkait dengan definisi kasus.
- GIS dapat menjadi informasi untuk merencanakan metode pengumpulan data lapangan.
- Jenis analisis akan mempengaruhi kebutuhan data spasial dan alat pengumpulan data spasial.

- Data tingkat geografis yang dikumpulkan selama kegiatan lapangan akan mempengaruhi kekhususan visualisasi dan metode statistik spasial selama analisis.
- Peneliti lapangan harus berpikir di luar pengumpulan garis lintang dan garis bujur, *point-level data*.

**Gambar 17.7. Mengumpulkan data tentang lingkungan alam atau buatan.**

Data sistem informasi geografis tentang lingkungan alam atau buatan dapat dikumpulkan di lapangan, dipetakan, dan dianalisis secara spasial. Peta ini mencirikan data tentang kenyamanan pejalan kaki di area studi di sekitar Atlanta BeltLine.



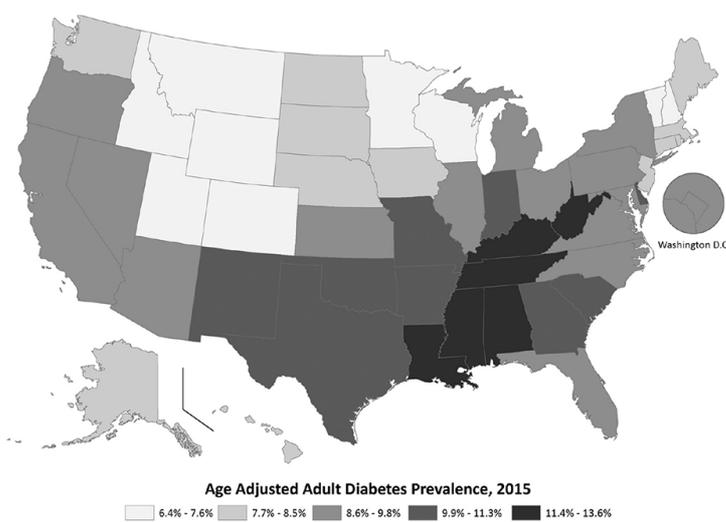
## LANGKAH 5. TABULASI DAN DISTRIBUSI DATA BERDASARKAN WAKTU, TEMPAT, DAN ORANG (EPIDEMIOLOGI DESKRIPTIF)

### Mencirikan Distribusi Geografis dan Sosiodemografis Penyakit

Sering kali, tampilan pertama pada data melibatkan pembuatan peta yang memvisualisasikan distribusi penyakit. Peta dapat terdiri dari titik-titik yang mewakili lokasi setiap kasus atau menampilkan distribusi geografis dari rate atau perubahan dalam distribusi jumlah atau rate sepanjang waktu ([1-3](#), [8](#)). Data penghitungan dan rate dapat digabungkan ke unit geografis yang berbeda (misalnya, jalur sensus, distrik, atau kode pos). Teknik yang dikenal sebagai *pemetaan choropleth* memvisualisasikan intensitas hitungan atau rate dengan menggunakan agregasi batas ([Gambar 17.8](#)) ([1-3](#), [8](#)). Memilih *breakpoint* klasifikasi dan skema warna adalah pertimbangan utama ([8](#), [19](#)).

Analisis tidak harus dibatasi pada batas-batas geopolitik yang umum digunakan. Misalnya, pemetaan akumulasi kasus di antara rumah-rumah di dalam desa mungkin berguna. Dengan informasi ini, peta *choropleth* dari jumlah kasus, atau angka, dalam setiap rumah dapat dibandingkan dengan jumlah di rumah lain dalam wilayah studi. Kemungkinan lain adalah peta untuk mewakili lokasi kasus kamar dalam sebuah bangunan (misalnya, di rumah sakit atau panti jompo).

**Gambar 17.8.** Peta *Choropleth* menawarkan gambaran tentang variasi dalam distribusi penyakit melalui penggunaan warna untuk menunjukkan perbedaan nilai. Warna yang lebih gelap sering dikaitkan dengan nilai yang lebih besar.



