



DINAMIKA EPIDEMIOLOGI: MENGUNGKAP INTERAKSI HOST, AGEN, DAN LINGKUNGAN DALAM MENGHADAPI ANCAMAN PENYAKIT GLOBAL

Dewi Noviari, Santi Agustina

Universitas Respati Indonesia, Jakarta, Indonesia

Artikel info	ABSTRAK
<p>Corresponding Author:</p> <p>Dewi Noviari Dewi.Noviari@gmail.com Universitas Respati Indonesia</p>	<p>Penyakit, baik menular maupun tidak menular, merupakan hasil dari interaksi kompleks antara host (inang), agen penyakit, dan lingkungan. Model epidemiologi triadik telah menjadi kerangka dasar dalam memahami penyebaran penyakit, memungkinkan identifikasi faktor risiko serta pengembangan strategi pencegahan dan pengendalian yang lebih efektif. Artikel ini membahas bagaimana interaksi antara host, agen, dan lingkungan berkontribusi terhadap epidemiologi penyakit serta relevansinya dalam penyakit menular dan tidak menular. Dalam penyakit infeksi, agen seperti virus, bakteri, dan parasit bergantung pada kondisi lingkungan dan imunitas host untuk berkembang. Faktor lingkungan seperti sanitasi, iklim, serta kepadatan populasi memainkan peran krusial dalam menentukan laju transmisi penyakit. Sementara itu, dalam penyakit tidak menular, agen yang berperan bukan mikroorganisme, melainkan faktor risiko seperti pola makan tidak sehat, stres, dan paparan zat berbahaya. Faktor lingkungan seperti urbanisasi, polusi udara, dan kondisi sosial-ekonomi juga turut mempengaruhi kejadian penyakit kronis. Pemahaman terhadap model host-agent-environment sangat penting dalam perumusan kebijakan kesehatan masyarakat. Pendekatan berbasis lingkungan, regulasi kesehatan, serta intervensi medis yang berbasis bukti ilmiah menjadi kunci dalam pengendalian penyakit di masa depan. Kajian ini menegaskan bahwa strategi kesehatan yang lebih holistik dan multidisiplin diperlukan untuk mengatasi tantangan kesehatan global yang semakin dinamis.</p> <p>Keywords: <i>Epidemiologi, host, agen penyakit, lingkungan, penyakit menular, penyakit tidak menular, kebijakan kesehatan.</i></p>
<p>This article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)</p>	

PENDAHULUAN

Penyakit tidak muncul secara acak dalam suatu populasi, melainkan merupakan hasil dari interaksi kompleks antara berbagai faktor. Model epidemiologi klasik menekankan bahwa hubungan antara host (inang), agent (agen penyebab), dan environment (lingkungan) merupakan dasar dalam memahami mekanisme penyakit dan strategi

pencegahannya (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2012). Kerangka ini memberikan landasan kuat dalam ilmu epidemiologi dan kesehatan masyarakat karena memungkinkan pemetaan penyebab penyakit, identifikasi faktor risiko, serta perancangan intervensi yang efektif.

Secara historis, konsep epidemiologi triad dikembangkan sebagai model dasar dalam memahami penyakit infeksi. Model ini menyatakan bahwa penyakit muncul ketika terdapat keseimbangan yang mendukung antara agen penyebab penyakit, inang yang rentan, dan lingkungan yang memungkinkan transmisi (Aryal, 2024). Dalam konteks penyakit infeksi, agen dapat berupa virus, bakteri, atau parasit, sedangkan faktor lingkungan mencakup kondisi fisik, biologis, dan sosial yang memfasilitasi penyebaran penyakit (Smith, 1986). Model ini telah terbukti efektif dalam menjelaskan epidemi penyakit menular seperti tuberkulosis dan HIV/AIDS, di mana seseorang tidak akan terinfeksi hanya karena adanya agen patogen, tetapi juga dipengaruhi oleh status imunitasnya serta kondisi lingkungannya.

Meskipun model ini banyak diterapkan dalam penyakit infeksi, perkembangannya juga relevan dalam memahami penyakit tidak menular. Misalnya, dalam kasus penyakit kardiovaskular, agen tidak lagi berupa mikroorganisme, tetapi bisa berupa faktor risiko seperti pola makan yang buruk, kebiasaan merokok, atau stres kronis (Noone, 2009). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nielsen et al. (2008), ditemukan bahwa stres berkepanjangan meningkatkan mortalitas akibat penyakit jantung dan pernapasan. Temuan ini memperkuat pemahaman bahwa lingkungan psikososial dapat memainkan peran besar dalam menentukan status kesehatan seseorang.

Lebih lanjut, pemahaman tentang model ini juga penting dalam menangani epidemi penyakit zoonosis, yang melibatkan host non-manusia seperti hewan liar atau domestik. Misalnya, epidemi COVID-19 yang berasal dari interaksi manusia dengan hewan liar menunjukkan bahwa faktor lingkungan, seperti perdagangan satwa liar dan perusakan habitat, berperan dalam munculnya penyakit baru (Balasubramanian, 2022). Oleh karena itu, pendekatan berbasis host-agent-environment tidak hanya berguna dalam penyakit konvensional tetapi juga dalam ancaman kesehatan baru.

