

BAB 3

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Analisis Spasial) dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Sunaryo¹ dan Mujiyanto¹

A. Pendahuluan

Pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk merupakan upaya untuk menekan populasi vektor nyamuk serendah mungkin sehingga keberadannya tidak berisiko untuk terjadinya penularan penyakit di suatu wilayah. Pengendalian vektor dapat dilakukan dengan pengelolaan lingkungan secara fisik atau mekanis, penggunaan agen biotik, kimiawi, baik terhadap vektor maupun tempat perkembangbiakannya dan/atau perubahan perilaku masyarakat serta dapat mempertahankan dan mengembangkan kearifan lokal sebagai alternatif (Permenkes No. 34, 2010). Pendekatan spasial dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) penting dilakukan karena dengan SIG dapat memetakan daerah-daerah yang terkena penyakit, menentukan daerah-daerah yang berisiko tinggi terinfeksi, serta

Sunaryo* & Mujiyanto

*Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: aryryo51@gmail.com

©2024 Editor & Penulis

Sunaryo & Mujiyanto. (2024). Pemanfaatan sistem informasi geografis (analisis spasial) dalam pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (55–88). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589. c1273 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

memberikan informasi yang berguna bagi para ahli kesehatan dalam mengambil keputusan untuk menghadapi suatu wabah penyakit yang ditularkan oleh vektor nyamuk (Hadi et al., 2011; Good Doktor. ID, 2023).

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengelola informasi geografi yang sifatnya menjelaskan suatu keadaan ruang, wilayah, atau yang dikenal dengan istilah spasial. Sistem ini memanfaatkan teknologi informasi untuk mengumpulkan, menyimpan, memproses, menganalisis, dan menampilkan data geografis. SIG merupakan integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, dan data untuk menangkap, mengatur, menganalisis, dan menampilkan semua bentuk geografi yang memberikan informasi. Aplikasi SIG dapat melihat, memahami, bertanya, menerjemahkan, dan menampilkan data dengan banyak cara, seperti hubungan, simbol-simbol, dan tren dalam bentuk peta, laporan, atau grafik (Aronoff, 1989). Seorang ahli dalam kesehatan masyarakat yang dianggap sebagai pelopor berkembangnya penggunaan SIG adalah John Snow yang telah melakukan pemetaan terhadap kasus Kolera di Soho, London pada tahun 1854 sehingga akhirnya dapat menemukan sumber penularan penyakit Kolera (Begum, 2016).

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan maka pelayanan kesehatan dihadapkan pada masalah heterogenitas populasi yang menyebabkan makin kompleksnya penyakit berikut faktor risiko penyebabnya. SIG dapat digunakan untuk menganalisis heterogenitas tersebut, terutama yang berhubungan dengan perbedaan geografis/faktor lingkungan, faktor-faktor demografis, dan budaya (Harimurti, 2007).

Penyakit tular vektor nyamuk terdapat banyak variabel yang dapat dianalisis secara spasial, misalnya dari sisi epidemiologi yang meliputi 5W + 1H : *who, what, when, where, why*, dan *how* dapat dilakukan secara spasial atau keruangan, bahkan dengan menggunakan model spasial dapat memberikan gambaran yang lebih nyata dan mudah dipahami oleh berbagai kalangan, karena analisis dituangkan dalam bentuk peta (Prahasta , 2002). Analisis spasial tersebut menggunakan

teknik persebaran (*density*), tumpang susun (*overlay*), analisis area wilayah penyangga/radius (*buffer*), dan analisis pemodelan baik secara *forecasting* maupun *prediction* sehingga dapat menjawab bagaimana penyakit tular vektor terjadi di suatu wilayah dan apa yang menjadi penyebabnya.

Perkembangan aplikasi Sistem Informasi Geografis telah digunakan pada berbagai disiplin ilmu, termasuk ilmu kesehatan masyarakat, yaitu pada Epidemiologi Spasial (Spatial Epidemiology) (Indriasisih, 2008). Epidemiologi spasial adalah ilmu untuk mendeskripsikan dan menganalisis keragaman geografis pada penyakit dengan memperhatikan dimensi geografis, lingkungan, perilaku, sosial ekonomi, genetika, dan faktor risiko penularan. Epidemiologi spasial ini menghasilkan pemetaan penyakit (*diseases mapping*), *geographical correlation studies*, *clustering* penyakit, dan *surveillance* (Dirjen P2M & PL, 2001). SIG dalam bidang kesehatan masyarakat dapat digunakan untuk menentukan distribusi geografis penyakit, analisis tren spasial dan temporal, pemetaan populasi berisiko, stratifikasi faktor risiko, penilaian distribusi sumber daya, perencanaan dan penentuan, serta intervensi dan monitoring penyakit. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan maka pelayanan kesehatan dihadapkan pada masalah heterogenitas populasi yang menyebabkan makin kompleksnya masalah penyakit berikut faktor risiko penyebabnya. SIG dapat digunakan untuk menganalisis heterogenitas tersebut, terutama yang berhubungan dengan perbedaan geografis/faktor lingkungan, faktor-faktor demografis, dan budaya (Rahman, 2020).

SIG dilengkapi alat yang memadai/canggih untuk memvisualisasikan dan menganalisis data epidemiologi penyakit tular nyamuk, pengungkapan kecenderungan, ketergantungan, dan hubungan antara faktor risiko dan penyakit tular nyamuk yang sulit ditemukan apabila disajikan dalam format tabel saja. SIG dan epidemiologi memiliki beberapa irisan yang sama, yaitu untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan: *what/who, where, how* bahkan pertanyaan *why* juga dapat kita jawab dengan melalui analisis spasial. Pertanyaan *where* dapat dijawab dengan tampilan data spasial baik berupa peta ataupun titik

koordinat. Pertanyaan *what/who* diekspresikan dalam bentuk tampilan data-data atribut, berupa jumlah, persentase, prevalensi, ataupun data lain dari suatu populasi, sedangkan *how* dan *why* dapat diperoleh dari analisis data spasial dan data atribut (Vaughan & Morrow, 1989).

SIG pada saat ini telah banyak digunakan oleh ahli kesehatan masyarakat dan epidemiolog, aplikasinya secara umum dalam bidang pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk dapat digunakan untuk memvisualisasikan persebaran/distribusi penyakit tular vektor nyamuk (Malaria, Demam Berdarah, Filariasis), mengetahui perkembangan tren suatu penyakit tular vektor nyamuk, mengidentifikasi sumber penularan, pemetaan, dan stratifikasi faktor-faktor risiko lingkungan, menggambarkan kebutuhan dalam pelayanan kesehatan berdasarkan data dari masyarakat dan menilai alokasi sumber daya, meramalkan kejadian wabah, memantau perkembangan penyakit dari waktu ke waktu, dan dapat menempatkan fasilitas dan sarana pelayanan kesehatan yang dapat dijangkau oleh masyarakat. (Departemen Kesehatan RI, 2009).

Hasil analisis pemanfaatan SIG akan sangat menunjang proses pelayanan kesehatan kepada masyarakat, karena dapat digunakan untuk menentukan jenis pelayanan kesehatan seperti apa yang paling sesuai dan dibutuhkan oleh masyarakat, dapat mengidentifikasi aksesibilitas tempat-tempat pelayanan kesehatan masyarakat, bahkan dapat mengetahui kecenderungan penyakit yang terjadi dalam masyarakat tersebut.

B. Manfaat SIG untuk Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Pemetaan masalah kesehatan secara manual sudah mulai ditinggalkan sejak perkembangan teknologi pemetaan secara digital banyak digunakan pada institusi kesehatan. Di Indonesia pada saat ini, SIG di bidang kesehatan telah dikenal luas sebagai alat bantu surveilans, memonitor masalah kesehatan berdasarkan lokasi dan waktu, mengidentifikasi dan memprediksi suatu kejadian penyakit berdasarkan

faktor risiko. Secara umum, SIG kesehatan dapat digunakan sebagai sistem kewaspadaan dini penyakit serta untuk proses pengambilan keputusan.

Salah satu perkembangan SIG dalam kesehatan masyarakat yang menarik adalah Epidemiologi Spasial. Menurut Elliot dan Wartenberg (2004) dalam bukunya *Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges*, bahwa Epidemiologi spasial adalah ilmu untuk mendeskripsikan dan menganalisis keragaman geografis pada penyakit dengan memperhatikan dimensi geografis, lingkungan, perilaku, sosial ekonomi, genetika, dan faktor risiko penularan. Epidemiologi spasial ini menghasilkan pemetaan penyakit (*diseases mapping*), studi korelasi geografis (*Geographical Correlation Studies*), pengelompokan penyakit (*Diseases Cluster*), dan surveilans (*Surveillance*).

Berikut ini adalah beberapa contoh pemanfaatan SIG dalam bidang kesehatan masyarakat menurut analisis Center for Disease Control (CDC) (Setyawan, 2014).

- 1) Memonitor status kesehatan untuk mengidentifikasi masalah kesehatan yang ada di masyarakat. Dalam mendukung fungsi ini, SIG dapat digunakan untuk memetakan kelompok masyarakat serta areanya berdasarkan status kesehatan tertentu, misalnya status kehamilan. Dengan SIG, peta mengenai status kesehatan dapat digunakan untuk merencanakan program pelayanan kesehatan yang dibutuhkan oleh kelompok tersebut, misalnya pelayanan antenatal care (ANC), persalinan, dan lain sebagainya.
- 2) Mendiagnosa dan menginvestigasi masalah serta risiko kesehatan di masyarakat. Sebagai contoh, seorang epidemiolog sedang mengolah data tentang kasus malaria yang diperoleh dari rumah sakit, puskesmas, dan pusat-pusat kesehatan lainnya di masyarakat, ternyata dia menemukan terjadi kenaikan kasus yang cukup signifikan di suatu rumah sakit maka kemudian dia mencari tahu data dari pasien-pasien penderita asma di rumah sakit. Ternyata ditemukan bahwa 6 dari 8 orang penderita malaria yang dirawat di rumah sakit tersebut bekerja sebagai petani salak. SIG dapat

digunakan untuk memberikan data yang lengkap mengenai pola penularan di sekitar kebun salak yang merupakan informasi yang penting untuk masyarakat. Informasi ini juga dapat diteruskan kepada ahli-ahli terkait, misalnya entomologi untuk melakukan survei apakah di sekitar kebun salak terdapat vektor penular malaria.

- 3) Menginformasikan, mendidik, dan memberdayakan masyarakat mengenai isu-isu kesehatan. SIG dalam hal ini dapat menyediakan informasi mengenai kelompok masyarakat yang diidentifikasi masih memiliki pengetahuan yang kurang mengenai informasi kesehatan tertentu sehingga kemudian dapat dicari media komunikasi yang paling efektif bagi kelompok tersebut, serta dapat dibuat perencanaan mengenai waktu yang paling tepat untuk melakukan promosi kesehatan kepada kelompok masyarakat tersebut.
- 4) Membangun dan menggerakkan hubungan kerja sama dengan masyarakat untuk mengidentifikasi dan memecahkan masalah kesehatan. Dalam hal ini, SIG dapat digunakan untuk melihat suatu pemecahan masalah kesehatan berdasarkan area tertentu dan kemudian memetakan kelompok masyarakat yang potensial dapat mendukung program tersebut berdasarkan area-area yang terdekat dengannya. Misalnya masalah imunisasi yang ada pada wilayah kerja tingkat RW atau Posyandu maka dapat dipetakan kelompok potensial pendukungnya, yaitu ibu-ibu PKK yang dapat diberdayakan sebagai kader pada posyandu terdekat dengan tempat tinggalnya.
- 5) Membangun kebijakan dan rencana yang mendukung usaha individu maupun masyarakat dalam menyelesaikan masalah kesehatan. Contohnya dalam hal analisis wilayah cakupan puskesmas. Dalam hal ini, SIG digunakan untuk memetakan utilitas dari tiap-tiap puskesmas oleh masyarakat sehingga dapat dibuat perencanaan yang jelas mengenai sumber daya kesehatan yang perlu disediakan untuk puskesmas tersebut disesuaikan dengan tingkat utilitasnya.

- 6) Membangun perangkat hukum dan peraturan yang melindungi kesehatan dan menjamin keselamatan masyarakat. Dalam hal ini, SIG dapat digunakan untuk membagi secara jelas kewenangan dan tanggung jawab suatu pusat pelayanan kesehatan pada tiap-tiap wilayah kerja dalam menjamin dan menangani segala bentuk masalah yang terjadi di wilayah tersebut. Dengan demikian, manajemen complain dapat terkoordinasi dengan baik.
- 7) Menghubungkan individu yang membutuhkan pelayanan kesehatan yang dibutuhkan dan menjamin ketersediaan pelayanan kesehatan tersebut jika belum tersedia. Misalnya, seorang warga negara asing diidentifikasi menderita suatu penyakit tertentu yang membutuhkan penanganan yang serius maka untuk mengatasinya, dengan melihat peta dan data akses pelayanan kesehatan yang tersedia dapat dicari tenaga kesehatan terdekat yang dapat membantu orang tersebut, dan menguasai bahasa yang digunkannya. Melalui data SIG juga dapat diketahui bagaimana akses transportasi termudah yang dapat dilalui oleh warga negara asing tersebut menuju fasilitas kesehatan terdekat.
- 8) Menjamin ketersediaan tenaga kesehatan dan ahli kesehatan masyarakat yang berkompeten di bidangnya. Dalam hal ini, SIG dapat menyediakan peta persebaran tenaga kesehatan dan ahli kesehatan masyarakat di tiap-tiap daerah sehingga dapat dilihat jika ada penumpukan atau bahkan kekurangan personel di suatu daerah. Lebih lanjut, data tersebut dapat digunakan dalam hal perencanaan pengadaan tenaga-tenaga kesehatan untuk jangka waktu ke depan untuk masing-masing wilayah.
- 9) Mengevaluasi efektifitas, kemudahan akses, dan kualitas pelayanan kesehatan di masyarakat. Data SIG dapat menyediakan data yang lengkap mengenai potensi tiap-tiap daerah, serta karakter demografis masyarakatnya untuk dihubungkan dengan fasilitas-fasilitas kesehatan yang tersedia dan tingkat utilitasnya. Dengan demikian dapat dievaluasi kembali kesesuaian dan kecukupan dari penyediaan sarana pelayanan kesehatan yang ada.

- 10) Penelitian untuk menciptakan penemuan baru dan inovasi dalam memecahkan masalah-masalah kesehatan di masyarakat. Salah satu kegunaan SIG dalam hal ini adalah untuk menyediakan data yang akurat mengenai perubahan-perubahan yang terjadi di suatu daerah seperti pertambahan jumlah perumahan, jalan, pabrik, atau sarana-sarana lainnya yang berpengaruh pada lingkungan dan berpotensi memengaruhi status kesehatan masyarakat. Data ini kemudian dapat digunakan untuk merancang dan merencanakan inovasi-inovasi tertentu yang dapat menjamin kesehatan suatu masyarakat.

Perkembangan produk teknologi SIG telah banyak beredar di pasar-pasar Indonesia, oleh karena itu harus diimbangi dengan kemampuan pengguna dalam memahami teknologi-teknologi atau konsep-konsep dasar teknologi yang ada sebelumnya. Analisis spasial menggunakan SIG memiliki fungsi dasar dari sebagian besar karakteristik SIG; *visualisasi*, *query* (pemanggilan) data atribut dan spasial, klasifikasi, operasi hitung, operasi tumpang susun, dan fungsi lingkungan seperti wilayah penyangga (*buffering*). Output dalam analisis SIG ini menekankan pada penyediaan lingkungan sederhana untuk melaksanakan analisis eksploratif yang berfokus pada identifikasi wilayah berisiko, pengelompokan kasus, tren waktu, dan analisis komparatif.

Analisis spasial menggunakan SIG dimaksudkan untuk mendukung pengambilan keputusan surveilans dan penanggulangan penyakit. Proses pengambilan keputusan harus benar-benar mengetahui informasi terkini mengenai situasi penyakit, populasi berisiko, dan tren terjadinya kasus di masa datang di wilayahnya. Kebutuhan khusus pada layanan penanggulangan penyakit menular bervariasi sesuai dengan karakteristik epidemiologi dan karakteristik lingkungan. Kita harus benar-benar memahami secara cepat berdasarkan informasi yang ada. Penyediaan informasi terbaru sangat berguna untuk memandu kegiatan di lapangan: siapa yang sakit, kapan dan

di mana mereka tinggal, intervensi apa yang sudah dilakukan serta bagaimana suatu intervensi menjadi efektif walau dengan sumber daya yang terbatas. Dalam rangka pengambilan keputusan penting maka sudah selayaknya para pengambil keputusan memperoleh informasi yang mudah dipahami dan dapat dipercaya. Prinsip dasar analisis spasial epidemiologi penyakit tular vektor nyamuk mencakup hal-hal sebagai berikut (Dapeng, 1992; Sunaryo, 2019):

- 1) menggunakan data epidemiologi surveilans penyakit tular vektor;
- 2) menggunakan indikator seminimal mungkin yang cukup untuk mendukung pengambilan keputusan yang terkait dengan kegiatan surveilans dan penanggulangan penyakit;
- 3) data penyakit tular vektor nyamuk dan jumlah populasi penduduk sampai di tingkat desa yang data surveilans epidemiologi dikumpulkan secara rutin;
- 4) data survei vektor yang meliputi kepadatan spesies vektor dan karakteristik bionomiknya;
- 5) data lingkungan meliputi sebaran habitat perkembangbiakan vektor;
- 6) data kegiatan pemberantasan sarang nyamuk (PSN);
- 7) penggunaan lahan, ketinggian/kontur, dan peta badan air;
- 8) mengalihkan data menjadi representasi visual, seperti peta dan grafik untuk memfasilitasi interpretasi dan pembandingan data;
- 9) membandingkan risiko penyakit menurut tempat dan waktu untuk mengevaluasi dinamika penularan penyakit;
- 10) menilai aksesibilitas pelayanan kesehatan dan penanggulangan penyakit.

Hal terpenting dalam menggunakan data adalah untuk menentukan wilayah mana yang berisiko, dan wilayah mana yang berpotensi terjadinya kasus tinggi sehingga dapat dilakukan tindakan antisipasi/penanggulangan yang tepat sesegera mungkin.

C. Analisis Model SIG dan Prakiraan Penyakit Tular Vektor Nyamuk

Pemetaan SIG berbasis penyakit tular vektor merupakan salah satu langkah penting dalam perencanaan program penanggulangan penyakit tular vektor. Peta persebaran penyakit tular vektor dapat mengungkap wilayah mana yang berisiko tinggi dan di wilayah mana penularan cenderung terjadi. Pemetaan penyakit tular vektor mencakup pemetaan wilayah risiko penyakit, keberadaan spesies vektor dan persebaran habitatnya, pemetaan berseri/temporal, dan peta stratifikasi endemisitas penyakit (Dapeng, 1992).