### Operasi GIS dan Utilitasnya

Analisis *point level* (pada tingkat titik) kasus dapat memberikan gambaran tentang luasnya distribusi penyakit. Data *point-level* juga diperlukan untuk mengevaluasi pengelompokan spasial penyakit. Sebagai alternatif, analisis ruang (*space analysis*)

area layanan atau tempat beraktivitas dapat membantu mencirikan tingkat distribusi penyakit dengan skala yang lebih relatif dan temporal. Seperti disebutkan sebelumnya, keuntungan lain dari GIS adalah memasukkan informasi terkait spasial lainnya ke dalam analisis, sehingga memberikan konteks untuk pola penyakit dan wawasan mengenai faktor risiko berbasis tempat. Misalnya, selama KLB shigellosis di Flint, Michigan 2016, kasus dikumpulkan berdasarkan area sensus untuk pelaporan dan visualisasi. Dengan melakukan hal tersebut, tim berhasil mempelajari rate kasus dalam kaitannya dengan kejadian kualitas air yang dilaporkan, sehingga mengarah pada analisis spasial yang lebih mendalam ([20](#)).

### **Menyediakan Konteks dengan Data Tambahan**

Melakukan analisis data tambahan (misalnya, data lingkungan atau infrastruktur) memungkinkan kontekstualisasi lebih lanjut dari masalah kesehatan-masyarakat. Misalnya, selama investigasi kadar timbal yang meningkat di Flint, Michigan, data sistem pasokan air sangat penting untuk memahami sumber umum kontaminasi dan mengidentifikasi populasi yang sangat rentan (yaitu, anak-anak). Demikian pula, informasi garis air digunakan untuk membuat model residu klorin guna memahami KLB shigellosis di kemudian hari di area yang sama ([20](#)).

Sumber daya lain adalah data penginderaan jauh. Data penginderaan jauh mencakup citra udara dan satelit, atau dapat berupa data yang dikumpulkan oleh sensor pada satelit yang mengorbit di ruang angkasa ([2](#)). Teknik penginderaan jauh dapat membantu dalam menemukan fitur geografis utama atau memantau perubahan sepanjang waktu. Pencitraan dapat sangat berguna dalam mempersiapkan tanggapan terhadap bencana alam dengan memberikan pandangan udara tentang kerusakan lingkungan dan infrastruktur serta populasi yang terdampak. Misalnya, setelah badai Harvey menyerang Texas pada tahun 2017, investigator lapangan menganalisis citra satelit untuk memprediksi dan mencegah *exposure* jamur. Setelah gempa bumi 2010 di Haiti, citra satelit digunakan untuk menemukan populasi yang terdampak dan untuk mengidentifikasi lokasi di mana penduduk yang terkena dampak pindah untuk mencari perlindungan. Selama respons infeksi virus Zika 2016–2017 di Puerto Rico, teknik penginderaan jauh tanda spektral digunakan untuk menemukan genangan air, yang berfungsi sebagai tempat berkembang biak nyamuk *Aedes aegypti* yang berpotensi membawa virus Zika ([Gambar 17.9](#)).

### **Memvisualisasikan Penyakit Lintas Waktu**

GIS dapat digunakan untuk memvisualisasikan perkembangan penyakit, perubahan konsentrasi, atau distribusi faktor risiko sepanjang waktu. Seri peta statis, peta mikro interaktif terkait, dan animasi adalah metode untuk visualisasi tersebut. Animasi penyebaran infeksi virus Ebola di antara rumah tangga dan penerapan isolasi dan karantina seluruh rumah tangga dan desa di Sierra Leone sangat informatif dalam memahami kurva epidemiologi KLB tersebut ([14](#)). Alat baru juga sedang dikembangkan untuk memvisualisasikan kemiringan kurva epidemiologi untuk setiap

unit geografis dalam wilayah studi. Saat arah dan besarnya kemiringan ini dipetakan, visualisasi dari tahapan, besaran, dan distribusi geografis suatu KLB dapat diwujudkan.

### Rangkuman

- Pemetaan data jumlah dan rate menggambarkan distribusi penyakit dan faktor risiko potensial baik di tingkat distrik, rumah tangga, atau ruang.
- Data tambahan menambah dimensi lain pada analisis, memungkinkan kontekstualisasi lebih lanjut dari masalah kesehatan-masyarakat.
- Lingkungan, infrastruktur, jaringan transportasi, sistem air, dan citra satelit adalah sumber daya tambahan pada umumnya.
- Peta mikro dan animasi terhubung sangat membantu untuk menggambarkan distribusi penyakit sepanjang waktu.