Host atau inang adalah individu yang dapat terinfeksi oleh suatu agen penyakit. Kerentanan individu terhadap penyakit ditentukan oleh faktor genetik, status imunitas, gaya hidup, serta kondisi kesehatan yang mendasarinya (CDC, 2012). Faktor seperti usia, jenis kelamin, serta status gizi juga berpengaruh dalam menentukan bagaimana seseorang bereaksi terhadap agen patogen (Aryal, 2024). Sebagai contoh, seseorang yang terpapar *Mycobacterium tuberculosis* tidak serta-merta akan mengembangkan tuberkulosis, kecuali jika mereka memiliki faktor risiko seperti malnutrisi atau immunosupresi (Noone, 2009).

Dinamika agen penyakit juga menjadi fokus utama dalam epidemiologi. Agen tidak selalu berupa patogen infeksius, tetapi juga dapat berupa faktor kimia atau fisik yang menyebabkan penyakit. Sebagai contoh, penyakit akibat paparan bahan kimia di tempat kerja seperti asbestosis atau silikosis menunjukkan bahwa agen penyakit dapat berasal dari faktor non-infeksius yang mempengaruhi kesehatan manusia (Smith, 1986). Dalam konteks ini, pemahaman terhadap sifat agen menjadi penting dalam menentukan strategi mitigasi yang efektif.

Selain itu, agen penyakit dapat dikategorikan lebih lanjut berdasarkan sifat biologisnya. Chandana Balasubramanian (2022) menjelaskan bahwa agen penyakit mencakup enam kategori utama, yaitu bakteri, virus, fungi, protozoa, helminths (cacing parasit), dan prion. Setiap kategori memiliki mekanisme infeksi yang berbeda dan membutuhkan kondisi lingkungan yang spesifik untuk berkembang. Misalnya, virus memerlukan host untuk bereplikasi, sementara bakteri dapat berkembang biak secara independen di lingkungan yang sesuai. Pemahaman terhadap sifat spesifik setiap agen penyakit sangat penting untuk pengembangan strategi pencegahan dan pengobatan yang efektif.

Lingkungan memainkan peran krusial dalam menentukan apakah suatu agen akan berhasil menginfeksi host. Faktor lingkungan mencakup aspek fisik seperti iklim dan kebersihan sanitasi, serta faktor sosial seperti kepadatan populasi dan akses terhadap layanan kesehatan (Noone, 2009). Dalam penelitian mengenai penyebaran penyakit infeksi di lingkungan kerja, ditemukan bahwa kondisi tempat kerja yang buruk, ventilasi yang minim, serta kurangnya kebijakan kesehatan yang mendukung dapat meningkatkan risiko infeksi di antara pekerja (Smith, 1986).

Lingkungan juga dapat mempengaruhi perkembangan penyakit tidak menular. Sebagai contoh, lingkungan sosial yang penuh tekanan dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan mental, yang pada gilirannya berkontribusi terhadap penyakit seperti hipertensi dan diabetes (Nielsen et al., 2008). Faktor ekonomi dan sosial juga berperan dalam menentukan akses seseorang terhadap layanan kesehatan preventif dan pengobatan yang dibutuhkan untuk mencegah perkembangan penyakit lebih lanjut.

Penelitian terbaru oleh Albert Lee (2003) menunjukkan bahwa interaksi antara host dan lingkungan sangat menentukan risiko epidemi. Studi ini menyoroti bagaimana faktor lingkungan seperti kebersihan, pola interaksi sosial, dan kondisi kesehatan masyarakat mempengaruhi laju penyebaran penyakit menular seperti SARS. Dalam konteks ini, strategi mitigasi seperti peningkatan kebersihan lingkungan dan isolasi kasus yang terdeteksi dapat secara signifikan menekan laju infeksi.

Lebih jauh, penelitian oleh NIH (2025) menunjukkan bahwa faktor lingkungan dapat memicu perubahan dalam evolusi patogen. Misalnya, adaptasi genetik pada virus influenza dan coronavirus dipengaruhi oleh perubahan iklim serta interaksi yang semakin intensif antara manusia dan hewan liar. Oleh karena itu, pemahaman tentang lingkungan sebagai faktor penentu epidemi menjadi semakin relevan dalam kajian kesehatan global.

Meskipun model host-agent-environment telah lama digunakan dalam epidemiologi, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satu kritik utama terhadap model ini adalah keterbatasannya dalam menjelaskan penyakit dengan penyebab multifaktorial yang kompleks (McDowell, 2008). Penyakit seperti kanker atau gangguan mental sering kali tidak memiliki satu agen penyebab yang jelas, melainkan merupakan hasil dari interaksi berbagai faktor genetik dan lingkungan.