Salah satu aspek penting penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk adalah identifikasi wilayah dengan risiko penularan tinggi dengan potensi penularan terjadi di masa depan/prediksi (Achmadi, 2005). Pemodelan SIG berdasarkan data lingkungan dapat digunakan untuk mengintegrasikan berbagai data (peta) lingkungan guna mengidentifikasi wilayah dengan risiko tinggi. Sebagai contoh, peta persebaran populasi penduduk dengan peta risiko persebaran DBD berguna untuk menghitung jumlah populasi berisiko. Informasi tersebut penting bagi pemegang program di dinas kesehatan kabupaten/kota untuk mengalokasikan sumber daya kesehatan berdasarkan jumlah populasi berisiko di tingkat puskesmas dan desa.

Beberapa jenis pemetaan untuk menggambarkan informasi spasial penyakit tular vektor nyamuk sebagai berikut.

1) Pemetaan wilayah risiko penyakit

Peta risiko penyakit ini memuat informasi yang diperlukan oleh pengguna untuk menemukan kejadian kasus dan populasi berisiko di tingkat desa. Peta risiko penyakit terbagi dalam dua bentuk, peta titik yang menunjukkan penyebaran kasus penyakit dan *chloropleth map* (peta wilayah) yang menunjukkan populasi berisiko penyakit di desa-desa.

2) Pemetaan kasus/penyakit berseri

Kita dapat mencermati dinamika penularan penyakit di suatu wilayah dengan cara melakukan pemetaan insiden penyakit dalam kurun waktu tertentu atau pada bulan-bulan berbeda dalam satu tahun. Analisis ini digunakan untuk menilai apakah pola penyakit konsisten dari waktu ke waktu di kabupaten yang bersangkutan. Jika ternyata konsisten, hal ini menunjukkan agar kegiatan penanggulangan penyakit difokuskan pada wilayah dengan risiko lebih tinggi. Pemetaan ini juga membantu mengidentifikasi fokus penularan setempat, juga untuk menilai efektifitas program penanggulangan penyakit dengan cara mengevaluasi variasi intensitas penularan.

3) Stratifikasi penyakit

SIG memungkinkan adanya stratifikasi yang berkelanjutan dan lebih mudah daripada penggambaran manual. Stratifikasi yang digunakan adalah standar nasional misalnya untuk malaria menggunakan API (annual parasite incidence), sedangkan penyakit lainnya berbeda misalnya demam berdarah menggunakan IR (incidence rate) standar di masing-masing wilayah Provinsi berbeda beda, di Provinsi Jawa Tengah dibuat dua kategori, IR rendah bila kurang dari 40 permill, IR tinggi bila lebih 40 permill.

4) Sebaran vektor

SIG dapat memvisualisasikan keberadaan spesies vektor pada suatu daerah yang biasanya digambarkan dalam bentuk warna yang unik. Bisa juga digambarkan berdasarkan dot/titik, sedangkan gambaran kenampakan habitat perkembangbiakan vektor ditampilkan dalam bentuk keterangan-keterangan yang membedakan, misalnya habitat positif jentik dan negatif, habitat permanen dan nonpermanen.

5) Analisis kinerja surveilans

Pada proses ini, kita dapat menilai kinerja surveilans, yaitu dengan menganalisis hasil cakupan kegiatan, misalnya untuk penyakit tular vektor nyamuk (malaria), kita bisa menilai cakupan jumlah sediaan

darah yang diambil dan jumlah yang diperiksa positif. Aksesibilitas terhadap layanan surveilans dan penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk, sebagai alat perencanaan, serta dapat digunakan untuk menilai cakupan layanan surveilans dan penanggulangan penyakit. Radius jarak tertentu (buffering) dapat dihitung pada SIG untuk mengungkapkan wilayah cakupan terhadap layanan tertentu misalnya rumah sakit, puskesmas, dan puskesmas pembantu.

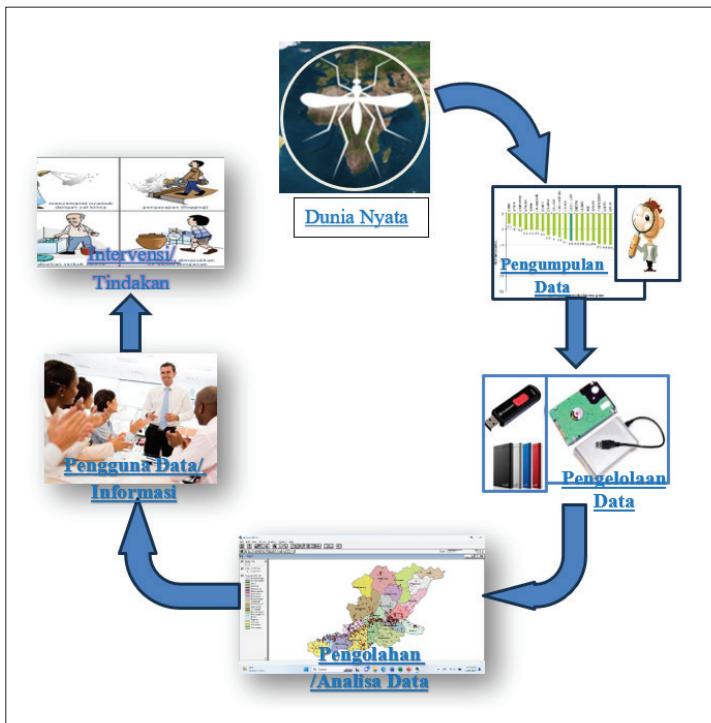
D. SIG untuk Demam Berdarah Dengue (DBD)

SIG penyakit DBD dapat dimanfaatkan di berbagai tingkat, dari tingkat desa, sampai tingkat dunia. Pemetaan SIG pada tingkat kabupaten dimaksudkan untuk mendukung pengambilan keputusan surveilans dan penanggulangan DBD di tingkat kabupaten. Dalam proses pengambilan keputusan, dinas kesehatan kabupaten/kota harus benar-benar mengetahui informasi terakhir mengenai situasi kasus DBD, populasi berisiko, dan tren/penularan di masa datang di wilayahnya. Walaupun telah banyak data yang dikumpulkan baik melalui kegiatan rutin maupun survei khusus, umumnya sintesis informasi dilakukan di tingkat desa dikumpulkan, baru kemudian diteruskan ke tingkat kecamatan dan diteruskan lagi ke tingkat yang lebih tinggi lagi dalam rangkaian sistem pelaporan terpusat. Data dihimpun baik secara manual maupun dengan komputer di beberapa kabupaten. Data dan hasil pengolahan data dipresentasikan dalam bentuk tabel atau angka. Interpretasi data tersebut memakan banyak waktu dan tenaga sehingga terasa menghambat proses pengambilan keputusan.

Kebutuhan khusus bagi layanan penanggulangan DBD bervariasi sesuai dengan perbedaan situasi lingkungan dan epidemiologi. Pelaksana program harus benar-benar memahami tanggung jawabnya secara cepat berdasarkan informasi yang ada. Program harus terus menyediakan informasi terbaru yang akan sangat berguna untuk memandu kegiatan di lapangan: kapan dan di mana harus mengintervensi, intervensi apa yang paling efektif, bagaimana suatu intervensi menjadi layak walaupun dengan sumber daya yang terbatas,

dan seterusnya. Untuk mengambil keputusan-keputusan seperti yang disebutkan tadi, maka sudah selayaknya para pengambil keputusan memperoleh informasi yang mudah dipahami dan dapat dipercaya.

SIG dapat dimanfaatkan sebagai suatu alat yang penting bagi pengambilan keputusan. SIG memberikan informasi yang mudah dipahami dan dapat dipercaya kepada para pengambil keputusan dalam bentuk-bentuk grafik dan peta interaktif. Para pengambil keputusan tidak perlu menyia-nyiakan waktunya yang berharga karena cukup hanya dengan membaca informasi yang tercakup pada peta dan grafik di setiap halaman laporan. Mereka juga memerlukan presentasi singkat mengenai persebaran penyakit agar memperoleh wawasan tentang pola spasial penyakit untuk mendukung “fokus” tanggung



Gambar 3.1 Skema Pengelolaan Data SIG DBD untuk Pengambilan Keputusan

jawab penanggulangan penyakit di wilayahnya. Pengembangan program SIG DBD diharapkan dapat mendukung pengambilan keputusan secara terdesentralisasi melalui “pendekatan informasi terbaru” dalam rangka pemantauan kegiatan surveilans dan penanggulangan DBD, mengetahui dinamika penyebaran dan penularan DBD, dan mengidentifikasi wilayah yang memiliki potensi perjangkitan di masa datang (Gambar 3.1).

E. Sub Sistem Manajemen Data Populasi dan DBD

Data kasus DBD dimasukkan dalam data dasar sebagai data surveilans rutin DBD. Data surveilans tersebut dibutuhkan untuk pengambilan keputusan perencanaan penanggulangan DBD dan pemantauan kinerja sistem surveilans. Semua data dicantumkan pada sistem pelaporan rutin baik secara manual ataupun menggunakan elektronik DBD (E-DBD). Pada prosesnya, data dasar membutuhkan identifier (kode umum) yang digunakan untuk menghubungkan data populasi dan DBD dengan karakteristik geografis, seperti desa, puskesmas, dan lain-lain. Identifier unik yang distandardisasi secara nasional untuk setiap desa atau puskesmas diajukan sebagai kode umum untuk menghubungkan data atribut (populasi dan DBD) dengan karakteristik geografis (peta). Hal ini membantu mengintegrasikan data dasar SIG di kabupaten ke dalam data dasar di provinsi, bahkan pusat, dengan menggunakan identifier nasional.

Sistem surveilans DBD khusunya di wilayah Jawa Tengah dilakukan dengan aplikasi software Diferensial Diagnosa (DD) DBD elektronik, yaitu salah satu aplikasi berbasis excel dengan menggunakan sistem makro (Visual Basic) untuk memverifikasi kasus DBD, membuat laporan, dan menganalisisnya. Output aplikasi Diferensial Diagnosa DBD elektronik membagi diagnosis DBD menjadi demam dengue, demam berdarah dengue, dan syok syndrome dengue. Selain itu, konsep sistem informasi DBD juga berjenjang dari tingkat RS atau puskesmas rawat inap, kabupaten/kota, provinsi, dan pusat.

Meskipun sebagian besar perangkat lunak SIG memiliki kemampuan manajemen data dasar, kami menyarankan adanya suatu sistem

manajemen data dasar generik terpisah sebagai sumber data atribut SIG (data populasi dan DBD di setiap desa). Keuntungan data dasar generik ini adalah bahwa data dasar tidak hanya digunakan dalam pemetaan SIG DBD dalam penilaian hubungan ketergantungan DBD dengan variabel lain dalam SIG, tapi juga memudahkan untuk melakukan analisis statistik lebih lanjut, yang mungkin amat penting untuk mendukung pengambilan keputusan program penanggulangan DBD.

F. Subsistem Manajemen Data Geografis

Peta digital disimpan dengan menggunakan format berdasarkan vektor, dikenal sebagai model “topologi”. Obyek utamanya adalah titik, garis, dan poligon. Titik mewakili satu lokasi; garis (arc) melambangkan suatu karakteristik yang tersusun dari titik-titik yang berurutan; poligon melambangkan wilayah yang dikelilingi oleh garis. Untuk SIG DBD, lokalitas (seperti kota, puskesmas, desa) digambarkan sebagai titik; jaringan transportasi (jalan, jalan raya), jaringan hidrologi dan garis kontur (sungai, anak sungai) digambarkan dengan garis; sedangkan batas desa, kecamatan, dan kabupaten digambarkan sebagai poligon.

Penularan DBD sangat dipengaruhi oleh lingkungan, seperti bentang wilayah, hidrologi, dan pemanfaatan lahan. Peta pemanfaatan lahan (area pemukiman, perkotaan pedesaan) dan hidrologi akan diintegrasikan ke dalam SIG. Data lingkungan akan membantu pengambil keputusan dalam mempelajari pola penyebaran spasial DBD. Peta jaringan jalan juga akan diintegrasikan dalam SIG DBD, yang akan membantu dinas kesehatan kabupaten/kota dalam menilai pemberian layanan kesehatan dalam program surveilans dan penanggulangan DBD. Tabel 3.1 memuat data geografis (peta) untuk dimasukkan dalam SIG DBD. Skala peta dasar sebenarnya harus sama dengan atau lebih dari 1:25.000 sehingga posisi desa dapat diketahui pada peta. Semua peta dasar harus distandarisasi dan diproyeksikan bagi sistem koordinat umum sehingga peta tersebut akan saling bersesuaian satu sama lain.

Tabel 3.1 Data Kasus DBD dan Peta Populasi dalam SIG DBD

Daftar Data Atribut	Daftar Peta
Jumlah penduduk desa	Peta titik desa
Jumlah kasus DD	Peta titik rumah sakit
Jumlah kasus DBD	Peta titik puskesmas
Jumlah kasus DSS	Peta batas desa
Jumlah kasus positif DBD jenis kelamin	Peta batas kecamatan
Jumlah kasus positif DBD kelompok umur	Peta pemanfaatan lahan
Jumlah kasus indigenous	Peta topografi
Jumlah kasus import	Peta hidrologi
Daftar RS dan Puskesmas perawatan	Peta jaringan jalan raya

G. Subsistem Analisis dan Pemanggilan Data

SIG DBD memiliki fungsi dasar dari sebagian besar karakteristik SIG; visualisasi, *query* (pemanggilan) data atribut dan spasial, klasifikasi, operasi hitung, operasi tumpang susun, dan fungsi lingkungan, seperti wilayah penyangga (*buffering*).

H. Pilihan Perangkat Lunak SIG

Perkembangan penggunaan aplikasi SIG sampai saat ini mengalami perkembangan yang sangat cepat. Semuanya memiliki kelebihan dan keterbatasan, baik yang berbayar maupun *open source*. Aplikasi SIG berbayar yang popular digunakan oleh pengguna sebagian besar dari perusahaan ESRI, yaitu ArcView GIS, ArcMap, dan sekarang ArcGIS Pro, sedangkan untuk aplikasi SIG yang tidak berbayar dan terus dikembangkan oleh para penggunanya adalah Quantum GIS (QGIS). Quantum GIS dapat diperluas melalui penggunaan plugin (tambahan perangkat lunak yang memungkinkan penyesuaian program komputer, aplikasi, dan browser). Ada banyak plugin tersedia yang dapat ditambahkan ke perangkat lunak untuk memperluas fungsionalitasnya. Plugin ini memungkinkan pengguna untuk mengakses

alat-alat tambahan, fungsi analisis khusus, dan sumber daya data tambahan. Beberapa aplikasi tersebut baik yang berbayar maupun *open source*, mudah dipelajari dengan fasilitas display berefek visual tinggi sehingga dapat digunakan untuk memengaruhi para pengambil keputusan agar lebih mendukung kegiatan surveilans dan program penanggulangan penyakit tular vektor nyamuk (Malaria, DBD). Selain itu, software ini juga memiliki sistem manajemen data dasar yang andal yang dapat mengakomodasi data multisektor menjadi platform yang umum untuk dianalisis. Software ini juga memiliki semua fungsi analisis spasial yang diperlukan untuk SIG penyakit tular vektor nyamuk yang dilakukan sekarang ini.

I. Output SIG DBD

Penggunaan SIG dalam bidang kesehatan masyarakat terhitung hal baru, walaupun telah banyak digunakan di bidang lain, seperti manajemen kehutanan, pertanian, pemasaran, dan fenomena iklim. Salah satu masalah penting dalam pengoperasian SIG DBD adalah mendefinisikan output SIG DBD. Para profesional SIG biasanya tidak tahu banyak tentang kegiatan surveilans dan penanggulangan DBD serta informasi apa yang sangat penting dalam pengambilan keputusan. Pengelola program DBD umumnya kurang memahami fungsi SIG. Kondisi ini merupakan kesenjangan yang terjadi antara para ahli SIG dan para pengelola program DBD. Oleh karena itu, perlu dirancang standar output SIG DBD agar menghasilkan informasi sebagai bahan pengambilan keputusan. Data DBD dianalisis dengan menggunakan SIG agar menghasilkan output sebagai suatu studi kasus, hal ini menjadi contoh bagaimana cara menggunakan output SIG untuk mendukung pengambilan keputusan kegiatan surveilans dan penanggulangan DBD. Output Gis DBD ini tergambar pada Tabel 3.2. Output ini menekankan pada penyediaan lingkungan sederhana untuk melaksanakan analisis eksploratif yang berfokus pada identifikasi wilayah berisiko, pengelompokan kasus, tren waktu, dan analisis komparatif.

Tabel 3.2 Output GIS DBD Terstandarisasi dan Perannya dalam Mendukung Pengambilan Keputusan Penanggulangan DBD.

Produk GIS DBD	Tujuan
Pemetaan DBD	
<ul style="list-style-type: none"> • Risiko DBD (peta titik dan wilayah) • Peta Stratifikasi DBD • Pemetaan berseri DBD • Peta tematik menunjukkan risiko DBD, Landuse, jalan raya, dan lain-lain 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pola penyebaran DBD 2. Tren DBD dari waktu ke waktu 3. Identifikasi wilayah risiko tinggi 4. Menilai efektifitas program penanggulangan DBD 5. Merencanakan program Penanggulangan DBD
Лayanan Surveilans & Penanggulangan DBD	
<ul style="list-style-type: none"> • Membuat wilayah <i>buffer</i> di sekeliling RS untuk menilai aksesibilitas surveilans dan penanggulangan DBD 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analisis aksesibilitas 2. Merencanakan layanan penanggulangan DBD 3. Merencanakan kegiatan penanggulangan DBD
Model GIS dan Prakiraan DBD	
<ul style="list-style-type: none"> • Menyusun peta kerawanan DBD berdasarkan model Fuzzy • Peta prakiraan risiko DBD tumpang susun dengan peta risiko DBD • Pemetaan populasi berisiko 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Prediksi risiko DBD 2. Prakiraan perjangkitan DBD 3. Pemetaan populasi berisiko 4. Merencanakan kegiatan surveilans 5. Merencanakan layanan kesehatan

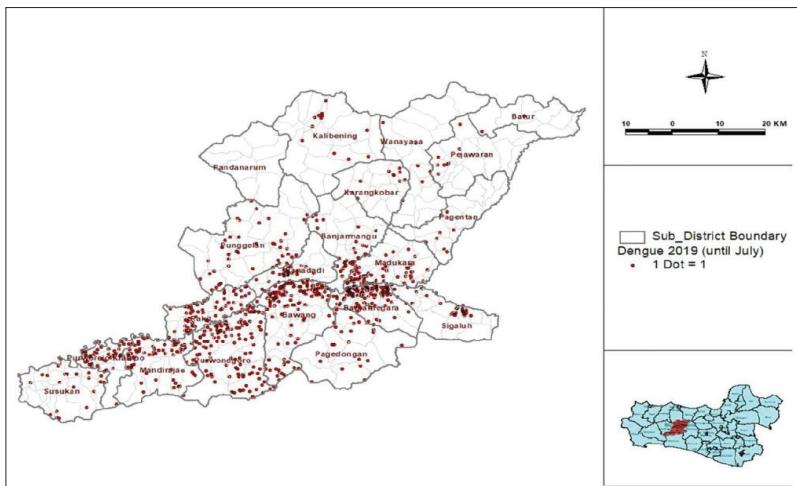
Langkah-langkah produksi output untuk studi kasus sebagai berikut.