**Gambar 17.9. Analisis citra.** Fotografi udara dan citra satelit dapat menyediakan data untuk mengekstrak fitur utama di lingkungan. Dalam contoh ini, klasifikasi citra udara digunakan untuk mengidentifikasi habitat nyamuk potensial dengan adanya air.



## LANGKAH 6. PERTIMBANGKAN TINDAKAN PENGENDALIAN

### Memilih Lokasi Pengendalian dan Pencegahan

Peta dan hasil geostatistik dapat memandu keputusan tentang kapan dan di mana tindakan pengendalian, pencegahan, dan surveilans harus diterapkan. Pada KLB yang terkait dengan *exposure* lingkungan atau penyakit yang ditularkan melalui vektor, hasilnya dapat memetakan area yang paling membutuhkan atau mengungkap potensi sumber penyebaran penyakit baru. Selama KLB infeksi virus Zika 2016–2017, unit pengendalian vektor di Puerto Rico menggunakan teknik GIS untuk menggambarkan

wilayah berbasis populasi dalam menempatkan perangkap nyamuk. Data yang dikumpulkan dari perangkap ini divisualisasikan, dan peta yang dihasilkan digunakan untuk memperkirakan virus Zika di daerah yang terkena dampak parah di Puerto Rico. Selama respons yang sama, unit epidemiologi menggunakan GIS untuk menyilangkan data yang mencirikan perempuan usia subur dan perubahan mingguan dalam insiden infeksi virus Zika berdasarkan distrik untuk menentukan di mana fokus intervensi pendidikan dan untuk mendistribusikan kit pencegahan infeksi virus Zika.

### **Rangkuman**

- Visualisasi angka melalui pemetaan memungkinkan identifikasi kemungkinan lokal untuk menerapkan tindakan pengendalian dan pencegahan.
- Hasil dari analisis geospasial berguna untuk menentukan area dengan kebutuhan tertinggi, memprediksi lokasi yang menjadi perhatian di masa depan, dan mengidentifikasi populasi tertentu yang berisiko.

## **LANGKAH 7 DAN 8. KEMBANGKAN DAN UJI HIPOTESIS DAN RENCANAKAN STUDI**

### **Menggunakan Hasil Deskriptif Geospasial untuk Menghasilkan Hipotesis**

Peta yang dihasilkan dari hasil deskriptif dapat membantu dalam mengembangkan teori tentang kemungkinan rute *exposure* dan interaksi antara faktor risiko dan populasi yang rentan. Menggunakan peta dan hasil analisis deskriptif dapat memandu pengembangan hipotesis mengenai agen penyebab penyakit, cara penularan, dan lokasi *exposure*. Dengan informasi ini, tim lapangan dapat menentukan kebutuhan untuk analisis tambahan, mungkin menerapkan statistik geospasial lanjutan lainnya untuk lebih memahami hubungan spasial dan temporal antara risiko yang dicurigai dan penyakit.

### **Metode Analisis Geospasial untuk Desain Studi**

Membuat peta risiko dengan menggunakan *overlay* spasial dan metode interpolasi untuk memperkirakan nilai di lokasi tanpa sampel atau teknik regresi spasial dapat digunakan untuk lebih memahami distribusi geografis dari faktor risiko potensial atau proses penyakit (3, 21). *Analisis klaster* memberi peneliti perkiraan statistik yang dapat diukur untuk mengevaluasi apakah nilai serupa terjadi di dekat satu sama lain dan apakah kejadian random (3, 21). Analisis klaster dapat sangat berguna dalam pembuatan hipotesis dan evaluasi faktor risiko mengenai tempat dan waktu. Ikhtisar teknik spasial lanjutan dan inferensial terpilih yang dapat berguna dalam redefinisi hipotesis dan pengembangan studi tambahan disediakan ([Tabel 17.1](#)).

### **Rangkuman**

- Hasil pemetaan dan analisis spasial memberikan informasi yang relevan untuk menghasilkan hipotesis penelitian.

- Metode geospasial dapat menghasilkan perkiraan untuk area di mana hanya data yang tersedia mungkin terbatas, sehingga membantu dalam menghasilkan investigasi tambahan.
- Analisis kluster berguna dalam memberikan bukti statistik dari proses penyakit non-random.