Selain itu, pendekatan ini sering kali gagal dalam memprediksi kapan dan mengapa suatu wabah penyakit akan terjadi. Dalam kasus penyakit tidak menular seperti obesitas,

model ini memiliki keterbatasan karena faktor agen cenderung tidak spesifik dan sulit diukur (Noone, 2009). Oleh karena itu, para peneliti dan praktisi kesehatan masyarakat perlu mengembangkan pendekatan yang lebih holistik dengan menggabungkan analisis genetik, sosial, dan lingkungan untuk memahami pola penyakit secara lebih komprehensif.

Pemahaman yang lebih dalam mengenai interaksi antara host, agent, dan environment memiliki implikasi signifikan dalam perumusan kebijakan kesehatan masyarakat. Salah satu contoh nyata adalah strategi pencegahan penyakit infeksi seperti vaksinasi. Dengan memahami bahwa imunitas host memainkan peran penting dalam mencegah infeksi, program vaksinasi dapat ditargetkan kepada populasi yang paling rentan (CDC, 2012).

Selain itu, dalam konteks penyakit akibat lingkungan kerja, pendekatan ini membantu dalam merancang kebijakan yang dapat mengurangi risiko paparan terhadap agen berbahaya. Misalnya, regulasi terhadap paparan bahan kimia di industri telah membantu menurunkan insiden penyakit akibat kerja (Smith, 1986). Penerapan kebijakan yang berbasis bukti ini menunjukkan bahwa pemahaman mengenai host, agent, dan environment tidak hanya penting dalam ilmu epidemiologi tetapi juga dalam kebijakan kesehatan masyarakat.

Dengan memahami interaksi antara ketiga faktor ini, strategi pencegahan dan pengendalian penyakit dapat dirancang secara lebih efektif. Pendekatan holistik yang mengintegrasikan faktor genetik, sosial, dan lingkungan dapat membantu dalam memahami pola penyakit yang lebih kompleks. Oleh karena itu, penelitian dan kebijakan kesehatan masyarakat perlu terus dikembangkan untuk menyesuaikan dengan tantangan kesehatan global yang semakin dinamis.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi literatur untuk menganalisis interaksi antara host, agen penyakit, dan lingkungan dalam konteks epidemiologi. Data sekunder diperoleh dari jurnal ilmiah, buku referensi, serta laporan dari organisasi kesehatan internasional yang membahas aspek transmisi penyakit menular dan determinan penyakit tidak menular. Teknik analisis konten digunakan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara ketiga komponen utama dalam epidemiologi penyakit, sedangkan pendekatan komparatif diterapkan untuk mengevaluasi perbedaan peran faktor lingkungan dalam berbagai jenis penyakit. Selain itu, analisis tematik dilakukan guna merangkum strategi pencegahan dan pengendalian yang berbasis pada model host-agent-environment. Hasil kajian disusun secara sistematis dan interpretatif untuk menghasilkan pemahaman yang komprehensif mengenai dinamika interaksi epidemiologi serta implikasinya terhadap kebijakan kesehatan masyarakat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil studi oleh John dan Kompithra (2023), konsep triad epidemiologi yang terdiri dari agen, host, dan lingkungan telah lama menjadi pendekatan fundamental dalam memahami dinamika penyakit menular. Namun, dalam perkembangannya, konsep ini juga dapat diaplikasikan dalam penyakit tidak menular melalui pendekatan ekologi

epidemiologi yang lebih luas. Studi mereka menyoroti bahwa lingkungan memiliki peran sentral dalam menentukan interaksi antara agen penyakit dan host, baik dalam penyakit infeksi maupun penyakit tidak menular. Faktor lingkungan tidak hanya mencakup kondisi fisik, tetapi juga aspek sosial, ekonomi, dan perilaku individu yang berkontribusi terhadap kejadian penyakit (John & Kompithra, 2023).

Peran Lingkungan dalam Epidemiologi Penyakit Tidak Menular

Lingkungan sebagai salah satu elemen dalam triad epidemiologi tidak terbatas pada aspek fisik seperti polusi udara atau pencemaran air, tetapi juga mencakup kondisi sosial dan ekonomi yang mempengaruhi risiko penyakit tidak menular. Studi oleh Jacob dan Kompithra (2023) menunjukkan bahwa dalam penyakit infeksi, lingkungan menentukan seberapa efektif suatu patogen dapat menginfeksi host. Namun, dalam penyakit tidak menular seperti penyakit kardiovaskular dan diabetes, lingkungan berperan dalam menentukan gaya hidup individu, termasuk pola makan, tingkat aktivitas fisik, serta paparan terhadap stres dan faktor psikososial lainnya. Misalnya, dalam masyarakat urban yang mengalami peningkatan paparan polutan udara dan gaya hidup sedentari, prevalensi penyakit jantung lebih tinggi dibandingkan masyarakat yang tinggal di daerah dengan akses lebih baik terhadap lingkungan sehat (Jacob & Kompithra, 2023).