1) Pemetaan DBD

Pemetaan DBD telah lama dianggap sebagai salah satu langkah penting dalam perencanaan program penanggulangan DBD. Peta sketsa DBD sederhana dapat mengungkap wilayah mana yang berisiko tinggi, di wilayah mana penularan cenderung terjadi, dan di wilayah mana penularan tidak terjadi. Informasi sederhana akan membantu dinas kesehatan kabupaten/kota untuk mengidentifikasi wilayah mana yang harus diwaspadai dan ke wilayah mana penanggulangan DBD harus difokuskan sehingga manfaat dapat diperoleh secara maksimal. Pemetaan DBD mencakup pemetaan risiko DBD, pemetaan DBD berseri, dan peta stratifikasi DBD.

2) Pemetaan risiko DBD

Peta risiko DBD pada SIG DBD ini memuat informasi yang diperlukan oleh pengguna untuk menemukan kejadian kasus dan populasi berisiko di tingkat desa. Peta risiko DBD terbagi dalam dua bentuk, peta titik yang menunjukkan penyebaran kasus DBD dan *chloropleth map* (peta wilayah) yang menunjukkan populasi berisiko DBD di desa-desa. Pembuatan peta risiko sebaran DBD idealnya pada saat pengumpulan data kasus DBD dilakukan tracking/kunjungan ke lokasi kasus dengan melakukan pengukuran titik koordinat kasus DBD menggunakan *Global Positioning System* (GPS). Penggunaan GPS dapat digantikan dengan aplikasi GPS yang ada di handphone. Sebaran kasus DBD menggunakan titik koordinat dapat menggambarkan sebaran epidemiologi kasus DBD pada posisi sebenarnya, sedangkan pada sebaran kasus DBD berdasarkan wilayah menunjukkan tingkat risiko berdasarkan wilayah administrasi (desa, kecamatan). Pada Gambar 3.2, terlihat bahwa kasus DBD di Kabupaten Banjarnegara tersebar hampir di setiap kecamatan, tetapi ada beberapa kecamatan yang paling berisiko, yaitu pada wilayah tengah Kabupaten Banjarnegara, meliputi wilayah Kecamatan Banjarnegara, Kecamatan Bawang, dan Kecamatan Purwonegoro.

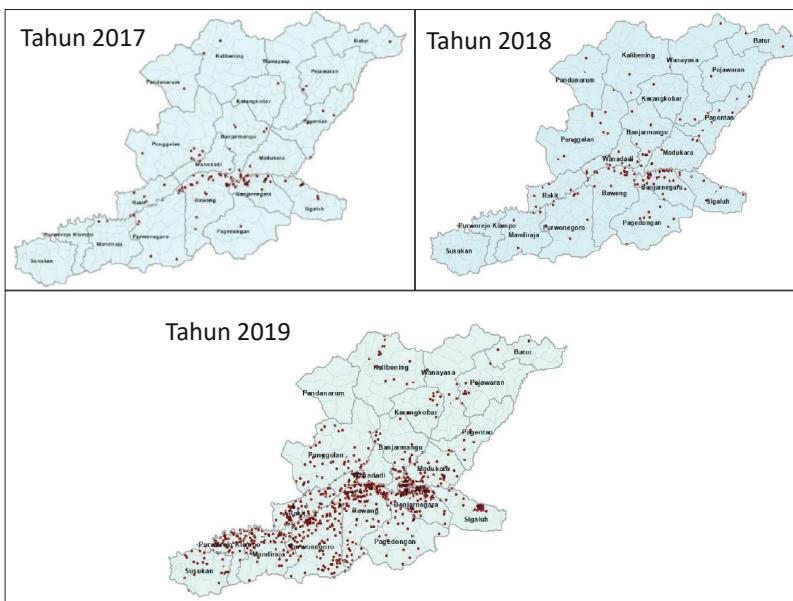


Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019

Gambar 3.2 Peta Wilayah Berisiko DBD di Kabupaten Banjarnegara Tahun 2019

b. Pemetaan DBD Berseri

Dinas Kesehatan Kabupaten dapat mencermati dinamika penularan DBD di kabupatennya dengan cara melakukan pemetaan insiden DBD dalam kurun waktu tertentu atau pada bulan-bulan berbeda dalam satu tahun. Analisis ini digunakan untuk menilai apakah pola penyakit konsisten dari waktu ke waktu di kabupaten yang bersangkutan. Jika ternyata konsisten, hal ini menunjukkan agar kegiatan penanggulangan DBD difokuskan pada wilayah dengan risiko lebih tinggi. Pemetaan ini juga membantu Dinas Kesehatan mengidentifikasi fokus penularan DBD indigenous, juga untuk menilai efektifitas program penanggulangan DBD dengan cara memonitor dan mengevaluasi variasi intensitas penularan DBD. Pemetaan berseri bisa dibuat bulanan, pola musiman, atau tahunan. Pada Gambar 3.3 persebaran kasus DBD di Kabupaten Banjarnegara meningkat dari tahun 2017–2019. Peningkatan kasus berseri dari tahun 2017–2019 terlihat bahwa indeks kasus DBD berasal dari wilayah Kutabanjarnegara, yaitu Kecamatan Banjarnegara.



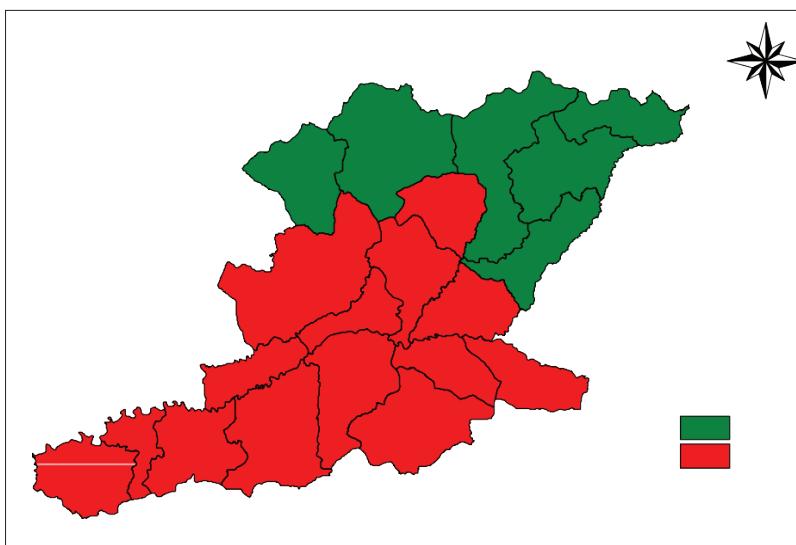
Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019

Gambar 3.3 Peta Sebaran Demam Berdarah Dengue Berseri di Kabupaten Banjarnegara Tahun 2017–2019

c. Peta Stratifikasi DBD

Penanggulangan DBD sebaiknya dilaksanakan di wilayah yang berisiko lebih tinggi. Stratifikasi DBD dapat membantu pemegang program Dinas Kesehatan Kabupaten untuk memutuskan ke mana sumber daya yang terbatas harus diprioritaskan untuk mengatasi masalah sehingga manfaat yang maksimal dapat diperoleh. Meski demikian, situasi DBD yang kadang-kadang berubah-ubah mengharuskan adanya stratifikasi yang dinamis dan berkelanjutan, serta mampu menyesuaikan diri dengan segala kemungkinan. Pada praktiknya, stratifikasi DBD pada kondisi situasi statis dan sering kali digunakan berulang-ulang dan mengabaikan situasi DBD yang telah berubah. Hal ini dapat dimengerti karena dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk mengumpulkan, menganalisis, dan mempresentasikan data, khususnya untuk menggambarkan strata dalam suatu peta.

Karakteristik digital pada data dasar SIG sangat membantu perbaruan data penyebaran DBD di komputer. Sistem Informasi Geografis memungkinkan adanya stratifikasi yang berkelanjutan dan lebih mudah daripada penggambaran manual. Kriteria stratifikasi DBD pada buku ini mengacu pada kriteria Nasional IR tahun 2021. Indikator IR DBD > 27 per 100.000 penduduk dikelompokkan menjadi wilayah dengan insiden IR tinggi (*High Incidence Rate*), sedangkan IR < 27 per 100.000 penduduk dikategorikan rendah atau LIR (*Low Incidence Rate*). Pada Gambar 3.4, terlihat bahwa strata *incidence rate* DBD tinggi di Kabupaten Banjarnegara pada tahun 2019 cenderung terjadi di wilayah bagian tengah dan barat daya Kabupaten Banjarnegara. Pada wilayah bagian utara *incidence ratenya* rendah. Hal tersebut bisa dihubungkan bahwa pada bagian Utara pada umumnya merupakan daerah ketinggian di atas 600 m dari permukaan laut.

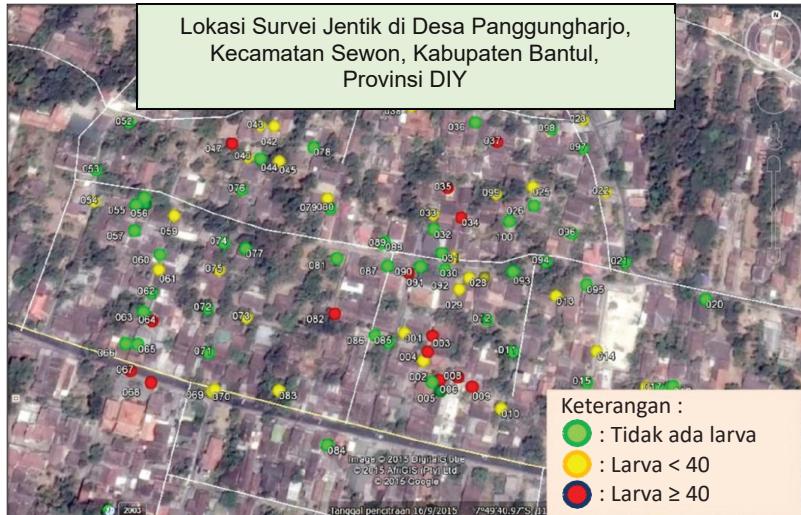


Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019

Gambar 3.4 Peta Stratifikasi *Incidence Rate* DBD Kabupaten Banjarnegara Tahun 2019

J. Peta Surveilans Vektor DBD

Kegiatan surveilans vektor dapat dipetakan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan SIG dan penginderaan jauh/citra dengan Google Earth (program komputer yang merender representasi 3D Bumi berdasarkan citra satelit). Pemetaan dengan SIG akan memvisualisasikan sebaran jentik hasil survei berupa titik yang berbeda warna, sedangkan pemetaaan menggunakan Google Earth lebih real karena persebaran rumah yang positif dan yang negatif jentiknya bisa lebih jelas, bahkan bisa dikategorikan jumlah/banyaknya jentik yang tertangkap (Gambar 3.5). Pemetaan surveilans vektor DBD akan membantu puskesmas dan dinas kesehatan kabupaten/kota untuk mengetahui sebaran vektor DBD dan dapat dikaitkan dengan sebaran kasus DBD di wilayah tersebut dengan mengoverlaykan dengan variabel kasus DBD dengan visualiasi/identisasi lain sehingga dapat diketahui apakah di sekitar kasus DBD juga banyak jentiknya. Pemetaan selanjutnya dapat dilakukan pengujian transovari pada jentik/larva untuk mengetahui apakah jentik yang tertangkap sudah bervirus atau belum. Apabila dinas kesehatan kabupaten/kota akan melakukan tindakan evaluasi pengendalian vektor, bisa melakukan pengujian resistansi pada wilayah tersebut sehingga bila dalam satu wilayah kabupaten melakukan beberapa lokasi survei jentik, hasil pengujian resistansi dapat dipetakan berdasarkan status resistansinya. Pada Gambar 3.5 kenampakan persebaran jentik *Aedes aegypti* hasil survei jentik pada citra satelit menunjukkan bahwa keberadaan jentik di wilayah Desa Panggungharjo, Sewon Kabupaten Bantul hampir ditemukan pada setiap blok perumahan. Pada blok perumahan bagian tengah, ada yang ditemukan jentik *Aedes aegypti* dengan kepadatan tinggi (>40 jentik).

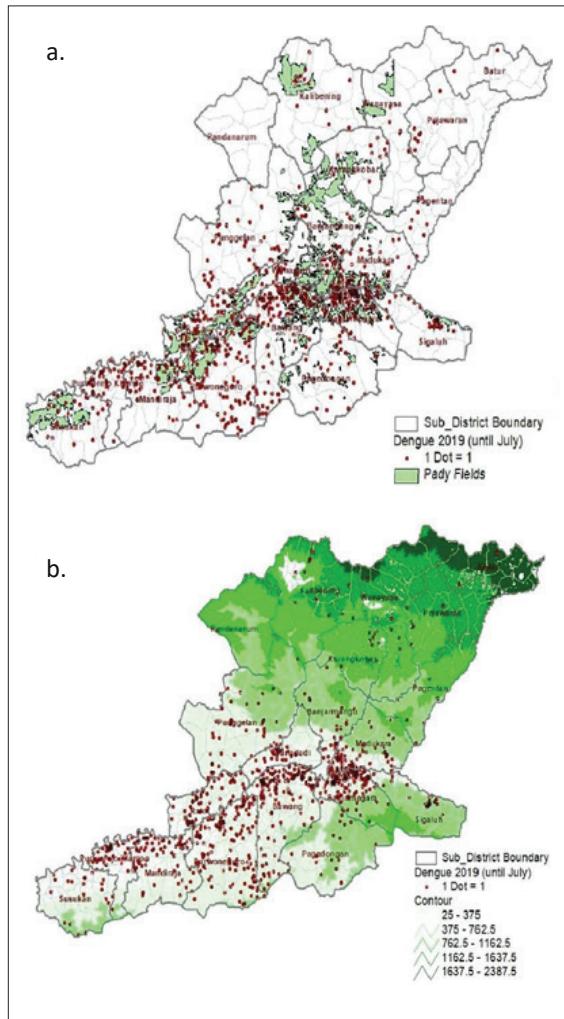


Sumber: Hasil riset pemetaan resistansi Aedes aegypti tahun 2015 di Desa Panggungharjo, Kecamatan Sewon, Kabupaten Bantul, Provinsi DIY.

Gambar 3.5 Pemetaan Sebaran Survei Jentik Menggunakan Citra Google Earth

K. Penggunaan SIG Untuk Mempelajari Pola Spasial DBD

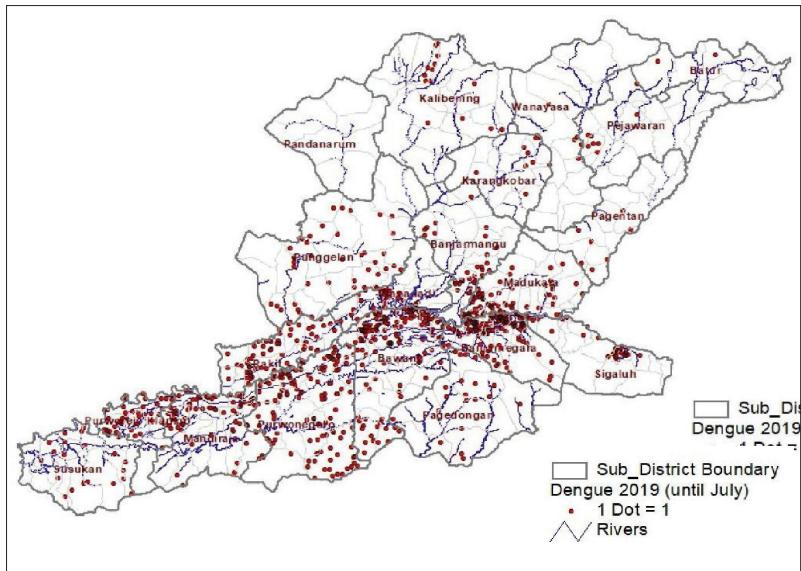
Pengelola Program DBD di dinas kesehatan kabupaten/kota mungkin ingin mengetahui mengapa insiden DBD terjadi dengan konsisten di beberapa desa. Peta risiko DBD yang dibuat secara tumpang susun/*overlay* di atas peta tata ruang, dan *land use* di atas peta topografi dan hidrologi akan memberikan informasi yang berharga untuk mencermati keterkaitan antara DBD dan variabel lingkungan. Dengan demikian, pengelolaan lingkungan dapat dilakukan untuk menghasilkan efek berkelanjutan dari program penanggulangan DBD. DBD umumnya tersebar di daerah perkotaan dan pemukiman dekat persawahan dengan kontur dataran rendah antara 50–300 mdpl, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.6.



Keterangan: (a) Peta sebaran DBD *overlay* dengan penggunaan lahan persawahan dekat pemukiman dan (b) Sebaran DBD dengan kontur ketinggian tempat di Kabupaten Banjarnegara.

Sumber: Hasil pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara tahun 2017–2019.

Gambar 3.6 Peta Sebaran DBD Kab. Banjarnegara Tahun 2017–2019



Sumber: Hasil Pemetaan SIG data E-DBD Kab. Banjarnegara Tahun 2017–2019

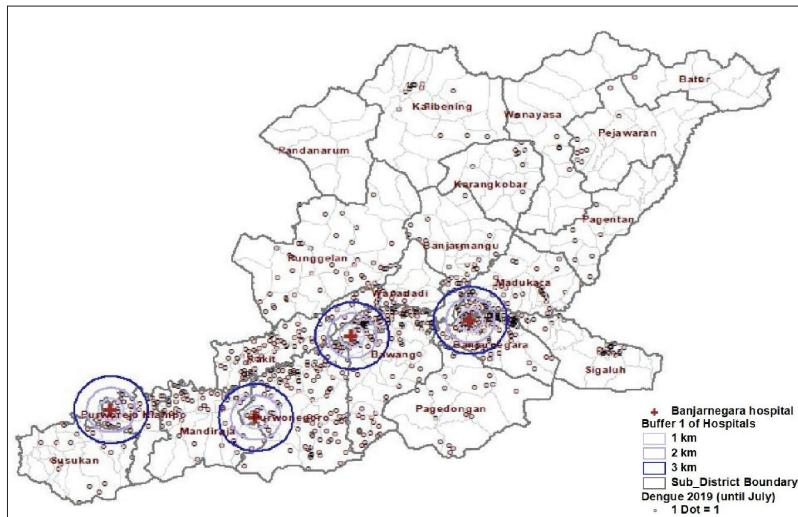
Gambar 3.7 Peta Sebaran Kasus DBD Dekat Aliran Sungai di Wilayah Kabupaten Banjarnegara

Gambar 3.7 menunjukkan bahwa desa-desa di sepanjang aliran sungai berisiko tinggi DBD. Pada kondisi ini, secara teknis memang tidak ada hubungan langsung antara keberadaan sungai dengan persebaran DBD, karena habitat nyamuk penular DBD/*Aedes aegypti* tidak suka pada air yang tergenang berhubungan langsung dengan tanah. Namun demikian, faktor lain yang bisa dilihat adalah apakah sungai tersebut dekat dengan pemukiman atau tidak, dengan keberadaan sungai di dekat pemukiman akan berpengaruh pada meningkatnya kelembapan, hal tersebut menjadikan kehidupan *Aedes* spp. lebih eksis.