## LANGKAH 9. MENERAPKAN DAN MENGEVALUASI TINDAKAN PENGENDALIAN DAN PENCEGAHAN

### Pendekatan Geospasial Jangka Pendek dan Jangka Panjang untuk Evaluasi

Metode geospasial yang dijelaskan sejauh ini juga berguna untuk memahami dampak upaya pengendalian dan pencegahan. Secara khusus, visualisasi rate berdasarkan lokasi dapat menyoroti wilayah lokal, di mana tindakan pengendalian mungkin lebih atau kurang efektif. Mengidentifikasi tempat-tempat ini dan kemudian mengungkap faktor-faktor yang mempengaruhi efikasi tindakan tersebut dapat berguna untuk menentukan apakah perubahan pada tindakan pengendalian diperlukan, dan jika demikian, di mana perubahan mungkin diperlukan. Sebagai contoh, para peneliti dapat melacak perubahan tingkat kematian terkait opioid di berbagai lokasi untuk mengidentifikasi di mana upaya berhasil atau tidak (22).

Analisis spatiotemporal menyediakan para peneliti alat untuk mengeksplorasi dan mengukur hubungan yang kompleks antara faktor risiko penyakit dan kegiatan pencegahan. Menggunakan contoh epidemi overdosis opioid, metode geospasial mengungkapkan dampak penempatan tindakan pencegahan (misalnya, lokasi perawatan, sumber daya pemulihan, atau kotak obat resep) (22). Peneliti dapat menggunakan animasi *time-series*, *map-series*, peta mikro terkait, dan pemodelan spatiotemporal untuk mengevaluasi jenis tren ini. Waktu transit dan analisis area layanan kesehatan dapat mengungkapkan peluang yang terlewatkan untuk pencegahan atau menyoroti area di mana intervensi spesifik berhasil. Informasi tersebut dapat berguna dalam menentukan di mana sumber daya tambahan dan tindakan pengendalian diperlukan.

**Tabel 17.1. Operasi geospasial untuk epidemiologi lapangan**

Pertanyaan penelitian	Operasi geospasial	Keterangan
Bagaimana sebaran geografis data di wilayah studi?	Mean/median center Distribusi arah ( <i>directional distribution</i> ); elips standar deviasi; rata-rata arah linier	Mengidentifikasi pusat geografis Meringkas tren arah

Apakah ada pengklasteran atau keseragaman di wilayah studi? Artinya, apakah ada autokorelasi spasial?	Global Moran's I (polygon); Ripley's K Function (Point); Weight K (Count, Incidence)	Mendeteksi apakah ada klastering atau keseragaman di suatu area
Di manakah <i>hot spot</i> (atau <i>cold spot</i> ) secara khusus berada di wilayah studi?	Indikator Lokal dari Asosiasi Spasial (Statistik LISA); Getis Gi-Ord	Mengungkapkan area dengan klaster nilai tinggi dan klaster nilai rendah dalam suatu wilayah.
Apakah data terdekat cenderung muncul pada waktu yang hampir bersamaan? Artinya, apakah data tersebut mengelompok dalam ruang dan waktu?	Statistik ruang-waktu: $k$ tetangga terdekat; Pemindaian spasial Kulldorf; Uji Knox	Mengungkapkan apakah data pengklasteran dalam ruang dan waktu (walaupun tidak mengelompok dalam ruang atau waktu secara individual)
Apa nilai yang paling mungkin dari variabel di lokasi yang tidak diambil sampelnya?	Statistik mean atau median atau diagram Voronoi	Menggunakan input <i>data-point</i> untuk membagi area studi menjadi poligon sehingga area di dalam setiap poligon lebih dekat ke titik kontrol daripada titik lainnya
	Estimasi densitas kernel; pembobotan jarak terbalik	Perkirakan kepadatan kejadian atau nilainya, per satuan luas
	Kriging	Secara empiris menghitung dan menyesuaikan model untuk membuat landasan prediksi dan kesalahan
Bagaimana nilai yang diamati di lokasi tertentu dijelaskan oleh berbagai faktor lain, mengingat mereka memiliki nilai yang berbeda di lokasi yang berbeda?	Spatial regression models: ordinary least squares; generalized linear mixed models; geographically weighted regression	Model regresi dapat diterapkan pada data spasial untuk menentukan variabel bebas apa yang mungkin menjelaskan hasil dependen secara spasial
	Bayesian statistics; conditional and simultaneously autoregressive models	Model spasial yang menjelaskan ruang dalam model dengan menggunakan matriks jarak tertimbang

## Rangkuman

- Pemetaan dapat mengidentifikasi tempat di mana tindakan pengendalian terbukti efektif.