Dukungan terhadap konsep ini juga diperkuat oleh penelitian lain yang menyoroti bagaimana lingkungan sosial dapat mempengaruhi risiko penyakit tidak menular. Studi yang dilakukan oleh NCBI (2023) mengemukakan bahwa kondisi ekonomi yang buruk, tekanan sosial, dan ketidakstabilan politik dapat meningkatkan risiko gangguan mental serta penyakit metabolik seperti diabetes tipe 2. Hal ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan tidak hanya berfungsi sebagai medium bagi agen penyakit dalam infeksi, tetapi juga sebagai determinan utama dalam penyakit degeneratif dan gangguan psikososial.

Namun, beberapa penelitian juga mengkritisi pendekatan ini. Sebagai contoh, penelitian oleh Susser dan Susser (1996) menyatakan bahwa konsep epidemiologi triadik tradisional kurang memperhitungkan kompleksitas ekologi sosial dalam dinamika penyakit tidak menular. Mereka berpendapat bahwa pendekatan epidemiologi modern harus mempertimbangkan interaksi multi-level antara faktor biologis, lingkungan, dan perilaku individu. Dengan kata lain, tidak cukup hanya memahami lingkungan sebagai medium penyakit, tetapi juga sebagai faktor dinamis yang secara aktif membentuk pola kesehatan populasi (Susser & Susser, 1996).

Triad Epidemiologi dalam Penyakit Kanker

Dalam penyakit kanker, model triadik epidemiologi juga dapat digunakan untuk memahami bagaimana interaksi antara agen, host, dan lingkungan berkontribusi terhadap perkembangan penyakit. Studi oleh The Indian Journal of Medical Research (2023) menyoroti bahwa paparan lingkungan seperti polutan industri, bahan kimia karsinogenik, serta radiasi memiliki korelasi yang kuat dengan peningkatan kasus kanker. Sebagai contoh, paparan terhadap asbes telah terbukti meningkatkan risiko mesothelioma, sementara

paparan terhadap radiasi ultraviolet dapat meningkatkan kejadian kanker kulit (Indian Journal of Medical Research, 2023).

Selain faktor lingkungan, faktor host seperti predisposisi genetik dan imunitas juga berperan dalam menentukan apakah individu akan mengembangkan kanker setelah terpapar agen penyebab. Penelitian yang dipublikasikan dalam NCBI (2023) mengungkapkan bahwa mutasi genetik pada gen tertentu, seperti BRCA1 dan BRCA2, dapat meningkatkan risiko kanker payudara dan ovarium. Namun, keberadaan mutasi ini sendiri tidak cukup untuk menyebabkan kanker tanpa adanya pemicu lingkungan, seperti pola makan yang buruk, merokok, atau paparan zat kimia berbahaya (NCBI, 2023).

Namun, perspektif lain yang dikemukakan oleh Moreau dan Chauvin (2010) menyoroti bahwa pendekatan triadik dalam kanker masih memiliki keterbatasan dalam menjelaskan interaksi kompleks antara sistem imun dan agen penyebab kanker. Mereka menekankan bahwa beberapa kanker bersifat imunogenik, yang berarti sistem imun berperan dalam mencegah atau mempercepat pertumbuhan sel kanker tergantung pada respons imun individu. Oleh karena itu, pendekatan baru dalam epidemiologi kanker harus mempertimbangkan peran imunologi sebagai faktor keempat yang dapat melengkapi model triadik tradisional (Moreau & Chauvin, 2010).

Faktor Sosial dan Gaya Hidup sebagai Risiko Penyakit Tidak Menular

Studi oleh Bradley dan John (1998) menekankan bahwa faktor sosial seperti status ekonomi, akses terhadap layanan kesehatan, serta tingkat pendidikan memiliki dampak signifikan terhadap insidensi penyakit tidak menular. Mereka menunjukkan bahwa individu dengan status ekonomi rendah cenderung memiliki akses terbatas terhadap makanan sehat, perawatan medis berkualitas, serta lingkungan yang mendukung gaya hidup sehat. Hal ini meningkatkan risiko mereka terhadap penyakit kronis seperti hipertensi, diabetes, dan obesitas (Bradley & John, 1998).

Pentingnya faktor sosial dalam kesehatan masyarakat juga didukung oleh penelitian dari Ghosh dan Nagar (2014) yang menyatakan bahwa gaya hidup modern dengan pola makan tinggi kalori, rendah serat, serta minimnya aktivitas fisik telah menjadi faktor utama dalam epidemi obesitas global. Mereka juga mencatat bahwa perubahan pola kerja yang semakin tidak aktif dan ketergantungan pada teknologi digital telah mengurangi tingkat aktivitas fisik harian, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan kasus penyakit metabolik dan kardiovaskular (Ghosh & Nagar, 2014).