L. Aksesibilitas terhadap Layanan Surveilans dan Penanggulangan DBD

Sebagai alat perencanaan, SIG DBD dapat digunakan untuk menilai cakupan layanan surveilans dan penanggulangan DBD. Penilaian atas

program penanggulangan DBD dapat dilakukan dengan membagi-bagi lokasi desa dan kemudian menyusun fasilitas kesehatan yang memberikan layanan penanggulangan dan surveilans DBD. Penggunaan SIG dalam penanggulangan DBD di rumah sakit, dalam hal ini rumah sakit yang melakukan penanganan dan pengobatan DBD Rawat Inap dari kegiatan rujukan puskesmas dan kunjungan langsung pasien DBD. Radius jarak tertentu (*buffering*) dapat dihitung pada SIG untuk mengungkapkan wilayah cakupan pelayanan rumah sakit terhadap persebaran kasus DBD. Di Kabupaten Banjarnegara, wilayah cakupan adalah 3 km untuk RS. Gambar 3.8 menunjukkan peta wilayah dari Rumah Sakit di Banjarnegara yang terdiri dari Rumah Sakit Umum Hj. Lasmana (Kota Banjarnegara), Rumah Sakit Islam Bawang (Bawang), Rumah Sakit Umum Muhammadiyah (Purwanegara), dan Rumah Sakit Emanuel (Klampok). Pada radius maksimal 3 km, sebaran kasus DBD banyak terjadi di rumah sakit perkotaan. Gambaran sebaran kasus menggunakan analisis buffer sebaiknya menggunakan sebaran kasus berdasarkan koordinat posisi sehingga penggambarannya lebih realitas, dibandingkan bila sebaran kasus berdasarkan wilayah desa.



Sumber: Hasil Pemetaan SIG Data E-DBD Kab. Banjarnegara Tahun 2017–2019

Gambar 3.8 Jarak antara Fasilitas Pelayanan Kesehatan (Rumah Sakit) dan Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banjarnegara.

M. Pemodelan SIG untuk Kerawanan DBD dengan Logika Fuzzy

Salah satu aspek penting penanggulangan DBD adalah identifikasi wilayah dengan risiko penularan tinggi dengan potensi perjangkitan di masa depan. Model SIG berdasarkan data lingkungan dapat digunakan untuk mengintegrasikan berbagai data (peta) lingkungan guna mengidentifikasi wilayah dengan risiko tinggi. Selanjutnya, wilayah akan memiliki potensi tinggi terjangkit DBD di masa mendatang jika sumber-sumber penularan memasuki wilayah tersebut (hal ini bisa terjadi karena populasinya sangat tersebar luas di seluruh Indonesia). Salah satu pemodelan SIG adalah penggunaan logika fuzzy untuk mengkaji demam berdarah. Pemodelan ini pernah dilakukan oleh Adzan dan Danoedoro (2012). Langkah-langkah untuk pemodelan Fuzzy sebagai berikut.

1) Fuzifikasi

Setiap parameter penentu kerawanan DBD diubah dalam rentang nilai fuzzy (0–1). Dalam proses fuzifikasi, semua parameter menggunakan fungsi keanggotaan linier. Kurva linier merepresentasikan peningkatan nilai derajat keanggotaan seiring meningkatnya nilai variabel.

2) Fuzzy Overlay

Analisis Fuzzy Overlay dilakukan untuk mengetahui tingkat kerawanan DBD berdasarkan indikator penentu kerawanan DBD (yang telah difuzifikasi). Analisis Fuzzy Overlay akan menghasilkan keluaran tingkat kerawanan DBD, secara fuzzy pula dengan rentang derajat keanggotaan 0–1, makin mendekati nilai derajat keanggotaan 1 maka tingkat kerawanan makin tinggi, begitu pula sebaliknya. Hasil dari fuzzy overlay akan dilakukan proses uji akurasi pemodelan. Uji akurasi dilakukan dengan analisis korelasi *product momen*, antara hasil pemodelan dan data wilayah yang terdapat kasus DBD.

3) Defuzifikasi

Defuzifikasi adalah proses pengklasifikasikan untuk mengembalikan nilai hasil fuzzy overlay ke dalam bentuk yang tegas (*crisp*) sehingga

pemodelan yang dibuat menjadi lebih mudah untuk dipahami. Proses defuzifikasi dilakukan dengan mengategorikan nilai hasil fuzzy overlay ke dalam 3 (tiga) tingkat kelas kerawanan. Variabel lingkungan yang digunakan untuk menentukan model kerawanan DBD, makin lengkap variabel yang digunakan makin sensitif model yang kita buat. Model kerawanan di bawah ini menggunakan 4 variabel sebagai berikut.

a) Curah Hujan

Penularan demam berdarah dengue pada umumnya terjadi pada awal musim hujan (permulaan tahun dan akhir tahun). Hal ini dikarenakan pada musim hujan vektor penyakit demam berdarah (*Aedes spp.*) populasinya meningkat dengan bertambah banyaknya habitat nyamuk di luar rumah sebagai akibat sanitasi lingkungan yang kurang bersih, pada musim kemarau *Aedes spp.* bersarang di bejana yang selalu terisi air, seperti bak mandi, tempayan, drum, dan penampungan air. Proses spasialisasi data dilakukan dengan metode interpolasi. Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui. Metode interpolasi yang digunakan adalah Inverse Distance Weighted (IDW). Metode IDW merupakan metode interpolasi konvesional yang memperhitungkan jarak sebagai bobot. Jarak yang dimaksud di sini adalah jarak (datar) dari titik data (sampel) terhadap blok yang akan diestimasi. Jadi, makin dekat jarak antara titik sampel dan blok yang akan diestimasi, maka makin besar bobotnya, begitu juga sebaliknya (Hadi, 2013).

b) Kepadatan Permukiman

Kepadatan permukiman adalah salah satu indikator dalam penentuan tingkat kerawanan DBD. Boekoesoe (2013) menyatakan bahwa penyebaran populasi *Aedes aegypti* erat kaitannya dengan perkembangan permukiman penduduk akibat didirikannya rumah-rumah baru yang dilengkapi sarana pengadaan dan penyimpanan air untuk keperluan sehari hari. Terdapat keterkaitan antara pola/tata letak permukiman dan perkembangan nyamuk *Aedes aegypti*, asumsinya bahwa pada daerah yang permukimannya padat dan tidak teratur menyebabkan kendala seperti saluran pembuangan limbah dan saluran

air hujan yang tidak memadai, banyak rumah yang asal membangun sehingga tidak terdapat cukup cahaya masuk. Hal ini mengakibatkan kelembapan udara tinggi yang mempermudah perkembangbiakan nyamuk *Aedes aegypti*.

c) Ketinggian Tempat

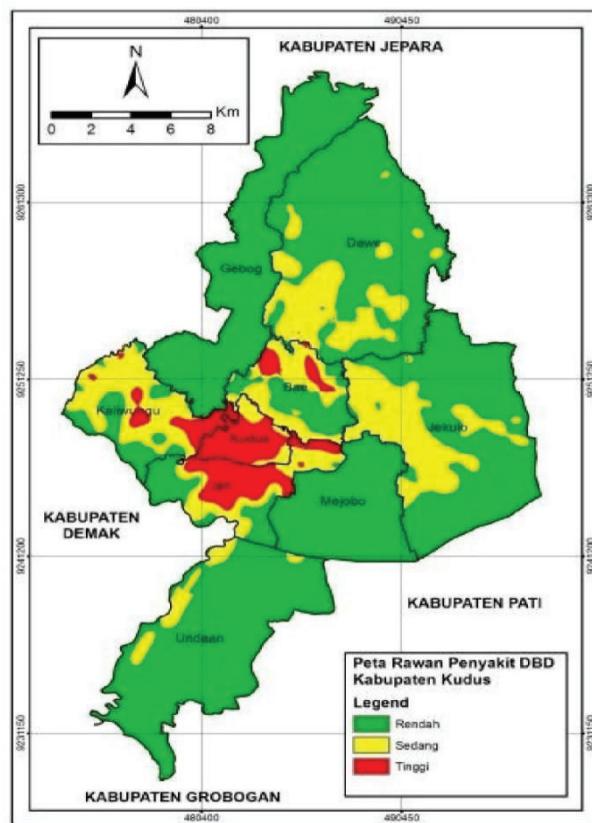
Faktor ketinggian tempat memengaruhi penyebaran penyakit DBD. WHO (2009) menyatakan bahwa nyamuk *Aedes aegypti* dapat berkembang dengan baik pada ketinggian di bawah 1.000 meter di atas permukaan laut. Informasi ketinggian tempat berasal dari data DEM ASTER GDEM dengan resolusi 30 m. Data DEM ASTER GDEM kemudian dilakukan proses reklasifikasi sehingga dengan tegas dapat dibedakan wilayah mana yang mempunyai ketinggian di atas 1.000 m dan di bawah 1.000 m.

d) Sumber Penyediaan Air

Beberapa faktor lingkungan memengaruhi penyebaran penyakit DBD, seperti penyediaan air bersih dan sanitasi. Sistem penyediaan air di tingkat rumah tangga berpengaruh langsung pada kepadatan vektor DBD (Kesmas, 2015). Jika sistem itu telah meminimalisasi tempat penampungan air, misalnya karena sudah menggunakan jaringan perpipaan, sangat dimungkinkan kepadatan vektor juga akan menurun. Sebagaimana kita ketahui, tempat-tempat penampungan air (kontainer) pada tingkat rumah tangga menjadi tempat kehidupan telur, larva, pupa *Aedes spp*. Data tersebut menunjukkan sumber air yang digunakan setiap kepala keluarga (KK) di mana sumber penyediaan air yang digunakan dalam pembuatan model spasial ini adalah sumber penyediaan air, yang meliputi sumur galian, sumur bor, mata air, dan penampungan air hujan. Data tersebut kemudian dimasukkan dalam data atribut tiap kecamatan di Kabupaten Kudus dan dikonversi dalam bentuk raster.

Hasil fuzifikasi adalah indeks fuzzy yang menunjukkan derajat kerawanan DBD di setiap indikatornya. Nilai yang makin dekat dengan 1 diasumsikan memiliki kontribusi dalam tingkat kerawanan DBD.

Hasil fuzifikasi terlihat semua indikator memiliki nilai tertinggi, yaitu 1. Hal ini menunjukkan bahwa semua indikator memiliki pengaruh yang sama dalam penentu tingkat kerawanan DBD (Gambar 3.9).



Sumber: Hasil Penelitian Trida RF Pemodelan spasial kerawanan penyakit Demam Berdarah (DBD) menggunakan Logika Fuzzy di Kabupaten Kudus (2017)

Gambar 3.9 Contoh Peta Kerawanan DBD Menggunakan Pemodelan Fuzzy

N. Penutup

Makalah ini membahas berbagai aspek terkait pemanfaatan SIG untuk pencegahan dan pengendalian penyakit tular vektor nyamuk. Kami telah menunjukkan bahwa SIG dapat digunakan untuk mengumpulkan, mengatur, menganalisis, dan mengelola data geografis dengan manfaat menyajikan informasi secara lengkap dan akurat. Teknik analisis spasial *overlay* adalah salah satu prosedur penting dalam analisis SIG dan dapat digunakan untuk menampilkan suatu peta digital beserta atribut-atributnya dan menghasilkan peta gabungan keduanya yang memiliki informasi atribut dari kedua peta tersebut. Kami berharap bahwa makalah ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang SIG dan manfaatnya untuk pencegahan dan pengendalian vektor. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan makalah ini.

Referensi

- Achmadi, U. F. (2005). *Manajemen penyakit berbasis wilayah*. Kompas.
- Adzan, G., & Danoedoro, P. (2012). Penggunaan logika fuzzy dalam pemodelan spasial kerentanan DBD di Kota Yogyakarta. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1(3), 59–70. <https://media.neliti.com/media/publications/76508-ID-penggunaan-logika-fuzzy-dalam-pemodelan.pdf>
- Aronoff, S. (1989). *Geographic information systems: A management perspective*. WDL Publications.
- Begum, F. (2016, 9 Desember). *Mapping disease: John Snow and Cholera*. Royal College of Surgeons of England. <https://www.rcseng.ac.uk/library-and-publications/library/blog/mapping-disease-john-snow-and-cholera/>
- Boekoesoe, L. (2013). *Kajian faktor lingkungan terhadap kasus demam berdarah dengue (DBD) (Studi Kasus Di Kota Gorontalo Provinsi Gorontalo)* [Disertasi]. Universitas Gadjah Mada.
- Charter, D., & Agtrisari, I. (2003). *Desain dan aplikasi GIS: Geographics information system*. PT. Elex Media Komputindo.

- Dapeng, L. (1992). *Geographical information system: A tool to improve decision making on malaria surveillance and control*. Kementerian Kesehatan RI.
- Ditjen P2M & PL. (2001). *Menggunakan ArcViewSIG (Penggunaan sistem informasi geografis untuk program survailans dan pemberantasan penyakit)*. Direktorat Jenderal Pemberantasan Penyakit Menular dan Penyehatan Lingkungan Pemukiman Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Konsultan Proyek ICDC Paket B.
- Elliott, P., & Wartenberg, D. (2004). Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 998–1006. <https://doi.org/10.1289/ehp.6735>
- Fariz, T. R. (2017). Pemodelan spasial kerawanan penyakit demam berdarah (DBD) menggunakan logika fuzzy di Kabupaten Kudus. *Jurnal Geografi*, 14(1), 90–101. <https://doi.org/10.15294/jg.v14i1.9780>
- Good Doctor ID , 2023. *Bagaimana pemanfaatan SIG dalam penyebaran suatu penyakit*. (Diakses 16 Desember 2023), <https://gooddoctor.id/pendidikan/bagaimana-pemanfaatan-sig-dalam-penyebaran-suatu-penyakit/>
- Hadi, B. S. (2013). Metode interpolasi spasial dalam studi geografi: Ulasan singkat dan contoh aplikasinya. *Geomedia*, 11(2), 235–252. <https://doi.org/10.21831/gm.v11i2.3454>
- Hadi, W., Nitya, I. F., Syaukat, S., Tambunan, R. P., & Soesilo, T. E. B. (2011). Penggunaan sistem informasi geografis efektif memprediksi potensi demam berdarah di kelurahan endemik (Pademangan Barat, Jakarta Utara). *Makara Journal of Health Research*, 15(1), 21–30. <https://uipublishing.id/books/fzlp/#p=1>
- Harimurti, N. K. (2007). *Analisis spasial dan temporal kasus demam berdarah dengue di Kota Yogyakarta* [Skripsi]. Fakultas Kedokteran Universitas Gadjah Mada.
- Indriasih, E. (2008). Sistem informasi geografis dalam bidang kesehatan. *Buletin Penelitian Sistem Kesehatan*, 11(1), 99–104. <https://media.neliti.com/media/publications-test/21096-sistem-informasi-geografis-sig-dalam-bid-20678946.pdf>
- Kesmas. (2015, 21 Januari). *Faktor lingkungan yang berhubungan dengan DBD*. Diakses pada 25 November 2024, dari <https://www.indonesian-publichealth.com/faktor-lingkungan-yangberhubungan-dengan-dbd/>

- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 374/MENKES/PER/III/2010 tentang Pengendalian Vektor, Direktorat Jenderal Pengendalian Penyakit dan Penyehatan Lingkungan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2012). <https://pelayanan.jakarta.go.id/download/regulasi/peraturan-menteri-kesehatan-nomor-374-menkes-per-iii-2010-tentang-pengendalian-vector.pdf>
- Prahasta, E. (2002). *Konsep-konsep dasar sistem informasi geografis*. Informatika Bandung.
- Pusat Pelatihan SDM Kesehatan. (2009). *Modul pelatihan sistem informasi geografis untuk intensifikasi pemberantasan penyakit menular*. Kementerian Kesehatan RI. https://siakpel.kemkes.go.id/upload/akreditasi_kurikulum/modul-2-31313830-3534-4431-b130-323230353239.pdf
- Rahman, F. (2020). *Pemanfaatan sig di bidang kesehatan masyarakat*, Universitas Halu Oleo. <https://www.linkedin.com/pulse/pemanfaatan-sistem-informasi-geografi-di-bidang-kesehatan-rahaman/>
- Setyawan, D. A. (2014). *Sistem informasi geografis (sig) dalam kesehatan masyarakat, program studi diploma iv kebidanan komunitas Politeknik Kesehatan Surakarta*. <https://bidankomunitas.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/01/sig-dalam-kesmas.pdf>
- Sunaryo. (2019). *Sistem informasi geografis untuk kesehatan masyarakat*. Diandra Kreatif.
- Vaughan, J. P., & Morrow, R. H. (1989). *Manual of epidemiology for district health management*. World Health Organization.
- World Health Organization (WHO). (2009). *Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control: new edition*. <https://iris.who.int/handle/10665/44188>

BAB 4

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Malaria dan Demam Berdarah Dengue

Dwi Sarwani Sri Rejeki

A. Pendahuluan

Penyakit tular vektor masih menjadi permasalahan kesehatan yang penting di Indonesia. Setiap tahun di Indonesia masih dilaporkan beberapa penyakit tular vektor, seperti malaria, demam berdarah dengue (DBD), chikungunya, dan filariasis. Komitmen Indonesia untuk mengeliminasi malaria dibuktikan dengan terbitnya Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 293/MENKES/SK/IV/2009 tentang eliminasi malaria di Indonesia untuk mewujudkan masyarakat yang hidup sehat, terbebas dari penularan malaria secara bertahap sampai tahun 2030. Sampai tahun 2024 ini, di Indonesia masih dilaporkan kasus malaria terutama di Indonesia bagian timur. Sementara itu, kasus DBD sampai saat ini masih dilaporkan oleh

D. S. S. Rejeki

Universitas Jenderal Soedirman, e-mail: dwi.rejeki@unsoed.ac.id

©2024 Editor & Penulis

Rejeki, D. S. S. (2024). Pemanfaatan sistem informasi geografis dalam pencegahan dan pengendalian penyakit malaria dan demam berdarah dengue. Dalam S. P. M. Wijayanti & A. L. Ramadona (Ed.), *Dinamika penyakit tular vektor nyamuk di Indonesia* (89–124). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1589. c1274 E-ISBN: 978-602-6303-59-2

hampir seluruh wilayah Indonesia, baik di wilayah perkotaan maupun perdesaan. Berbagai upaya dilakukan untuk mengendalikan penyakit tular vektor ini, salah satunya dengan pendekatan sistem informasi geografis (SIG).

Sistem informasi geografis (SIG) merupakan sistem informasi bersifat geografis yang menjelaskan suatu keadaan “ruang” atau wilayah, atau yang dikenal dengan istilah spasial (*spatial*) sehingga sering dikenal dengan analisis spasial (analisis keruangan). Sistem informasi geografis ini adalah sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengolah dan menyimpan data atau informasi geografis. Komponen SIG terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis, analisis, dan sumber daya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbarui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisis, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Centers for Disease Control, 2019). Pemanfaatan SIG mencakup bidang lingkungan, pertanahan, pertanian, ekonomi bisnis, telekomunikasi, pendidikan, pertambangan, transportasi, militer, dan tentu saja kesehatan. Di bidang kesehatan, tokoh yang memelopori penggunaan SIG ini adalah John Snow (bapak epidemiologi modern). John Snow mempelajari wabah kolera di Kota London pada tahun 1854 dengan melakukan pemetaan untuk menyelidiki kaitan antara air dengan kejadian kolera di London (WHO, 2023).