- Pemetaan dan analisis spasial dapat mengungkap faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan tindakan pengendalian, sehingga memungkinkan peneliti untuk menyesuaikan program.
- Analisis jaringan, animasi *time-series*, *map-series*, peta mikro terkait, dan pemodelan spasiotemporal adalah metode untuk mengevaluasi tren jangka panjang.

## LANGKAH 10. KOMUNIKASIKAN TEMUAN

### Komunikasi yang Efisien dan Efektif Melalui Pemetaan

Peta adalah salah satu cara paling efisien untuk memandu kesadaran situasi dengan cepat dan mengkomunikasikan informasi berkaitan dengan tempat tentang kejadian, *prevalence*, *exposure* lingkungan atau infrastruktur, dan informasi spasial terkait lainnya. Selama KLB penyakit besar (misalnya, KLB infeksi virus Zika dan Ebola), peta mingguan membantu memvisualisasikan insiden dan pergeseran geografis keberadaan penyakit. Setelah Badai Maria menghancurkan Puerto Rico pada tahun 2017, Satuan Tugas Perawatan dan Tindakan Penanggulangan Medis CDC menggunakan peta berbasis Internet interaktif untuk mengakses data sumber terbuka mengenai lokasi dan status apotek, rumah sakit, dan infrastruktur kesehatan lainnya. Informasi yang diberikan oleh peta-peta ini sangat penting dalam menentukan tempat terbaik untuk mengarahkan sumber daya medis.

Peta memberikan kesadaran situasional yang penting dan mengkomunikasikan temuan kepada lembaga tanggap darurat dan otoritas setempat. Selain itu, mereka dapat digunakan untuk berbagi informasi dengan populasi yang terkena dampak. Misalnya, selama KLB infeksi virus Zika 2016–2017 di Puerto Rico, dinas kesehatan pulau itu menerbitkan peta mingguan jumlah kasus dan insiden berbasis Internet, yang memberikan informasi terbaru kepada publik tentang bagaimana KLB itu berubah (23).

### Rangkuman

- Peta dengan cepat mengungkapkan dan mengkomunikasikan informasi terkait tempat tentang distribusi penyakit dan proses penyakit.
- Peta memberikan informasi penting untuk mengarahkan sumber daya perawatan kesehatan dan memfokuskan tindakan pencegahan dan pengendalian.
- Peta berguna dalam berkomunikasi dengan banyak pemangku kepentingan.

## KESIMPULAN

Bab ini telah menyoroti teknik, sumber daya, dan metode GIS yang merupakan bagian integral dari 10 langkah proses investigasi lapangan. GIS dapat menjadi alat untuk

mengidentifikasi dan menentukan lokasi investigasi lapangan lebih lanjut. Menemukan keseimbangan antara kebutuhan akan kesadaran situasional dengan data spasial yang cepat, namun lengkap dan akurat adalah sebuah seni. Pendekatan ini memerlukan pertimbangan kekuatan dan keterbatasan instrumen pengumpulan data, fasilitas pengumpulan data lokasi, keakuratan data lokasi, dan atribut terkait untuk memahami risiko penyakit.

Pada akhirnya, pengumpulan data lokasi yang relevan hanyalah salah satu bagian dari investigasi lapangan, tetapi data lokasi tetap merupakan bagian utama dan harus dipertimbangkan sejak awal investigasi. Satu solusi tidak cocok untuk semua investigasi lapangan. Tidak ada satu pun metode atau analisis pengumpulan data spasial yang paling cocok untuk setiap skenario investigasi lapangan. Oleh karena itu, GIS adalah salah satu alat dalam perangkat peneliti lapangan yang tidak boleh diabaikan.