Namun, perspektif berbeda diajukan oleh Scholthof (2007), yang berpendapat bahwa pendekatan berbasis gaya hidup dalam memahami epidemiologi penyakit tidak menular dapat mengabaikan determinan struktural yang lebih luas, seperti kebijakan kesehatan publik dan sistem pangan global. Ia berargumen bahwa pendekatan berbasis individu sering kali menyalahkan perilaku personal atas penyakit kronis, padahal faktor ekonomi dan kebijakan juga memiliki peran besar dalam membentuk pola konsumsi dan aktivitas fisik masyarakat (Scholthof, 2007).

Relevansi Triad Epidemiologi dalam Gangguan Mental

Dalam studi yang dilakukan oleh Hu et al. (2010), pendekatan triad epidemiologi juga dapat diterapkan dalam gangguan mental, terutama dalam memahami bagaimana faktor lingkungan dan sosial berinteraksi dengan kerentanan biologis seseorang terhadap penyakit kejiwaan. Mereka menemukan bahwa individu yang tumbuh dalam lingkungan dengan tingkat stres tinggi, paparan trauma, serta kurangnya dukungan sosial lebih rentan mengalami gangguan mental seperti depresi dan kecemasan dibandingkan individu yang dibesarkan dalam lingkungan yang lebih stabil (Hu et al., 2010).

Lebih lanjut, penelitian yang dipublikasikan dalam *American Journal of Public Health* (1996) menunjukkan bahwa dalam banyak kasus gangguan mental, faktor lingkungan tidak hanya sebagai pemicu, tetapi juga sebagai penghalang dalam upaya pemulihan. Misalnya, individu dengan depresi yang tinggal di lingkungan dengan stigma tinggi terhadap penyakit mental cenderung mengalami hambatan dalam mengakses perawatan medis, yang pada akhirnya memperburuk kondisi mereka (*American Journal of Public Health*, 1996).

Namun, menurut Rostad et al. (2021), terdapat tantangan dalam menerapkan model triad epidemiologi pada penyakit mental karena agen penyebabnya sering kali tidak konkret seperti dalam penyakit infeksi. Dalam banyak kasus, gangguan mental berkembang melalui interaksi kompleks antara predisposisi genetik dan faktor lingkungan yang sulit diukur secara kuantitatif. Oleh karena itu, pendekatan holistik yang mengintegrasikan ilmu sosial dan biomedis diperlukan untuk memahami epidemiologi gangguan mental secara lebih komprehensif (Rostad et al., 2021).

Pendekatan Ekologi Epidemiologi sebagai Model Komprehensi

Sebagaimana diungkapkan oleh Susser dan Susser (1996), konsep *eco-epidemiology* menawarkan pendekatan yang lebih luas dalam memahami penyakit menular maupun tidak menular. Dalam model ini, interaksi antara agen, host, dan lingkungan tidak dipandang sebagai hubungan linier, melainkan sebagai sistem kompleks yang saling mempengaruhi secara dinamis. Contohnya, dalam epidemiologi penyakit kardiovaskular, faktor risiko seperti hipertensi tidak hanya dipengaruhi oleh faktor genetik (host), tetapi juga oleh pola makan tinggi garam (lingkungan) serta tingkat stres yang berkaitan dengan pekerjaan atau faktor sosial ekonomi (Susser & Susser, 1996).

Studi oleh John (1999) juga menegaskan bahwa pendekatan *eco-epidemiology* lebih baik dalam menjelaskan penyebaran penyakit yang melibatkan interaksi multi-faktor, seperti diabetes tipe 2 yang dipengaruhi oleh pola konsumsi masyarakat, regulasi industri makanan, dan aktivitas fisik. John (1999) menyatakan bahwa strategi intervensi kesehatan berbasis kebijakan yang menciptakan lingkungan sehat lebih efektif dibandingkan hanya mengandalkan perubahan perilaku individu.

Namun, pendekatan ini mendapat kritik dari beberapa peneliti yang menilai bahwa kompleksitas model *eco-epidemiology* dapat menyulitkan implementasi intervensi kesehatan secara spesifik. Scholthof (2007) berpendapat bahwa meskipun model ini komprehensif, tantangan dalam mengukur hubungan kausal antara determinan lingkungan dan penyakit masih menjadi hambatan dalam penerapannya di kebijakan kesehatan masyarakat.

Peran Mikroba dalam Ekologi Penyakit Tidak Menular

Penelitian oleh Deitsch et al. (2009) menunjukkan bahwa beberapa penyakit tidak menular juga memiliki keterkaitan dengan mikroba sebagai agen penyebab. Misalnya, infeksi *Helicobacter pylori* telah dikaitkan dengan peningkatan risiko kanker lambung, sementara perubahan mikrobiota usus diyakini berperan dalam patogenesis penyakit metabolik seperti obesitas dan diabetes tipe 2. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun penyakit tidak menular tidak selalu memiliki agen infeksius secara langsung, interaksi antara mikroba dan host tetap berperan dalam memicu atau memperburuk kondisi penyakit (Deitsch et al., 2009).