Ada 4 komponen penting dalam SIG, yaitu perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data geografi, dan personel yang mengoperasi sistem ini. Perangkat keras meliputi komputer, CPU (*Central Processing Unit*), monitor, *printer*, *digitizer*, *scanner*, *plotter*, CD rom, VDU (*Visual Display Unit*), *flash disk*, dan lain sebagainya. Perangkat lunak meliputi *software* yang digunakan untuk input data, proses maupun *output* data. *Software* yang digunakan di antaranya Q-GIS dan ArcGis. Data geografi terdiri dari data grafis (spasial) dan data atribut (tematik). Data grafis atau data spasial adalah data yang tersimpan dalam bentuk garis, titik, dan area. Contoh

data grafis/spasial ini adalah topografi, rupabumi, lingkungan laut, dan lingkungan pantai. Data atribut adalah data yang menjelaskan mengenai setiap objek di permukaan bumi, termasuk fenomena atau informasi yang mengikutiinya. Contoh data atribut yaitu tata guna lahan, mineral, batuan, geologi, flora dan fauna, penduduk, administrasi, sosial-ekonomi-budaya, serta politik.

Sebagai suatu sistem, sistem informasi geografis (SIG) mempunyai beberapa komponen antara lain sebagai berikut.

1) Masukan data (*input*)

Masukan data ini bisa berupa peta, tabel, laporan, data statistik, foto udara, citra satelit, dan pengukuran lapangan. Data yang dimasukkan dalam sistem ini meliputi data spasial dan data atribut.

2) Manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan)

Manajemen data merupakan serangkaian kegiatan dalam pengorganisasian data atau basis data.

3) Analisis dan manipulasi data

Analisis data dan manipulasi data merupakan kegiatan pemodelan untuk menghasilkan informasi baru. Informasi baru ini digunakan sebagai dasar perencanaan kegiatan atau intervensi.

4) Keluaran (*output*)

Keluaran atau *output* dari sistem GIS dapat meliputi peta, tabel, dan grafik. Dengan adanya peta, pembaca akan lebih mudah menginterpretasikannya dibandingkan dengan narasi.

Sistem Informasi Geografis (SIG) dirancang untuk mendukung berbagai analisis terhadap informasi geografi data dari aspek keruangan, mengembangkan dan menguji model-model, serta menyajikan kembali data sehingga akan meningkatkan pemahaman dan wawasan tentang sesuatu. Teknik-teknik analisis seperti inilah yang disebut analisis spasial. Analisis spasial adalah sekumpulan teknik untuk menganalisis data spasial untuk memberikan informasi yang spesifik tentang peristiwa yang sedang terjadi pada suatu area atau wilayah

geografi atau perubahan yang terjadi pada waktu tertentu. Analisis spasial ini dapat diterapkan dalam bidang ilmu kesehatan, seperti epidemiologi yang mempelajari tentang distribusi, frekuensi, dan determinan masalah kesehatan dan penyakit yang terjadi pada populasi/masyarakat dan aplikasinya untuk mengendalikan masalah tersebut. Dengan demikian, epidemiologi spasial merupakan deskripsi dan analisis variasi geografis penyakit yang berkaitan dengan faktor risiko demografis, lingkungan, perilaku, sosial-ekonomi, genetik, dan penyakit menular (Elliott & Wartenberg, 2004). Hingga saat ini, SIG dalam bidang kesehatan terus dikembangkan dan diterapkan guna mendukung upaya pencegahan dan pengendalian berbagai penyakit menular seperti malaria dan demam berdarah dengue. Oleh karena itu, bab ini membahas mengenai pemanfaatan SIG di bidang kesehatan, metode analisis spasial, dan pemanfaatannya dalam pencegahan dan pengendalian penyakit khususnya penyakit tular vektor seperti malaria dan demam berdarah dengue (DBD).

B. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis di Bidang Kesehatan

Penentuan distribusi penderita suatu penyakit, serta pola atau model penyebaran penyakit bisa digambarkan dengan SIG. Begitu juga dengan penentuan distribusi unit-unit rumah sakit, puskesmas-puskesmas, fasilitas-fasilitas kesehatan, maupun jumlah tenaga medis dapat pula dilakukan dengan SIG. Menurut World Health Organization (2006), SIG dalam kesehatan masyarakat dapat digunakan sebagai berikut.

1) Menentukan distribusi geografis penyakit

Sistem Informasi Geografis (SIG) digunakan untuk memetakan penyebaran dan distribusi geografis suatu penyakit di suatu wilayah, melihat apakah kecenderungan kasus-kasus penyakit pada wilayah geografi tertentu.

2) Analisis tren spasial dan temporal

Dengan membuat peta penyakit secara berurutan, misalnya 5 tahunan atau 10 tahunan, kita bisa melihat tren penyakit dalam kurun waktu tersebut, apakah mengalami peningkatan dan penyebaran atau tidak.

3) Pemetaan populasi berisiko

Pemetaan populasi atau wilayah berisiko memberikan informasi terkait wilayah atau populasi yang berisiko secara geografis. Pemanfaatan epidemiologi spasial misalnya digunakan untuk menggambarkan endemisitas wilayah dan populasi berisiko.

4) Stratifikasi faktor risiko

Faktor risiko bisa kita buat stratifikasi setiap wilayah geografis. Sistem informasi geografis (SIG) membantu untuk menggambarkan stratifikasi faktor risiko penyakit setiap wilayah.

5) Penilaian distribusi sumber daya

Dengan SIG, kita dapat melihat penyebaran sumber daya di bidang kesehatan, misalnya pelayanan dasar, dokter praktik, klinik, dan lain sebagainya. Hal ini penting dalam kegiatan analisis situasi dan penentuan target intervensi.

6) Perencanaan dan penentuan intervensi

Dengan dipetakan distribusi dan penyebaran penyakit dan masalah kesehatan, maka informasi tersebut dapat digunakan untuk perencanaan dan penentuan intervensi untuk menyelesaikan masalah.

7) Monitoring penyakit

Dengan membuat peta distribusi dan penyebaran penyakit, serta melihat tren penyakit, maka kita bisa memonitor penyakit dan melihat apakah penyakit sudah cenderung berkurang insidensinya dengan adanya intervensi yang sudah dilakukan.

C. Analisis Spasial, Temporal, Spasiotemporal

Analisis spasial merupakan gabungan dari data spasial dan data atribut yang disajikan secara inferensi visual. Letak suatu lokasi

atau posisi di permukaan bumi disebut data spasial, sedangkan data atribut merujuk pada variabel kualitatif, seperti nama dan atribut numerik, jumlah penduduk, jumlah pelayanan kesehatan (RS atau Puskesmas), pendapatan, dan lain sebagainya. Analisis spasial mencakup statistik spasial, yang bertujuan untuk mengkuantifikasi ketidakpastian estimasi, prediksi, dan pemetaan, serta menyediakan dasar inferensi statistik dengan data spasial (Waller & Gotway, 2004; Lai et al., 2009). Analisis spasial ini membantu para epidemiolog untuk mendeskripsikan pola spasial penyakit, mengidentifikasi *cluster* penyakit, dan menjelaskan atau memprediksi risiko dari penyakit. Pengelolaan data spasial menggunakan *geographic information systems* (GIS) dan *database management systems* (DBMS) serta melalui berbagai tahapan analisis data spasial (Pfeiffer et al., 2008).

Terdapat 3 kelompok metode analisis dalam spasial, yaitu visualisasi, eksplorasi, dan *modeling*. Visualisasi adalah analisis yang paling umum digunakan, menghasilkan peta yang mendeskripsikan pola spasial dan berguna untuk merangsang analisis selanjutnya dan mengomunikasikan dengan pihak lain. Eksplorasi dalam spasial menggunakan metode statistik untuk menentukan apakah pola yang diamati adalah acak (*random*) dalam ruang. Analisis *modeling* menggunakan konsep hubungan sebab akibat yang menggunakan data spasial dan nonspasial untuk menjelaskan atau memprediksi pola spasial. Analisis spasial juga menggabungkan visualisasi dan penggunaan statistik untuk menguji apakah pola yang diamati membentuk *cluster* (mengelompok) atau tersebar secara *random*. Identifikasi adanya *cluster* membantu dalam mengetahui secara dini adanya wabah penyakit menular dan faktor apa yang memengaruhinya. Selain itu, dalam analisis spasial bisa menghasilkan pemodelan, yaitu analisis spasial yang menjelaskan hubungan sebab-akibat dengan menggunakan data spasial dan atribut (Pfeiffer et al., 2008).

Di bidang kesehatan, aplikasi statistik spasial yang sering digunakan, yaitu analisis *clustering* dan pemodelan. Perangkat lunak SaTScan dan GeoDa banyak digunakan dalam analisis *clustering* dan

pemodelan. SaTScan adalah *software* yang digunakan untuk analisis spasial, *temporal*, dan *space-time* data yang menggunakan spasial, *temporal*, atau *space-time scan* statistik. Adapun tujuan penggunaan SaTScan (Kulldorff, 2015) adalah sebagai berikut:

- 1) menampilkan secara geografik surveilans penyakit, untuk mendekripsi spasial atau *cluster space-time* dan untuk melihat apakah secara statistik signifikan;
- 2) untuk menguji apakah penyakit berdistribusi *random* atau mengelompok dalam suatu lokasi, waktu atau lokasi dan waktu;
- 3) mengevaluasi kemaknaan statistik dari *cluster* penyakit yang terjadi; serta
- 4) menampilkan *real-time* prospektif atau periodik waktu surveilans penyakit untuk deteksi awal kejadian luar biasa (KLB)/*outbreaks*.

SaTScan dapat digunakan untuk diskret dan kontinu *scan* statistik. Pada diskret *scan* statistik, lokasi geografi data yang diamati adalah *non-random* dan *fixed*, seperti letak rumah, sekolah, atau bisa titik tengah/*central* dari lokasi yang luas (*centroid*). Pada kontinu *scan* statistik, lokasi yang diamati adalah *random* dan dapat terjadi di mana saja dalam studi area yang ditentukan oleh pengguna. Pada diskret *scan* statistik, SaTScan dapat menggunakan model *Poisson*, *Bernoulli*, *Space-time permutation*, *Multinomial*, dan *Exponential model*. Pada *Poisson model*, pengamatan pada jumlah kejadian yang terjadi pada populasi bukan pengamatan individu, harus diketahui populasi yang berisiko. *Bernoulli model* digunakan untuk dengan kejadian 1 dan 0, seperti kasus dan kontrol. Model *Space-time permutation* menggunakan data kasus yang terdiri dari lokasi spasial dan waktu mulai sakit. *Multinomial model* untuk data kategorik, merupakan model ordinal. Sedangkan eksponensial model digunakan untuk data waktu *survival* dengan atau tanpa *censored* variabel. Pada kontinu *scan* statistik, misalnya data curah hujan, kelembapan, polusi udara, SaTScan menggunakan model kontinu *Poisson* (Pfeiffer et al., 2008).

Cara kerja SaTScan yaitu dengan menempatkan jendela lingkaran pada peta studi sesuai dengan analisis dan model yang ditentukan. Analisis SaTScan terdiri dari *purely spatial*, *purely temporal*, dan *space-time*. Analisis *purely spatial* scan statistik yaitu jendela lingkaran akan ditempatkan berdasarkan hasil analisis menurut lokasi pada peta. Analisis *purely temporal* scan statistik yaitu jendela lingkaran ditempatkan berdasarkan analisis dimensi waktu. Analisis *space-time* scan statistik yaitu jendela lingkaran akan ditempatkan berdasarkan hasil analisis menurut lokasi dan menurut dimensi waktu (Kulldorff, 2015). Pada analisis SaTScan, dilakukan perbandingan jumlah kasus yang diobservasi pada *cluster* dengan jumlah kasus yang diharapkan bila lokasi spasial dan temporal saling bebas sehingga tidak ada interaksi *space-time*. Apabila dalam kurun waktu jumlah kasus pada suatu area geografis tertentu dua kali lebih tinggi dibandingkan area geografis lainnya, maka pada area geografis tersebut terjadi *cluster* (Rejeki et al., 2019).

GeoDa merupakan perangkat lunak yang mengombinasikan peta dan statistik grafik (Anselin, 2003). GeoDa mempunyai kemampuan dalam menganalisis ketergantungan spasial. Ketergantungan spasial yaitu mempelajari hubungan antarkarakteristik dalam lingkup geografi. Ukuran yang digunakan untuk mengetahui ketergantungan spasial, yaitu autokorelasi spasial. Teknik untuk mengidentifikasi apakah suatu kejadian penyakit di permukaan bumi berkesesuaian atau tidak berkesesuaian dengan unit area sekitarnya disebut autokorelasi spasial. Autokorelasi spasial penting dalam epidemiologi penyakit karena pada statistik diasumsikan bahwa kejadian saling berhubungan atau saling bebas satu sama lain. Di sisi lain, apabila kejadian penyakit diambil dari area atau titik yang berdekatan dan hasil analisis statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan kejadian pada area-area tersebut, maka statistik tidak dapat mengidentifikasi adanya autokorelasi spasial (Lai et al., 2009).

D. Pemanfaatan Analisis Spasial pada Penyakit Malaria dan Demam Berdarah Dengue

Epidemiologi spasial banyak digunakan dalam epidemiologi penyakit, terutama penyakit menular, seperti malaria, demam berdarah, filariasis, tuberkulosis paru, dan lain sebagainya. Beberapa kajian epidemiologi spasial pada penyakit tular vektor sudah dilakukan di beberapa negara dan juga di Indonesia.

1. Pemanfaatan Epidemiologi Spasial pada Penyakit Malaria

Penggunaan analisis spasial sangat bermanfaat dalam malaria (Carter et al., 2000; Tonnang et al., 2010). Aspek keruangan yang menunjukkan lokasi letak dan posisi suatu objek atau kejadian yang berada di bawah, pada, atau di atas permukaan bumi yang dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu disebut geospasial (UU No. 4, 2011). Untuk keperluan perubahan data spasial menjadi informasi geospasial, diperlukan SIG serta analisis spasial. Penggunaan SIG untuk malaria, yaitu dalam penentuan analisis variasi lokal, penentuan zona berisiko secara geografi, dan pengukuran intervensi malaria (Carter et al., 2000; Coulibaly et al., 2013; Clements et al., 2013). Penggabungan aspek keruangan dan aspek waktu disebut spasiotemporal. Penggunaan spasiotemporal dalam pengendalian malaria yaitu dalam penentuan target intervensi berdasarkan tren lokal transmisi (Alemu et al., 2014; Alemu et al., 2013; Dhimal et al., 2014). Beberapa negara seperti Ethiopia, Bangladesh, China, dan Kenya menunjukkan kejadian malaria yang mengelompok/membentuk *cluster*, baik *cluster* primer, sekunder (Alemu et al., 2013; Haque et al., 2011; Zhang et al., 2008; Ernst et al., 2006), maupun mengelompok pada waktu tertentu (Xia et al., 2015; Alemu et al., 2014). Dalam fase pra-eliminasi dan eliminasi, intervensi harus ditargetkan untuk seluruh desa atau kota-kota yang memiliki kejadian malaria lebih tinggi sampai episode malaria pada individu (Bousema et al., 2012).

Sistem informasi geografis (SIG) dengan *clustering* spasial malaria digunakan untuk mengetahui pola spasial kejadian malaria dan membantu menghubungkan hipotesis terhadap distribusi yang diobservasi. Analisis *clustering* digunakan untuk sistem kewaspadaan dini KLB suatu penyakit dan untuk penentuan target intervensi lokal yang tepat (Coleman et al., 2009). Spatial statistik (SaTScan) digunakan untuk mengetahui apakah kejadian malaria berdistribusi secara acak atau mengelompok (Xia et al., 2015; Alemu et al., 2014). Hasil penelitian malaria di Ethiopia menunjukkan terdapat 5 kabupaten termasuk *the most likely spatiotemporal clusters* dan di seluruh wilayah penelitian diidentifikasi *secondary clusters* (Alemu et al., 2013). Penelitian di Perbukitan Bangladesh menunjukkan bahwa penderita malaria membentuk 3 *cluster* di wilayah tersebut (Haque et al., 2011). Di Provinsi Anhui China, diidentifikasi ada 8 kecamatan dan 2 kota yang kasus malaria mengelompok selama tahun 2002–2006 (Zhang et al., 2008). Terdapat pengelompokan (*cluster*) kasus malaria selama 4 tahun di dataran tinggi Kenya, individu yang tinggal di area *cluster* malaria memiliki risiko 3 kali lebih besar menderita malaria dibanding dengan yang tinggal di luar *cluster* (Ernst et al., 2006). Kejadian luar biasa (KLB) yang terjadi di Kota Albertsnek dan Thambokulu di Provinsi Mpumalanga Afrika Selatan sama dengan hasil analisis *space time cluster*. Hal ini menunjukkan *space time cluster* dengan SaTScan bisa digunakan sebagai sistem konfirmasi terjadinya KLB (Coleman et al., 2009).

Hasil analisis spasial malaria di Pulau Sebatik Kalimantan Timur tahun 2007–2009 menunjukkan pola sebaran malaria bersifat menge-lompok, letak rumah kasus malaria cenderung berdekatan (65–75 m) dan rumah kasus malaria berdekatan dengan habitat jentik dan dalam jarak terbang nyamuk (Boewono et al., 2012). Hasil spasial kejadian malaria saat KLB di Purworejo tahun 2010–2011 menunjukkan terdapat pengelompokan (*clustering*) malaria secara kewilayahan, yaitu di Desa Somongari Kecamatan Kaligesing periode November 2010–Maret 2011 (Sulistyawati, 2012).

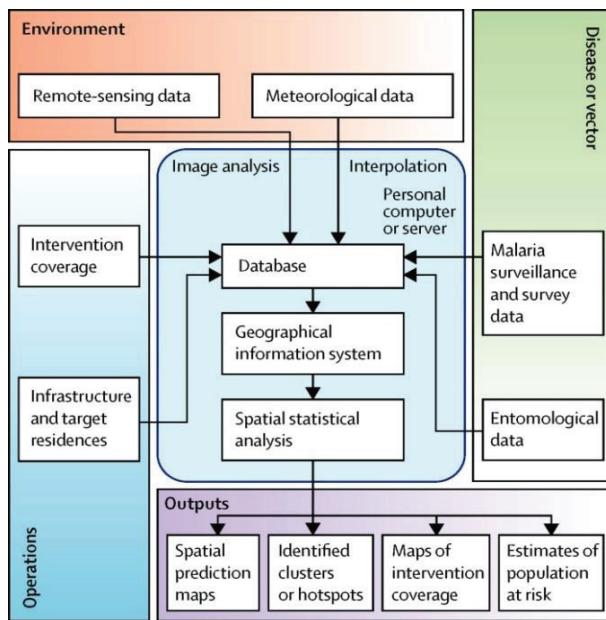
a. Spasiotemporal Malaria

Spasiotemporal epidemiologi malaria adalah metode yang digunakan untuk memahami spasial dan temporal pola epidemi penyakit malaria, menilai perubahan transmisi malaria, serta mengidentifikasi lokasi dan waktu epidemi malaria dengan risiko yang lebih tinggi (Alemu et al., 2014; Xia et al., 2015). Analisis spasiotemporal digunakan untuk mengidentifikasi lokasi *cluster* dari wilayah berisiko tinggi atau berisiko rendah malaria, aplikasi retrospektif analisis untuk menggambarkan secara epidemiologi dan investigasi, serta prospektif analisis untuk *surveillance real-time*.