## REFERENSI

1. Dent BD, Torguson JS, Hodler TW. *Cartography: Thematic Map Design*. 6th ed. New York: McGraw-Hill Higher Education; 2008.
2. Campbell J, Shin M. Essentials of geographic information systems. <https://open.umn.edu/opentextbooks/BookDetail.aspx?bookId=67>
3. Cromley EK, McLafferty SL. *GIS and Public Health*. 2nd ed. New York: The Guilford Press; 2012.
4. de Smith MJ, Goodchild MF, Longley PA. *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools*. 5th ed. <http://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html>
5. Mitchell A. *The ESRI guide to GIS analysis. Volume 1: geographic patterns & relationships*. Redlands, CA: ESRI Press; 1999.
6. US Census Bureau. TIGER products. <https://www.census.gov/geo/maps-data/data/tiger.html>
7. Dyer J, Tanner S, Runk J, Mertzlufft C, Gottdenker N. Deforestation, dogs, and zoonotic disease. *Anthropology News*. 2016;57:344–7.
8. Geography and Geospatial Science Working Group. Cartographic guidelines for public health. [https://www.cdc.gov/dhdsp/maps/gisx/resources/cartographic\\_guidelines.pdf](https://www.cdc.gov/dhdsp/maps/gisx/resources/cartographic_guidelines.pdf)
9. White RG, Hakim AJ, Salganik MJ, dkk. Strengthening the reporting of observational studies in epidemiology for respondent-driven sampling studies: “STROBE-RDS” statement. *J Clin Epidemiol*. 2015;68:1463–71.
10. Hallisey E, Tai E, Berens A, et. al. Transforming geographic scale: a comparison of combined population and areal weighting to other interpolation methods. *Int J Health Geogr*. 2017;16:29.
11. Pickle L, Carr D. Visualizing health data with micromaps. *Spat Spatiotemporal Epidemiol*. 2010;1:143–50.

12. Goldberg D. A geocoding best practice guide. [https://20tqtx36s1la18rvn82wcmnpn-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/11/Geocoding\\_Best\\_Practices.pdf](https://20tqtx36s1la18rvn82wcmnpn-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2016/11/Geocoding_Best_Practices.pdf)
13. Rushton G, Armstrong MP, Gittler J, dkk. *Geocoding Health Data: The Use of Geographic Codes in Cancer Prevention and Control, Research and Practice*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2008.
14. Gleason BL, Foster S, Wilt GE, dkk. Geospatial analysis of household spread of Ebola virus in a quarantined village—Sierra Leone, 2014. *Epidemiol Infect*. 2017;145:2921–9.
15. Lewin K. *Field Theory in Social Science*. Cartwright D, ed. New York: Harper and Row; 1951.
16. Schönfelder S, Axhausen KW. *Urban Rhythms and Travel Behaviour: Spatial and Temporal Phenomena of Daily Travel*. Burlington, VT: Ashgate; 2010.
17. Wilkin HA, Gallashaw C, Gayman M, Mingo C, Steward J, Kolling J. Community engagement and inclusion in research about the potential impact of changes in the built environment on the community. Presented at the American Public Health Association Annual Meeting and Exposition, November 7, 2017, Atlanta, Georgia. <https://apha.confex.com/apha/2017/meetingapp.cgi/Paper/385571>
18. Kanchik M. A Secondary Analysis of walkability data for the Atlanta BeltLine communities. [https://scholarworks.gsu.edu/iph\\_capstone/79/](https://scholarworks.gsu.edu/iph_capstone/79/)
19. Brewer CA. *Designing better maps: a guide for GIS users*. Redlands, CA: ESRI Press; 2005.
20. McClung RP, Castillo C, Miller A, dkk. *Shigella sonnei* outbreak investigation in the setting of a municipal water crisis—Genesee and Saginaw Counties, Michigan, 2016. Presented at the 66th Annual EIS Conference, April 24– 27, 2017, Atlanta, Georgia. <https://www.cdc.gov/eis/downloads/eis-conference-2017.pdf>
21. Waller LA, Gotway CA. *Applied Spatial Statistics for Public Health Data*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons; 2004.
22. Lindemann J. Oakland County, Michigan using data and maps to help understand and combat the opioid epidemic. New America Public Interest Technology blog. <https://www.newamerica.org/public-interest-technology/blog/oakland-county-michigan-using-data-and-maps-help-understand-and-combat-opioid-epidemic>
23. Gobierno de Puerto Rico, Departamento de Salud. Informe semanal de enfermedades arbovirales [in Spanish]. <http://www.salud.gov.pr/Estadisticas-Registros-y-Publicaciones/Pages/VigilanciadeZika.aspx>