Lebih lanjut, studi oleh Wakelin (1996) menemukan bahwa infeksi parasit tertentu, seperti Schistosomiasis, dapat memicu respon imun yang meningkatkan risiko fibrosis hati dan kanker hati. Ini menjadi bukti bahwa model triadik epidemiologi tetap relevan dalam memahami penyakit tidak menular yang melibatkan agen biologis dalam perkembangan patologi penyakit (Wakelin, 1996).

Pendekatan ini juga mendapat dukungan dari penelitian yang dilakukan oleh Moreau dan Chauvin (2010), yang menyatakan bahwa sistem imun memiliki peran ganda dalam mencegah sekaligus memfasilitasi perkembangan penyakit kronis. Misalnya, inflamasi kronis yang dipicu oleh infeksi bakteri atau virus tertentu dapat menyebabkan kerusakan jaringan dan meningkatkan risiko penyakit degeneratif seperti aterosklerosis dan kanker.

Namun, kritik terhadap model ini datang dari Amman et al. (2015), yang berpendapat bahwa faktor-faktor non-biologis, seperti stres psikososial dan faktor ekonomi, sering kali memiliki dampak yang lebih besar pada penyakit tidak menular dibandingkan faktor mikrobiologis. Mereka menekankan perlunya memahami peran lingkungan sosial dalam membentuk pola kesehatan masyarakat agar dapat merancang intervensi yang lebih efektif.

Implikasi dalam Kebijakan Kesehatan Masyarakat

Pemahaman yang lebih luas mengenai triad epidemiologi dalam konteks penyakit tidak menular memiliki dampak langsung terhadap kebijakan kesehatan masyarakat. Studi oleh Petersen et al. (2009) menunjukkan bahwa kebijakan yang mengintervensi lingkungan, seperti peningkatan akses terhadap ruang hijau dan regulasi konsumsi makanan tinggi lemak trans, lebih efektif dalam menurunkan prevalensi penyakit tidak menular dibandingkan intervensi berbasis perubahan individu. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan epidemiologi harus berorientasi pada perubahan sistemik daripada hanya mengandalkan perubahan perilaku individu (Petersen et al., 2009).

Di sisi lain, penelitian oleh Chowdhury et al. (2016) menemukan bahwa faktor sosial, seperti stigma terhadap penyakit mental, sering kali menjadi hambatan dalam penerapan kebijakan kesehatan yang efektif. Mereka mencontohkan bahwa meskipun banyak negara telah menerapkan program dukungan kesehatan mental, banyak individu dengan gangguan psikologis tetap enggan mencari bantuan karena stigma sosial yang melekat. Oleh karena itu, strategi kesehatan masyarakat harus mencakup pendidikan dan advokasi untuk

mengurangi stigma serta meningkatkan akses terhadap layanan kesehatan mental (Chowdhury et al., 2016).

Namun, beberapa peneliti juga mengingatkan bahwa kebijakan berbasis lingkungan memiliki tantangan dalam implementasi. Ghosh dan Nagar (2014) menekankan bahwa regulasi yang terlalu ketat terhadap industri makanan dan farmasi dapat berdampak negatif terhadap perekonomian. Oleh karena itu, mereka menyarankan bahwa kebijakan harus seimbang antara regulasi kesehatan dan pertumbuhan ekonomi agar tidak menimbulkan efek samping yang merugikan masyarakat (Ghosh & Nagar, 2014).

Berdasarkan berbagai studi yang telah dikaji, model triadik epidemiologi tetap relevan dalam memahami penyakit tidak menular, meskipun dalam aplikasinya perlu dikombinasikan dengan pendekatan eco-epidemiology yang lebih komprehensif. Lingkungan, yang dalam konteks penyakit infeksi berfungsi sebagai medium penyebaran agen penyakit, dalam penyakit tidak menular berperan dalam menentukan pola hidup individu serta akses terhadap sumber daya kesehatan. Faktor sosial ekonomi, kebijakan kesehatan, serta dinamika ekologi mikroba juga berperan dalam membentuk pola penyakit dalam populasi.

Kritik terhadap model triadik menyebutkan bahwa kompleksitas interaksi antara agen, host, dan lingkungan dalam penyakit tidak menular memerlukan pendekatan yang lebih fleksibel dan holistik. Meskipun demikian, model ini tetap menjadi kerangka kerja yang berguna dalam memahami berbagai determinan kesehatan serta merancang intervensi yang efektif dalam kebijakan kesehatan masyarakat.

Kajian ini menegaskan bahwa pemahaman yang lebih mendalam mengenai epidemiologi penyakit tidak menular memerlukan pendekatan multidisiplin yang menggabungkan ilmu biomedis, sosial, ekonomi, serta kebijakan kesehatan. Intervensi berbasis lingkungan, regulasi kebijakan, serta promosi kesehatan yang berbasis bukti ilmiah menjadi kunci dalam menangani epidemi penyakit tidak menular di masa depan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Model Host-Agent-Environment Merupakan Kerangka Penting dalam Epidemiologi

Studi ini menegaskan bahwa model epidemiologi triadik tetap relevan dalam memahami berbagai penyakit, baik infeksius maupun tidak. Penyakit tidak muncul secara acak, melainkan merupakan hasil dari interaksi kompleks antara host, agen penyakit, dan lingkungan.