Analisis spasial atau keruangan terhadap penyakit merupakan hal yang penting. Hal ini terkait penularan malaria pada setiap daerah yang memiliki ekosistem yang berbeda dan lokal spesifik. Analisis keruangan pada wilayah setingkat desa akan memudahkan dalam menjelaskan faktor yang secara spesifik memengaruhi penularan malaria atau mendeskripsikan pola penularan di wilayah tersebut. Pengetahuan tentang model transmisi malaria pada ekosistem tertentu, berarti kemampuan untuk mengetahui pola penularan sesuai dengan kondisi ekosistemnya masing-masing sehingga petugas kesehatan di lapangan akan mampu merencanakan intervensi sesuai dengan kondisi setempat (Alemu et al., 2014). Penerapan ilmu geospasial dalam rangka eliminasi malaria ditunjukkan oleh Gambar 4.1

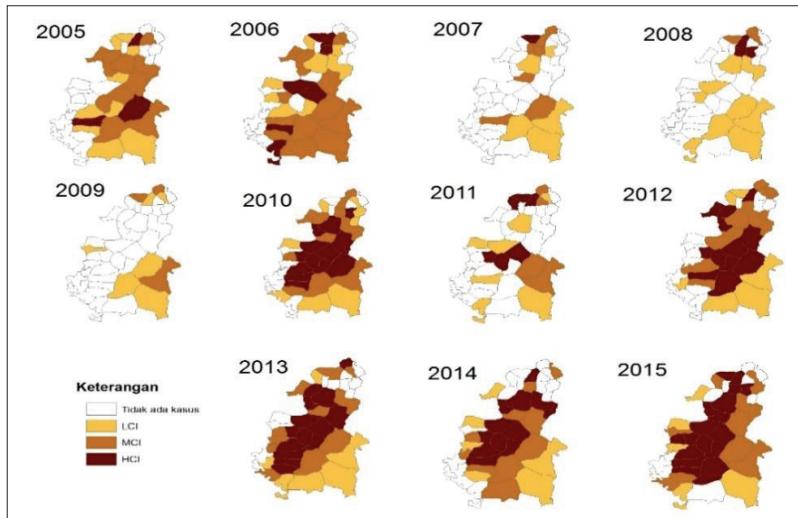
Pemanfaatan GIS dalam contoh peta endemisitas malaria di Perbukitan Menoreh dari tahun 2005–2015 disajikan pada Gambar 4.2. Gambaran endemisitas malaria dilihat dari angka *annual parasite incidence* (API) per desa selama 11 tahun di ekosistem Menoreh. Desa kategori *low case insidence* (LCI) jika API < 1 per 1.000 penduduk, *Moderate case insidence* (MCI) jika API 1,0–4,9 per 1.000 penduduk dan *high case insidence* (HCI) jika API ≥ 5 per 1000 penduduk.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kasus malaria dan angka API di ekosistem Menoreh berfluktuatif selama periode 11 tahun. Angka API cenderung turun sampai tahun 2009, tetapi terjadi peningkatan kembali sampai tahun 2015. Peningkatan API cukup signifikan dalam waktu 5 tahun terakhir. Jumlah kasus dan API tertinggi terjadi pada



Sumber: Clements et al. (2013)

Gambar 4.1 Kerangka Kerja Geospasial untuk Eliminasi Malaria



Gambar 4.2 Endemisitas Malaria Per Desa di Ekosistem Menoreh Tahun 2005–2015

tahun 2015. Desa-desa dengan API bervariasi selama 11 tahun. Selama 5 tahun terakhir jumlah desa yang endemis makin bertambah jumlahnya, jumlah desa LCI, MCI, dan HCI makin meningkat. Bahkan pada tahun 2015 desa-desa di Menoreh didominasi dengan desa HCI. Ada 17 (39,5%) desa HCI pada tahun 2015, meningkat dari 11 (25,6%) desa HCI pada tahun 2014. Setiap kecamatan yang ada di ekosistem Menoreh terdapat desa HCI pada tahun 2015.

b. Sebaran Malaria

Analisis *global spatial autocorelation* (Indeks Global Moran) dilakukan untuk mengetahui pola sebaran kasus malaria di semua desa di Menoreh setiap tahunnya. Hasil analisis tiap tahun menghasilkan apakah pola sebaran malaria di Menoreh berpola mengelompok (*clustered*), menyebar (*dispersed*), atau *random* (tidak ada *autocorelation*). Berikut hasil analisis *global spatial autocorelation* menggunakan ArcGIS yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Insiden Malaria dan Global *Spatial Autocorelation* di Ekosistem Perbukitan Menoreh

Tahun	N	Incidence Rate	I	Z	p-value	Keterangan
2005	24	1,3	0,01	8,12	0,01	Clustered
2006	29	3,0	0,09	2,29	0,05	Clustered
2007	13	0,6	0,03	6,16	0,01	Clustered
2008	15	0,9	-0,04	-0,44	0	Random (tidak ada autokorelasi)
2009	9	0,2	0,04	4,8	0,01	Clustered
2010	17	1,8	0,02	5,91	0,01	Clustered
2011	32	9,3	0,1	5,47	0,01	Clustered
2012	30	5,9	-0,01	0	0	Random (tidak ada autokorelasi)

Tahun	N	<i>Incidence Rate</i>	I	Z	p-value	Keterangan
2013	32	6,1	0,06	3,71	0,01	Clustered
2014	27	6,2	0,01	1,11	0	<i>Random</i> (tidak ada autokorelasi)
2015	32	10,8	0,1	5,1	0,01	Clustered

Keterangan:

N : jumlah desa yang melaporkan kasus malaria

I : koefisien Moran's

Z : nilai statistik Moran's

Sumber: Rejeki et al. (2019)

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa sebagian besar kasus malaria tahunan di ekosistem Perbukitan Menoreh dari tahun 2005–2015 berpola mengelompok (*clustered*). Pola *clustered* terjadi pada tahun 2005–2007, 2009–2011, 2013, dan 2015, sedangkan pada tahun 2008, 2012, dan 2014 berpola *random* (tidak terjadi *autocorrelation*). Jumlah desa yang melaporkan kasus malaria dari tahun 2005–2015 berkisar 9 desa sampai 32 desa, dan ada kecenderungan naik dalam 5 tahun terakhir.

c. Pengelompokan Spasial Malaria

Untuk mengetahui pengelompokan spasial malaria menggunakan *software SaTScan*, yaitu dengan cara mendeteksi lokasi *cluster* yang berisiko tinggi. Hasil analisis menunjukkan pengelompokan malaria dari tahun 2005–2015 berdistribusi tidak *random* di ekosistem Menoreh. Dengan metode *Kulldorff's spatial scan statistic* diidentifikasi 19 *cluster spatial signifikan* yang berbeda (11 *most likely clusters* dan 8 *secondary likely clusters*), dengan jumlah per tahun satu atau dua *cluster*. Berikut ini *cluster* malaria yang terdeteksi dengan *purely spatial clustering* tahun 2005–2015.

Tabel 4.2 Cluster Malaria yang Terdeteksi dengan *Purely Spatial Clustering*

Tahun	Tipe	N	Koordinat/ Radius	Observed	Expected	RR	LLR	p-value
2005	A	9	-7.819 S, 110.115 E/ 7,18 km	153	73,6	5,08	62,82	0,000
	B	1	-7.819 S, 110.115 E/ 0 km	23	1,18	21,87	47,76	0,000
2006	A	15	-7.731 S, 110.088 E/ 5,67 km	160	81,47	3,07	45,66	0,000
	B	5	-7.696 S, 110.103 E/ 1,95 km	69	18,71	4,49	44,54	0,000
2007	A	6	-7.691 S, 110.091 E/ 3,60 km	17	2,97	7,35	17,30	0,000
2008	A	6	-7.696 S, 110.103 E/ 2,34 km	51	21,68	2,35	6,95	0,000
2009	A	5	-7.691 S, 110.091 E/ 11,21 km	7	2,07	3,86	3,91	0,030
2010	A	10	-7.696 S, 110.103 E/ 11,19 km	99	27,02	15,13	95,93	0,000
	B	2	-7.789 S, 110.064 E/ 1,93 km	32	1,36	31,47	74,62	0,000
2011	A	13	-7.761 S, 110.035 E/ 6,42 km	704	298,73	6,72	374,09	0,000
	B	5	-7.789 S, 110.064 E/ 2,73 km	385	159,01	3,44	151,77	0,000
2012	A	2	-7.713 S, 110.062 E/ 1,43 km	73	13,88	5,91	65,42	0,000
	B	9	-7.776 S, 110.085 E/ 4,58 km	285	196,94	1,92	29,15	0,000
2013	A	13	-7.780 S, 110.049 E/ 5,25 km	419	237,44	3,83	117,78	0,000
	B	2	-7.780 S, 110.047 E/ 1,62 km	120	47,45	2,53	44,03	0,000

Tahun	Tipe	N	Koordinat/ Radius	Observed	Expected	RR	LLR	p-value
2014	A	13	-7.780 S, 110.049 E/ 5,16 km	414	230,21	3,69	117,32	0,000
	B	1	-7.776 S, 110.085 E/ 0 km	124	47,99	3,01	47,31	0,000
2015	A	2	-7.796 S, 110.079 E/ 1,83 km	247	71,74	3,44	148,75	0,000
	B	10	-7.713 S, 110.062 E/ 5,75 km	373	294,21	1,44	14,60	0,000

Keterangan:

Tipe : A: jenis *most likely cluster*; dan B: *secondary cluster*

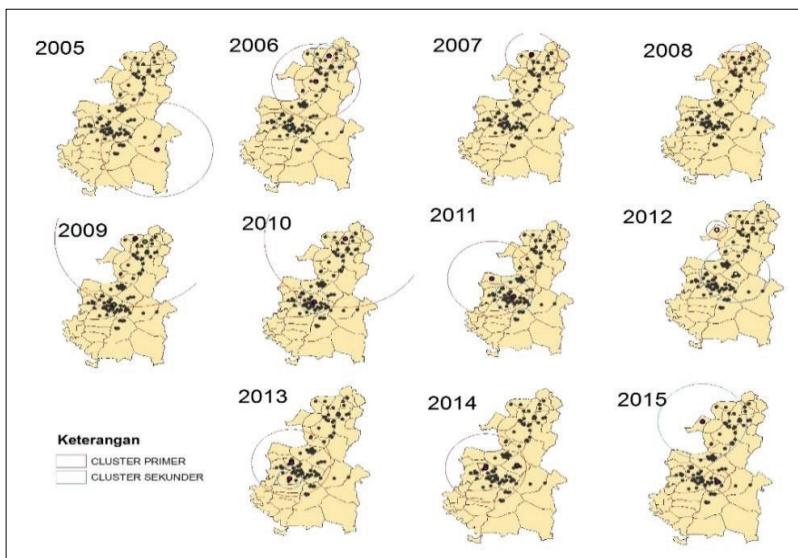
N : jumlah *cluster* desa yang diidentifikasi dengan *Kulldorff's spatial scan*

RR : *relative risk*, LLR: *log likelihood ratio*

Sumber: Rejeki et al. (2019)

Di ekosistem Perbukitan Menoreh, jumlah desa *most likely cluster* (*cluster* primer) berkisar antara 2–15 desa dan *secondary likely clusters* berkisar 1–10 desa antara tahun 2005–2015. Selama 11 tahun, terdapat 2 periode di mana terjadi *most likely cluster* lintas batas provinsi, yaitu tahun 2005 dan 2013 yang melibatkan Jawa Tengah dan DIY.

Cluster primer (*most likely cluster*) dan *cluster* sekunder (*secondary likely clusters*) di ekosistem Menoreh dari tahun 2005–2015 ditunjukkan oleh Gambar 4.3. *Cluster* primer tahun 2005 terjadi di lintas batas kabupaten, tahun 2006–2012 di Kabupaten Purworejo, tahun 2013 di Purworejo dan satu desa di Kokap, serta tahun 2014–2015 terjadi di Purworejo. Kejadian *cluster* baik primer maupun sekunder lebih banyak terjadi di wilayah Kabupaten Purworejo (terutama di Kaligesing) dan sebagian perbatasan Puworejo-Kokap Kulonprogo (Gambar 4.3).



Sumber: Rejeki et al. (2019)

Gambar 4.3 Annual Spatial Malaria yang Terdeteksi dari Tahun 2005–2015 di Ekosistem Menoreh

1) Temporal cluster tahun 2005–2015

Analisis *temporal cluster* untuk mengetahui waktu pengelompokan (*cluster*) terjadi di ekosistem Menoreh setiap tahun. Hasil analisis temporal kasus malaria di ekosistem Menoreh tahun 2005–2015 menggunakan *software SaTScan* dengan analisis *purely spatial* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *temporal cluster* di ekosistem Menoreh terbagi dalam bulan yang berbeda-beda, 5 bulan pada tahun 2005 (Agustus–Desember), 6 bulan pada tahun 2006 (Maret–Agustus), 5 bulan pada tahun 2007 (Februari–Juni), 2 bulan pada tahun 2008 (Juli–Agustus), 4 bulan pada tahun 2009 (Juni–September), 1 bulan pada tahun 2010 (Desember), 4 bulan pada tahun 2011 (September–Desember), 1 bulan pada tahun 2012 (Januari), 3 bulan pada tahun 2013 (September–November), 3 bulan pada tahun 2014 (Oktober–Desember), dan 3 bulan pada tahun 2015 (Juli–September).

Tabel 4.3 Cluster Malaria yang Terdeteksi dengan *Purely Temporal Clustering* di Ekosistem Menoreh Tahun 2005–2015.

Tahun	Waktu Clusters	Observed	Expected	RR	LLR	p-value
2005	1/08/2005–31/12/2005	149	87,19	3,50	37,56	0,001
2006	1/03/2006–31/8/2006	205	151,23	2,12	19,75	0,001
2007	1/02/2007–30/6/2007	47	27,12	3,55	12,23	0,001
2008	1/07/2008–31/8/2008	26	11,18	3,19	9,33	0,001
2009	1/06/2009–30/09/2009	24	14,04	2,66	4,94	0,016
2010	1/12/2010–31/12/2010	38	10,36	4,87	25,49	0,001
2011	1/09/2011–31/12/2011	588	305,51	3,50	176,01	0,001
2012	1/01/2012–31/01/2012	126	46,92	3,18	51,89	0,001
2013	1/09/2013–30/11/2013	256	143,11	2,42	52,27	0,001
2014	1/10/2014–31/12/2014	336	148,46	3,94	134,13	0,001
2015	1/07/2015–30/09/2015	435	240,96	2,48	92,01	0,001

Keterangan:

RR : relative risk

LLR : log likelihood ratio

Sumber: Rejeki et al. (2019)

- 2) Spasiotemporal dengan analisis *space time clustering* tahun 2005–2015 di ekosistem Perbukitan Menoreh

Hasil analisis space time clustering tahun 2005–2015 di ekosistem Perbukitan Menoreh dapat dilihat pada data yang disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 menunjukkan kasus malaria yang terdeteksi dengan *space-time scan statistics* tahun 2005–2015 di ekosistem Perbukitan Menoreh. *The most likely cluster* dan *secondary cluster* terlihat pada

Tabel 4.4 serta Gambar 4.4 dan 4.5. *The most likely cluster* tercakup dalam 8 desa pada interval waktu Januari 2006–2010, meliputi Desa Hardimulyo, Gunungwangi, Sudorogo, Tlogorejo, Ngaran, Tlogobulu, Ngadirejo, dan Somowono. *Secondary cluster* pertama mencakup 5 desa dari bulan Januari 2005–Desember 2009, yaitu Desa Hargorejo, Hargowilis, Kalirejo (Kokap), Hargomulyo, dan Hargotirto. *Secondary cluster* kedua mencakup 2 desa dari bulan Januari–Desember 2012, yaitu Desa Jelok dan Kedunggubah. *Secondary cluster* ketiga mencakup 4 desa dari bulan Januari–Desember 2011, yaitu Desa Somongari, Hulosobo, Semagung, dan Jatirejo. *Secondary cluster* keempat mencakup 6 desa dari bulan Januari–Desember 2013, yaitu Desa Somorejo, Hargorojo, Tlogokotes, Bapangsari, Kalirejo, Sokoagung.