Lingkungan Berperan Signifikan dalam Penyebaran Penyakit

Faktor lingkungan, termasuk sanitasi, kualitas udara, perubahan iklim, dan faktor sosial-ekonomi, memiliki dampak besar terhadap kejadian penyakit. Penyakit menular seperti tuberkulosis lebih banyak terjadi di lingkungan dengan kepadatan tinggi dan ventilasi buruk, sedangkan penyakit tidak menular seperti hipertensi dan diabetes sering kali dikaitkan dengan stres, pola makan yang buruk, serta kurangnya aktivitas fisik.

Interaksi Host dan Agen Penyakit Bersifat Dinamis

Hubungan antara host dan agen penyakit bukanlah interaksi statis, tetapi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti mutasi patogen, adaptasi imunologi host, serta pola transmisi. Beberapa patogen memiliki strategi bertahan yang kompleks, termasuk mimikri molekuler dan mekanisme penghindaran sistem imun.

Pendekatan Holistik dalam Pencegahan dan Pengendalian Penyakit Sangat Dibutuhkan

Upaya pencegahan dan pengendalian penyakit tidak dapat hanya berfokus pada satu aspek saja. Diperlukan integrasi antara kebijakan kesehatan, pendekatan berbasis lingkungan, serta intervensi medis yang berbasis bukti ilmiah. Contohnya, program vaksinasi telah terbukti menurunkan angka kejadian berbagai penyakit menular, sementara kebijakan yang membatasi konsumsi lemak trans dapat membantu mengurangi prevalensi penyakit kardiovaskular.

Kebutuhan akan Model Epidemiologi yang Lebih Komprehensif

Meskipun model host-agent-environment memberikan pemahaman dasar yang kuat, studi ini menyoroti pentingnya pendekatan eco-epidemiology, yang mempertimbangkan interaksi multi-level antara faktor biologis, sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam dinamika penyakit. Pendekatan ini lebih sesuai dalam menjelaskan penyakit dengan penyebab multifaktorial seperti kanker dan gangguan mental.

Saran

Peningkatan Kebijakan Kesehatan Berbasis Lingkungan

- 1) Pemerintah dan institusi kesehatan perlu mengembangkan kebijakan yang mendukung lingkungan sehat, seperti pengelolaan air bersih, perbaikan sanitasi, serta regulasi terhadap polusi udara dan limbah industri.
- 2) Implementasi kebijakan lingkungan yang lebih ketat untuk mengurangi risiko penyakit berbasis lingkungan seperti infeksi saluran pernapasan akibat polusi udara.

Peningkatan Kesadaran dan Pendidikan Kesehatan Masyarakat

- 1) Kampanye kesehatan perlu diperluas untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya kebersihan, gaya hidup sehat, dan vaksinasi.
- 2) Program edukasi kesehatan yang menargetkan kelompok rentan, seperti lansia dan penderita penyakit kronis, perlu ditingkatkan.

Penguatan Sistem Surveilans dan Pencegahan Penyakit

- 1) Pengembangan sistem deteksi dini yang berbasis data epidemiologi untuk mengantisipasi kemungkinan wabah penyakit.
- 2) Peningkatan kapasitas fasilitas kesehatan dalam menangani penyakit menular dan tidak menular, terutama di daerah dengan keterbatasan akses layanan kesehatan.

Pendekatan Multidisiplin dalam Penanganan Penyakit Tidak Menular

- 1) Penyakit tidak menular harus ditangani dengan pendekatan yang lebih holistik, termasuk kebijakan yang mendukung gaya hidup sehat, akses terhadap makanan bergizi, serta promosi aktivitas fisik.
- 2) Pengembangan model integratif yang menggabungkan faktor biologis, sosial, dan ekonomi dalam kebijakan kesehatan masyarakat.

Penguatan Riset dan Inovasi dalam Epidemiologi

- 1) Diperlukan lebih banyak penelitian mengenai hubungan antara perubahan lingkungan dan evolusi patogen, termasuk dampak perubahan iklim terhadap pola penyebaran penyakit.
- 2) Riset mengenai imunoterapi dan vaksin berbasis teknologi baru seperti mRNA perlu terus dikembangkan untuk menghadapi ancaman penyakit menular di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Althaus, C.L. (2014). Estimating the reproduction number of Ebola virus during the 2014 outbreak in West Africa. *PLoS Currents*, 6.
- Amman, B.R., et al. (2015). "Oral shedding of Marburg virus in experimentally infected Egyptian fruit bats (*Rousettus aegyptiacus*)." *J Wildl Dis*, 51(1), 113–124.
- Aryal, S. (2024). Epidemiologic Triad: Agent, Host, Environment. *Microbe Notes*. Available at: <https://www.microbenotes.com>
- Balasubramanian, C. (2022). What is the Agent and Host Model in Infectious Diseases? *GIDEON Informatics*. Available at: <https://www.gideononline.com>.
- Black, R.E., Morris, S.S., & Bryce, J. (2003). Where and why are 10 million children dying every year? *The Lancet*, 361, 2226–2234.
- Bradley, D.J. & John, T.J. (1998). "The influence of local changes in the rise of infectious disease." *New and Resurgent Infections Prediction, Detection and Management of Tomorrow's Epidemics*.
- Casadevall, A. and Pirofski, L. (2015) 'What is a host? Incorporating the microbiota into the damage-response framework', *Infection and Immunity*, 83(1), pp. 2–7.
- CDC. (2015). Avian Influenza in Birds. Retrieved from <http://www.cdc.gov>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2012) *Principles of Epidemiology in Public Health Practice*. 3rd edn. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2012). Lesson 1: Introduction to Epidemiology. Available at: <https://www.cdc.gov/csels/dsepd/ss1978/lesson1/section8.html>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (1992). *Principles of Epidemiology*, 2nd ed. U.S. Department of Health and Human Services.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2005). Dengue Fever. Retrieved from <https://www.cdc.gov/ncidod/dvbid/dengue/index.htm>

- Chowdhury, R., et al. (2016). "Implication of vector characteristics of *Phlebotomus argentipes* in the Kala-azar elimination programme in the Indian sub-continent." *Pathog Glob Health*, 110(2), 87–96.
- Deitsch, K.W., et al. (2009). "Common strategies for antigenic variation by bacterial, fungal and protozoan pathogens." *Nat Rev Microbiol*, 7(6), 493–503.
- Elsevier (2021) 'Infectious Agent', *Journal of Ethnopharmacology*. Available at: <https://www.elsevier.com>.
- Engelthaler, D.M. et al. (1999). Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerging Infectious Diseases*, 5(1), 87-94.
- Frumkin, H., et al. (2004). *Urban Sprawl and Public Health: Designing, Planning, and Building for Healthy Communities*. Island Press.
- Gama, J.A. et al. (2012). Immune subversion and quorum-sensing shape the variation in infectious dose among bacterial pathogens. *PLoS Pathogens*, 8(5), e1002503.
- Ghosh, S., & Nagar, G. (2014). "Problem of ticks and tick-borne diseases in India with special emphasis on progress in tick control research: A review." *J Vector Borne Dis*, 51, 259–270.
- John, T. J., & Kompithra, R. Z. (2023). Eco-epidemiology triad to explain infectious diseases. *The Indian journal of medical research*, 158(2), 107–112. https://doi.org/10.4103/ijmr.ijmr_3031_21
- John, T.J. (1999). "Can plagues be predicted, prevented?" *Lancet*, 354(SIV54).
- Kilbourne, E. M., & Falk, H. (2005). *Environmental Health Solutions*. Environmental Solutions. Elsevier.
- Lee, A. (2003). *Host and Environment as Key Factors in Epidemiology*. National Institutes of Health. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>.
- McDowell, I. (2008). From Risk Factors to Explanation in Public Health. *Journal of Public Health*, 30(3), pp. 219-223.
- Moreau, E., & Chauvin, A. (2010). "Immunity against helminths: Interactions with the host and the intercurrent infections." *J Biomed Biotechnol*, 2010, 428593.
- Murphy, F.A. (2016) 'Historical Perspective', *Advances in Virus Research*.
- National Institutes of Health (NIH) (2025). *Interactions of Infectious Agents with the Host*. Available at: <https://www.nih.gov>.
- Nielsen, N., Kristensen, S. T. & Schnohr, P. (2008). Perceived Stress and Cause-Specific Mortality among Men and Women: A Prospective Cohort Study. *American Journal of Epidemiology*, 168(5), pp. 481-491.
- NIH (2001) *Immunobiology: The Immune System in Health and Disease*. 5th edn. Bethesda: National Library of Medicine.
- Noone, P. (2009). Agent, Host, and Environmental Interactions. *Occupational Medicine*, 58(8), pp. 594-595.
- Petersen, J.M., et al. (2009). "Francisella tularensis: An arthropod-borne pathogen." *Vet Res*, 40(7).
- Porta, M. (2014) *A Dictionary of Epidemiology*. 6th edn. Oxford: Oxford University Press.

- Smith, M. N. (1986). The Best Possible Condition for Nature to Act Upon: Host-Agent-Environment Relationships. *AAOHN Journal*, 34(3), pp. 120-121.
- Susser, M., & Susser, E. (1996). "Choosing a future for epidemiology: II. From black box to Chinese boxes and eco-epidemiology." *Am J Public Health*, 86(5), 674–677.
- Tulchinsky, T.H. & Varavikova, E.A. (2014) *The New Public Health*. 3rd edn. Academic Press.
- Wakelin, D. (1996). *Medical Microbiology*. University of Texas Medical Branch at Galveston.
- WHO. (2012). *Handbook for Integrated Vector Management*. WHO Press, France.