Tabel 4.4 Cluster Malaria yang Teridentifikasi Menggunakan *Space Time Clustering* Tahun 2005–2015 di Ekosistem Perbukitan Menoreh

Type	N	Waktu	Koordinat, radius	Observed	Expected	RR	p-value
A	8	1/1/2006–31/12/2010	-7.691 S 110.091 E 3,19 km	200	52,42	3,82	< 0,001
B1	5	1/1/2005–31/12/2009	-7.847 S 110.104 E 5,57 km	299	119,35	2,51	< 0,001
B2	2	1/1/2012–31/12/2012	-7.713 S 110.062 E 1,43 km	73	14,61	5,00	< 0,001
B3	4	1/1/2011–31/12/2011	-7.763 S 110.065 E 2,63 km	383	223,41	1,71	< 0,001
B4	6	1/1/2013–31/12/2013	-7.826 S 110.038 E 2,85 km	177	80,10	2,21	< 0,001

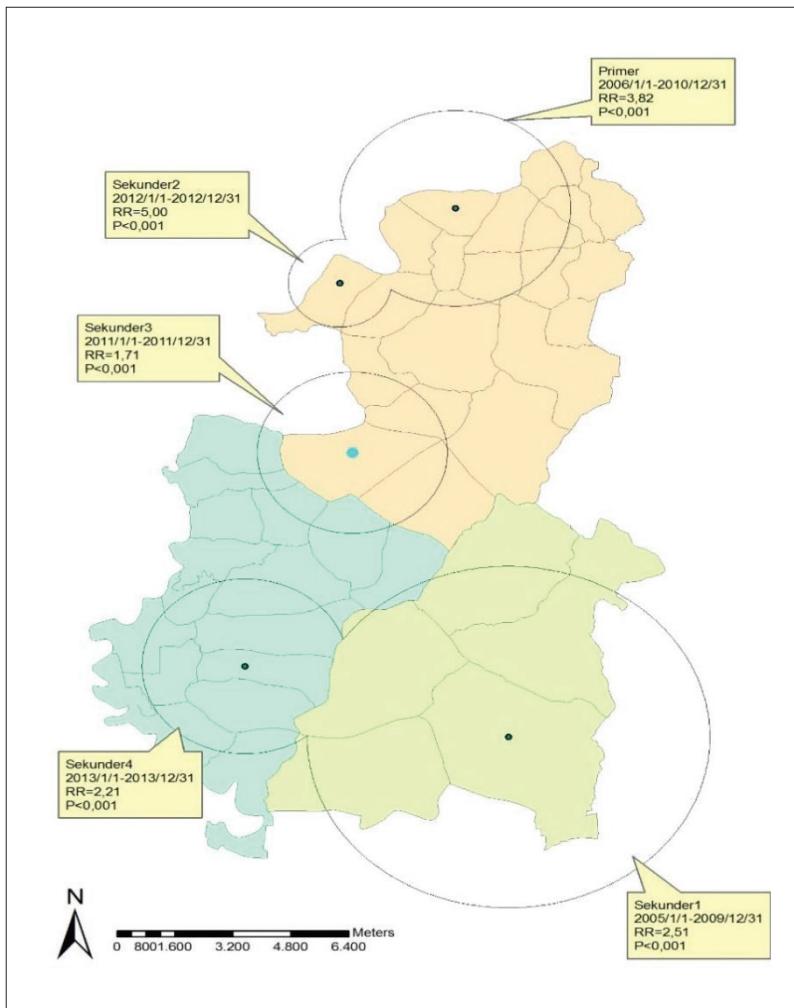
Keterangan:

Tipe : A: jenis *most likely cluster*; dan B: *secondary cluster*

N : jumlah *cluster* desa yang diidentifikasi dengan analisis *space-time*

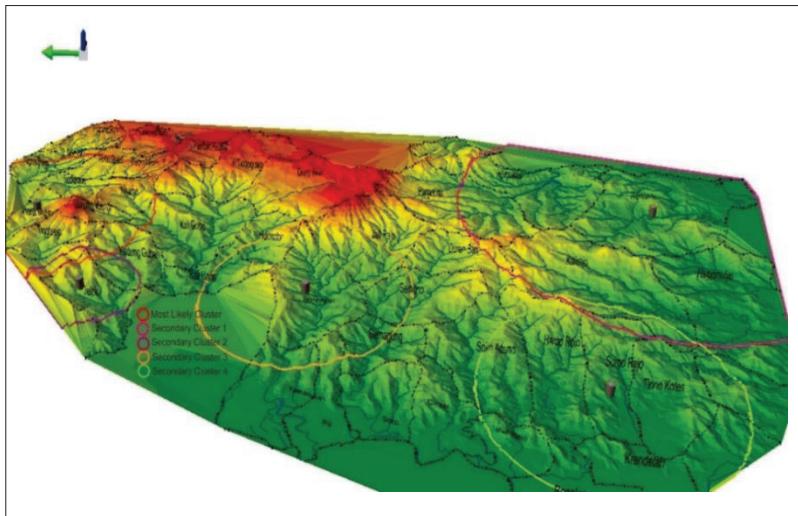
RR : *relative risk*

Sumber: Rejeki et al. (2019)



Sumber: Rejeki et al. (2019)

Gambar 4.4 Lokasi yang terdeteksi *cluster* malaria dengan analisis *space-time* tahun 2005–2015 didominasi Kabupaten Purworejo.



Sumber: Rejeki et al. (2019)

Gambar 4.5 Peta 3D cluster malaria dengan analisis space-time tahun 2005–2015 menunjukkan wilayah ekosistem Menoreh berisiko malaria.

Gambar 4.5 menunjukkan *cluster* primer terjadi di wilayah Puskesmas Kaligesing, *cluster* sekunder berturut-turut Kecamatan Kokap, Kecamatan Kaligesing, dan Kecamatan Bagelen. Hasil ini menunjukkan wilayah Menoreh masih merupakan wilayah berisiko malaria.

2. Pemanfaatan Epidemiologi Spasial pada Penyakit Demam Berdarah Dengue

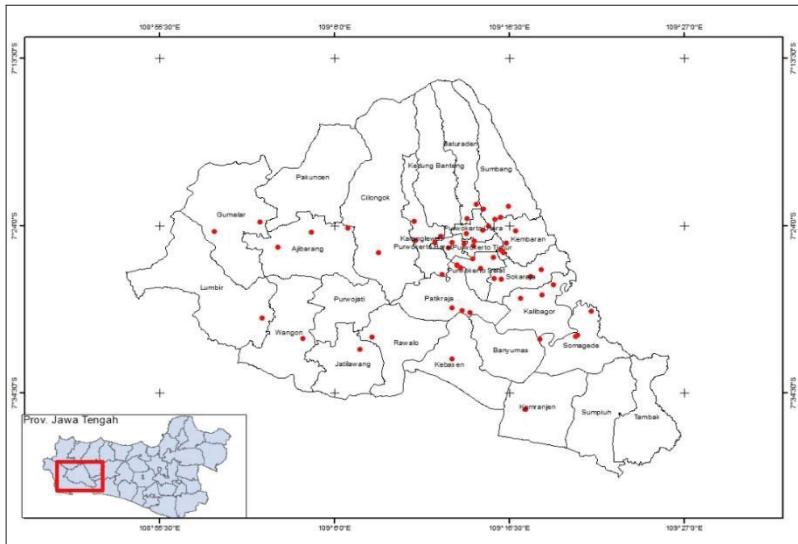
Dalam perumusan kebijakan, pengambilan keputusan, dan atau pelaksanaan kegiatan yang berhubungan dengan demam berdarah dengue (DBD), maka informasi spatiotemporal penyakit DBD diperlukan. Analisis spatiotemporal dalam epidemiologi sangat bermanfaat, terutama untuk mengevaluasi terjadinya perbedaan kejadian penyakit menurut area geografi/wilayah dan mengidentifikasi pengelompokan atau *clustering* penyakit. Manfaat analisis *clustering*, yaitu menampilkan *surveillance geographical* suatu penyakit dan

mengidentifikasi *cluster* penyakit secara spasial atau *space-time*, serta mengetahui apakah *cluster* signifikan secara statistik; mengetahui apakah suatu penyakit terdistribusi secara *random* menurut tempat, menurut waktu, serta menurut tempat dan waktu; mengevaluasi signifikansi statistik dari alarm *cluster* suatu penyakit; menampilkan prospektif *real-time* atau *real-periodic* dari surveilans penyakit untuk deteksi dini wabah (Wardani et al., 2013). Analisis spatiotemporal yang digunakan, meliputi analisis *overlay*, *buffering*, dan *clustering*. Analisis *overlay* adalah kegiatan untuk memperoleh informasi baru dengan menumpuk dua peta atau dua data spasial atau lebih atau dengan istilah lain menumpang-susunkan dua peta atau lebih untuk memperoleh informasi baru. Analisis ini mengintegrasikan dua atau lebih aspek keruangan yang berbeda. Analisis *buffering* adalah analisis spasial yang menghasilkan daerah batasan yang melingkupi objek (wilayah baru). Analisis ini menghasilkan *buffer*/penyangga yang berbentuk lingkaran yang melingkupi suatu objek sebagai pusatnya sehingga bisa mengetahui berapa parameter objek dan luas wilayah. Analisis *clustering* adalah analisis untuk mengidentifikasi kumpulan *cluster* (kelompok) berdasarkan atas kesamaan. Analisis ini mengelompokkan objek berdasarkan hubungan antar objek dengan prinsip untuk memaksimalkan kesamaan antar anggota satu kelas dan meminimumkan kesamaan antar kelas/*cluster*.

Dari hasil analisis spatiotemporal ini bisa digambarkan transmisi penularan penyakit DBD menurut tempat, menurut waktu, serta menurut tempat dan waktu sehingga sangat bermanfaat dalam melakukan pengendalian supaya tepat sasaran dan waktu pelaksanaannya. Berikut ini contoh penerapan analisis spasial pada penyakit DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 (Rejeki et al., 2021).

1) Sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Analisis spasial digunakan untuk melihat bagaimana sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas. Sebaran kasus ini diperoleh dari koordinat rumah penderita DBD dan dioverlaykan dengan peta tematik



Sumber: Rejeki et al. (2021)

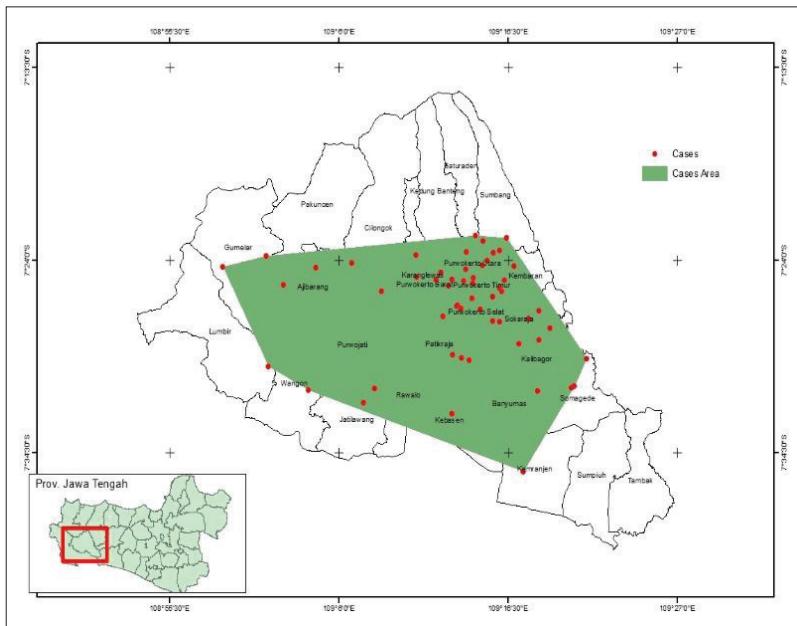
Gambar 4.6 Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Kabupaten Banyumas. Peta penyebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 disajikan pada Gambar 4.6. Terdapat 57 kasus yang wilayah terbanyak didominasi wilayah dekat dengan pusat pemerintahan Kabupaten Banyumas di Purwokerto.

Gambar 4.6 menunjukkan selama tahun 2018 sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas terbanyak berada di 3 kecamatan, yaitu Purwokerto Timur, Purwokerto Barat, dan Somagede.

2) Luas sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Peta yang menunjukkan luas sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 dapat diliat pada Gambar 4.7. Luas sebaran kasus ini didapatkan dengan menghitung luasan wilayah berdasarkan titik-titik terluar dari kasus DBD. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa luas sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018, yaitu seluas $627.798.503,7 \text{ m}^2$.

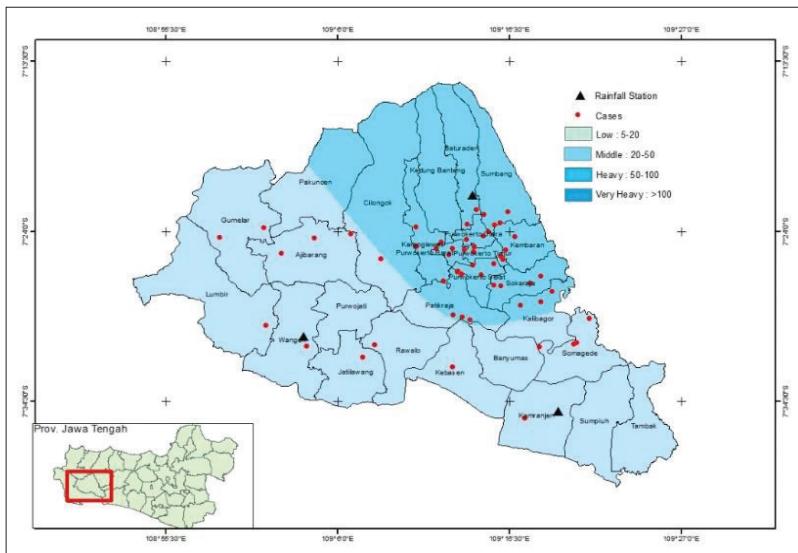


Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.7 Luas Sebaran Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

- 3) Peta *overlay* kasus DBD dengan curah hujan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Peta curah hujan ini dibuat dengan menggunakan metode interpolasi dari data curah hujan dari 3 stasiun hujan yang ada di Kabupaten Banyumas, yaitu Stasiun Wangon, Stasiun Baturraden, dan Stasiun Kemranjen. Metode interpolasi digunakan dengan memanfaatkan data dari beberapa data yang sudah diketahui untuk mengestimasi nilai pada wilayah yang tidak diketahui sehingga sebaran nilai pada seluruh wilayah diketahui. Pada interpolasi curah hujan, dengan menggunakan data pengukuran dari 3 stasiun kemudian digunakan untuk mengestimasi curah hujan di daerah lain di luar 3 wilayah tersebut. Berikut adalah peta *overlay* kasus DBD dengan curah hujan di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018.



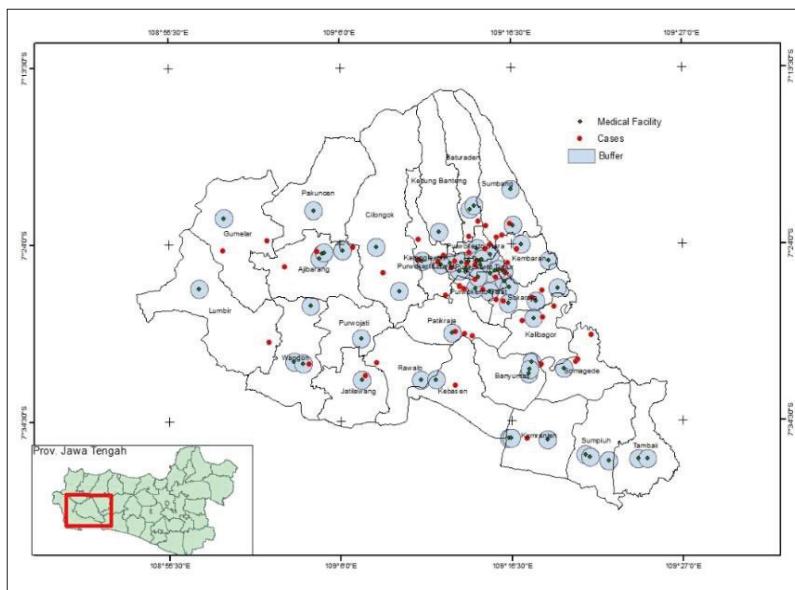
Sumber: Rejeki et al.(2021)

Gambar 4.8 Peta Overlay Kasus DBD dengan Curah Hujan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kasus DBD yang terjadi di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 lebih banyak terjadi pada wilayah dengan curah hujan yang sedang. Pada wilayah yang curah hujan sedikit, kejadian DBD juga cenderung lebih sedikit. Wilayah dengan curah hujan ringan/sedikit, meliputi Kecamatan Kebasen, Banyumas, Kemranjen, Jatilawang, Somagede, Wangon, Rawalo, Ajibarang, Lumbir, dan Gumelar. Wilayah perkotaan di Kabupaten Banyumas, yaitu sekitaran Purwokerto yang meliputi Purwokerto Utara, Selatan, Timur, dan Barat merupakan wilayah dengan curah hujan sedang.

- 4) Peta *buffering* kasus DBD dengan fasilitas kesehatan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

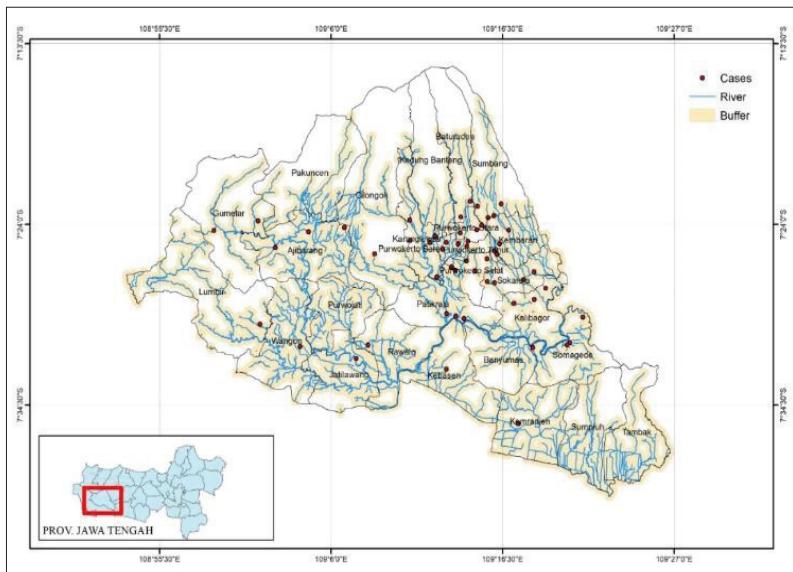
Analisis *buffering* digunakan untuk melihat daerah atau zona keterjangkauan atau perluasan suatu objek dengan ukuran tertentu.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.9 Peta *Buffering* Kasus DBD dengan Fasilitas Kesehatan yang Ada di Kabupaten Banyumas Tahun 2018.

Kasus ini dapat digunakan untuk melihat keterjangkauan pelayanan kesehatan terhadap kasus DBD yang terjadi. Sementara itu, peta *buffering* kasus DBD dengan fasilitas kesehatan yang ada di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.9. *Buffering* di peta ini merupakan lokasi fasilitas kesehatan yang ada di Kabupaten Banyumas, yang meliputi Rumah Sakit, Puskesmas, dan Poliklinik. Gambar 4.9 menunjukkan sebagian besar kasus DBD yang terjadi di Kabupaten Banyumas tahun 2018 berlokasi dekat dengan fasilitas kesehatan, yaitu berjarak dengan radius kurang dari 1 km dari fasilitas kesehatan.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

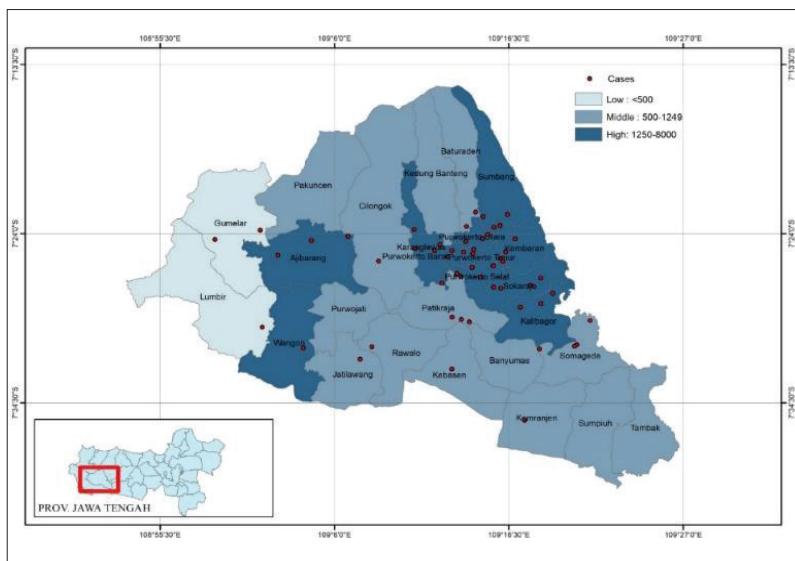
Gambar 4.10 Peta Buffering Kasus DBD dengan Sungai yang Ada di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

- 5) Peta Buffering Kasus DBD terhadap lokasi Sungai di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Peta *buffering* kasus DBD terhadap sungai di wilayah Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.10. Gambar 4.10 menunjukkan bahwa sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 tidak mendekati aliran sungai, ada cukup banyak sungai yang ada di Kabupaten Banyumas, dan kasus DBD yang terjadi tidak di daerah aliran sungai.

- 6) Peta overlay kasus DBD terhadap kepadatan penduduk di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Kepadatan penduduk diperoleh dengan mencari luas kecamatan di bagi dengan jumlah penduduk yang ada di kecamatan tersebut. Makin warna biru menjadi gelap maka menunjukkan kepadatan penduduk yang lebih tinggi. Berikut adalah peta *overlay* kasus DBD dengan kepadatan penduduk di Kabupaten Banyumas tahun 2018.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.11 Peta Overlay Kasus DBD terhadap Kepadatan Penduduk di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

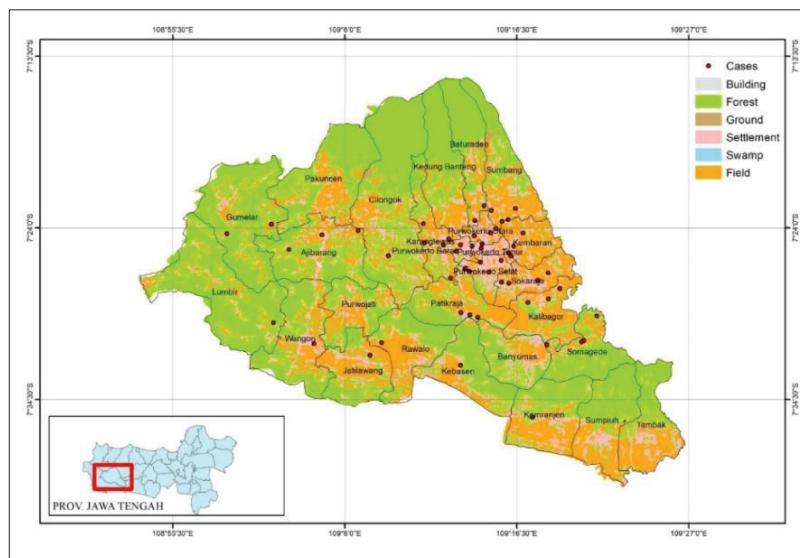
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa kasus DBD yang terjadi di Kabupaten Banyumas terjadi pada wilayah kecamatan yang lebih padat penduduknya. Pada wilayah yang jarang penduduknya, memperlihatkan kasus DBD yang lebih sedikit jumlahnya. Wilayah perkotaan Purwokerto, yang meliputi Purwokerto Utara, Purwokerto Selatan, Purwokerto Timur, dan Purwokerto Barat mempunyai kepadatan penduduk yang lebih tinggi dan kasus DBD juga lebih banyak pada daerah tersebut.

Wilayah dengan angka kepadatan penduduk tertinggi (>1.250 jiwa/km 2), yaitu di Kecamatan Purwokerto Utara, Kecamatan Purwokerto Timur, Kecamatan Purwokerto Barat, Kecamatan Purwokerto Selatan, Kecamatan Kembaran, Kecamatan Ajibarang, Kecamatan Sokaraja, Kecamatan Sumbang, Kecamatan Wangon,

dan Kecamatan Karanglewas. Wilayah dengan angka kepadatan penduduk terendah (<500 jiwa/km²), yaitu Kecamatan Lumbir dan Kecamatan Gumelar. Pada spasial, menunjukkan bahwa kasus DBD tertinggi terjadi di wilayah perkotaan, yaitu Kecamatan Purwokerto Utara, Kecamatan Purwokerto Timur, Kecamatan Purwokerto Selatan, dan Kecamatan Purwokerto Barat, yang memiliki angka kepadatan penduduk dengan kategori tinggi, sedangkan kasus DBD terendah terjadi di Kecamatan Lumbir yang memiliki angka kepadatan penduduk dengan kategori rendah.

- 7) Peta *overlay* kasus DBD terhadap pemanfaatan lahan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Berikut ini adalah peta *Overlay* kasus DBD terhadap pemanfaatan lahan di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 (Gambar 4.12).



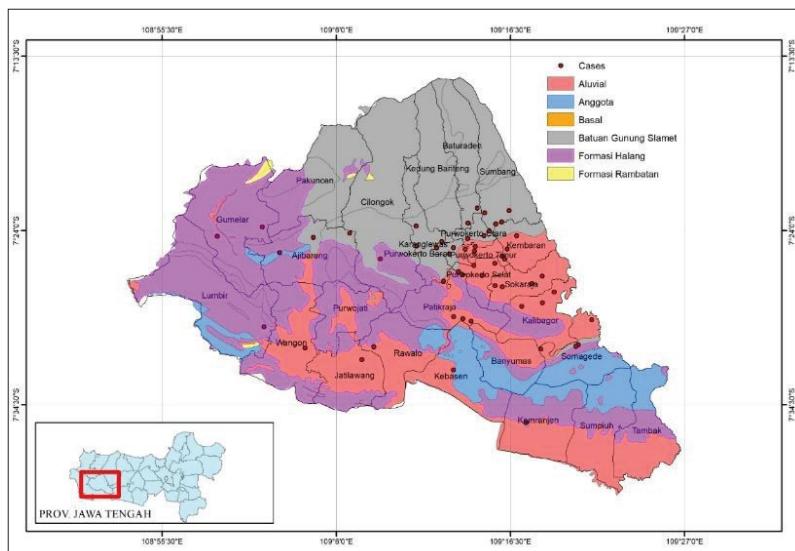
Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.12 Peta *Overlay* Kasus DBD terhadap Pemanfaatan Lahan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Simbol warna pada Gambar 4.12 antara lain warna abu-abu (gedung), hijau (hutan/perbukitan), cokelat (tanah lapangan), merah muda (permukiman), biru (rawa), dan oranye (sawah). Peta *overlay* kasus DBD dengan pemanfaatan lahan ini menunjukkan bahwa kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 lebih banyak berada pada wilayah permukiman penduduk. Pada wilayah hijau, yaitu perbukitan dan hutan, dilaporkan jarang ditemukan kasus DBD.

8) Peta *overlay* kasus DBD terhadap jenis batuan di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Peta *overlay* kasus DBD dengan jenis batuan di Kabupaten Banyumas pada tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 4.13. Gambar 4.13 menunjukkan bahwa kejadian DBD lebih banyak terdapat pada wilayah dengan jenis batuan aluvial dan batuan Gunung Slamet.

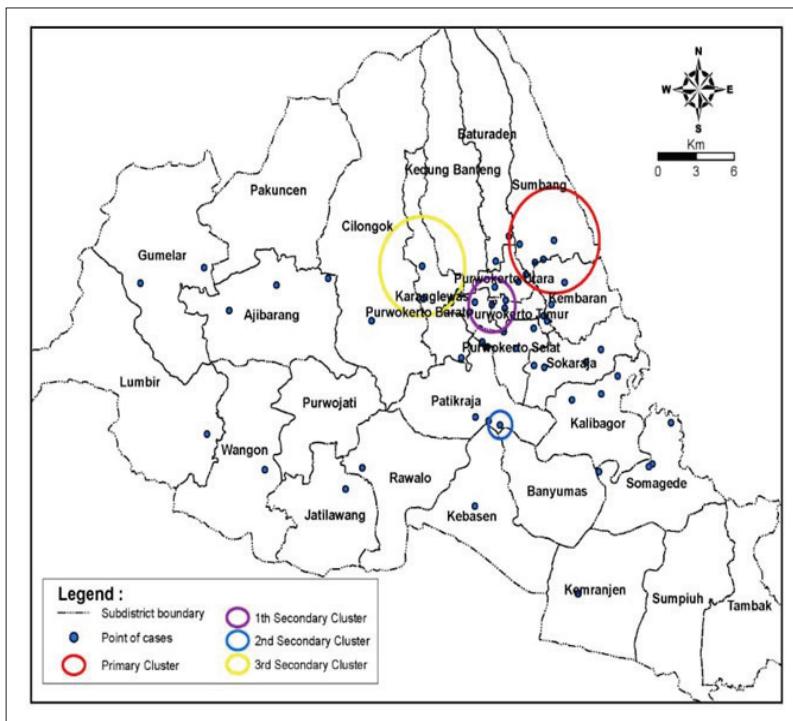


Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.13 Peta *Overlay* Kasus DBD terhadap Jenis Batuan di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

9) Analisis *clustering* kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018

Analisis *clustering* ini dilakukan dengan 2 tahap. Tahap pertama dilakukan dengan *software* Satscanm untuk melihat uji statistik dan wilayah mana yang terjadi *cluster* primer dan sekunder. Selanjutnya, tahap kedua adalah pemetaan hasil Satscan menggunakan ArcGis untuk mengetahui letak pengelompokan yang terjadi. Analisis *clustering* dilakukan untuk mengetahui pengelompokan kasus DBD berdasarkan tempat dan waktu, yang tempatnya berdekatan dan waktunya hampir bersamaan akan membentuk kelompok/*cluster*. Gambar 4.14 adalah hasil analisis *clustering* kasus DBD terkait lokasi dan waktu di Kabupaten Banyumas tahun 2018.



Sumber: Rejeki et al. (2021)

Gambar 4.14 Hasil Analisis *Clustering* Kasus DBD di Kabupaten Banyumas Tahun 2018

Hasil analisis dengan Satscan menunjukkan pengelompokan kasus DBD di Kabupaten Banyumas tahun 2018 menghasilkan *cluster primer* (*most likely cluster*) dan 3 *cluster sekunder* (*secondary cluster*). *Most likely cluster* (*cluster primer*) terjadi pada 13 Maret 2018 sampai 23 April 2018, dengan jumlah 6 kasus DBD dan berpusat pada titik koordinat (-7.380000 S, 109.273611 E) dengan radius pengelompokan sejauh 3,53 km dan secara statistik signifikan ($p=0,001$). Wilayah *cluster primer* ini merupakan perpaduan 4 wilayah administrasi, yaitu Kecamatan Sumbang, Kembaran, Purwokerto Utara, dan Baturraden. Dari hasil Satscan tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebaran kasus DBD di Kabupaten Banyumas berdistribusi tidak *random*. Hal ini menjelaskan jika ada satu penderita DBD dalam satu wilayah tersebut, penduduk yang berdomisili dengan radius sejauh 3,53 km dari tempat kasus DBD tinggal, akan memiliki peluang sangat besar (*high risk*) terkena penularan DBD apabila secara kewilayahan terdapat hubungan yang bermakna antara faktor lingkungan dengan kejadian DBD. *Cluster primer* adalah *cluster/kelompok* yang pertama terdeteksi, dan *cluster sekunder* adalah *cluster* berikutnya setelah *cluster primer*.

Pengelompokan kasus sekunder (*secondary cluster*) pertama di Kecamatan Purwokerto Utara dan Timur yang berpusat pada titik koordinat (-7.418889 S, 109.229444 E) dengan radius pengelompokan 1,82 km sebanyak 5 kasus DBD dan tidak bermakna secara statistik $p=0,200$ yang terjadi pada tanggal 19 Juni 2018 sampai 13 Agustus 2018. Pengelompokan kasus sekunder kedua di Kecamatan Patikraja berpusat pada titik koordinat (-7.491111 S, 109.235278 E) dengan radius pengelompokan 0,93 km sebanyak 2 kasus yang terjadi pada tanggal 14 Agustus 2018 sampai 10 September 2018 dan tidak bermakna secara statistik $p=0,375$.

Pengelompokan kasus sekunder ketiga di Kecamatan Karang-lewas berpusat pada titik koordinat (-7.395556 S, 109.180000 E) dengan radius pengelompokan 3,33 km sebanyak 3 kasus yang terjadi pada tanggal 25 September 2018 sampai 5 November 2018 dan tidak bermakna secara statistik $p=0,540$.

F. Penutup

Pemanfaatan sistem informasi geografis (SIG) terutama dalam analisis spasial membantu dalam merumuskan kebijakan penanggulangan penyakit tular vektor terutama malaria dan demam berdarah dengue. Analisis spasial dalam pengendalian malaria dan demam berdarah dengue ini digunakan untuk menentukan target intervensi berdasarkan *trend* lokal transmisi. Sementara itu, infomasi spasial ini digunakan untuk merencanakan pengendalian penyakit malaria dan DBD berdasarkan informasi yang didapat, yaitu informasi terkait tempat pengelompokan (cluster), waktu, dan bisa kita kaitkan dengan atribut, seperti kepadatan penduduk, pemanfaatan lahan, jenis batuan, pelayanan kesehatan, keberadaan sungai, dan aspek lingkungan lainnya.

Referensi

- Alemu, K., Worku, A., Berhane, Y., & Kumie, A. (2014). Spatiotemporal clusters of malaria cases at village level, Northwest Ethiopia. *Malaria Journal*, 13(1), 223. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-223>
- Alemu, K., Worku, A., & Berhane, Y. (2013). Malaria Infection Has Spatial, Temporal, and Spatiotemporal Heterogeneity in Unstable Malaria Transmission Areas in Northwest Ethiopia. *PloS One*, 8(11), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079966>
- Anselin, L. (2003). GeoDaTM 0.9 user's guide. *Design*, 126.
- Boewono, D. T., Widiarti, Ristiyanto, & Widystuti, U. (2012). Studi bio-epidemiologi dan analisis spasial malaria daerah lintas batas Indonesia-Malaysia (Pulau Sebatik) Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Timur. *Buletin Penelitian Kesehatan*, 40(4), 171–180. <https://media.neliti.com/media/publications-test/20660-studi-bio-epidemiologi-dan-analisis-spas-65dfba09.pdf>
- Bousema, T., Griffin, J. T., Sauerwein, R. W., Smith, D. L., Churcher, T. S., Takken, W., Ghani, A., Drakeley, C., & Gosling, R. (2012). Hitting hotspots: Spatial targeting of malaria for control and elimination. *PLoS Medicine*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001165>
- Carter, R., Mendis, K. N. N., & Roberts, D. (2000). Spatial targeting of interventions against malaria. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(12), 1401–1411. <https://doi.org/S0042-96862000001200007>

- Centers for Disease Control and Prevention. (2019). *What is GIS?*. <https://www.cdc.gov/gis/what-is-gis.htm>.
- Clements, A. C. A., Reid, H. L., Kelly, G. C., & Hay, S. I. (2013). Further shrinking the malaria map: How can geospatial science help to achieve malaria elimination? *The Lancet Infectious Diseases*, 13(8), 709–718. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(13\)70140-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(13)70140-3)
- Coleman, M., Coleman, M., Mabuza, A. M., Kok, G., Coetzee, M., & Durrheim, D. N. (2009). Using the SaTScan method to detect local malaria clusters for guiding malaria control programmes. *Malaria Journal*, 8(1), 68. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-8-68>
- Coulibaly, D., Rebaudet, S., Travassos, M., Tolo, Y., Laurens, M., Kone, A. K., Traore, K., Guindo, A., Diarra, I., Niangaly, A., Daou, M., Dembele, A., Sissoko, M., Kouriba, B., Dessay, N., Gaudart, J., Piarroux, R., Thera, M. A., Plowe, C. V., & Doumbo, O. K. (2013). Spatio-temporal analysis of malaria within a transmission season in Bandiagara, Mali. *Malaria Journal*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-82>
- Dhimal, M., O'Hara, R. B., Karki, R., Thakur, G. D., Kuch, U., & Ahrens, B. (2014). Spatio-temporal distribution of malaria and its association with climatic factors and vector-control interventions in two high-risk districts of Nepal. *Malaria journal*, 13, 457, 1–14. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-13-457>
- Elliott, P., & Wartenberg, D. (2004). Spatial epidemiology: Current approaches and future challenges. *Environmental Health Perspectives*, 112(9), 998–1006. <https://doi.org/10.1289/ehp.6735>
- Ernst, K. C., Adoka, S. O., Kowuor, D. O., Wilson, M. L., & John, C. C. (2006). Malaria hotspot areas in a highland Kenya site are consistent in epidemic and non-epidemic years and are associated with ecological factors. *Malaria journal*, 5(1), 78. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-5-78>
- Haque, U., Sunahara, T., Hashizume, M., Shields, T., Yamamoto, T., Haque, R., & Glass, G. E. (2011). Malaria prevalence, risk factors and spatial distribution in a Hilly forest area of Bangladesh. *PLoS ONE*, 6(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018908>
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 293/Menkes/SK/IV/2009 tanggal 28 April 2009 tentang Eliminasi malaria di Indonesia. (2009). <https://repository.kemkes.go.id/book/1136>
- Kulldorff, M. (2015). *SaTScan User Guide for Version 9.4*. <http://www.satscan.org>

- Lai, P. C., So, F. M., & Chan, K. W. (2009). *Spatial epidemiological approach in disease mapping and analysis*. CRC Press LLC.
- Pfeiffer, D. U., Robinson, T. P., Stevenson, M., Stevens, K. B., Rogers, D. J., & Clements, A. C. A. (2008). *Spatial Analysis in Epidemiology*. Oxford University Press.
- Rejeki, D. S. S., Fuad, A., Widartono, B. S., Murhandarwati, E. E. H., & Kusnanto, H. (2019). Spatiotemporal patterns of malaria at cross boundaries area in Menoreh Hills, Java, Indonesia. *Malaria Journal*, 8, 80, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2717-y>
- Rejeki, D. S. S., Nurhayati, N., & Aji, B. (2021). A spatiotemporal analysis of dengue hemorrhagic fever in Banyumas, Indonesia. *International Journal of Public Health Science*, 10(2), 231–240. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v10i2.20713>
- Sulistyawati. (2012). *Spasial clustering pada kejadian luar biasa malaria di Kabupaten Purworejo*. Universitas Gadjah Mada.
- Tonnang, H. E. Z., Kangalawe, R. Y. M., & Yanda, P. Z. (2010). Predicting and mapping malaria under climate change scenarios: the potential redistribution of malaria vectors in Africa. *Malaria journal*, 9, 111. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-9-111>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2011 Tentang Informasi Geospasial. (2011). https://www.dpr.go.id/dokjdih/document/uu/UU_2011_4.pdf
- Waller, L. A., & Gotway, C. A. (2004). *Applied spatial statistics for public health data*. John Wiley & Sons, Inc.
- Wardani, D. W. S. R., Lazuardi, L., Mahendradhata, Y., Kusnanto, H. (2013). Pentingnya analisis cluster berbasis spasial dalam penanggulangan tuberkulosis di Indonesia. *Kesmas (Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional)*, 8(4), 147–151. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v0i0.391>
- World Health Organization. (2006). *Public health mapping and GIS for global health security; A WHO strategic and operational framework*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69715/WHO_CDS_GIS_2006.1_eng.pdf.
- World Health Organization. (2023). *GIS centre for health*. <https://www.who.int/data/GIS>.
- Xia, J., Cai, S., Zhang, H., Lin, W., Fan, Y., Qiu, J., Sun, L., Chang, B., Zhang, Z., & Nie, S. (2015). Spatial, temporal, and spatiotemporal analysis of malaria in Hubei Province, China from 2004–2011. *Malaria Journal*, 14(1), 145. <https://doi.org/10.1186/s12936-015-0650-2>

Zhang, W., Wang, L., Fang, L., Ma, J., Xu, Y., Jiang, J., Hui, F., Wang, J., Liang, S., Yang, H., & Cao, W. (2008). Spatial analysis of malaria in Anhui province, China. *Malaria Journal*, 7(1), 206. <http://doi.org/10.1186/1475-2875-7-206>