

HUBUNGAN ANTARA NILAI *NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX* (NDVI) DENGAN INSIDENSI MALARIA: TINJAUAN SISTEMATIK DAN META-ANALISIS

Ronaldo^{1*}, Zakianis²

Program Studi Ilmu Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia¹

Departemen Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia²

*Corresponding Author : nandonaidin@gmail.com

ABSTRAK

Malaria merupakan penyakit akut yang disebabkan oleh plasmodium. Pada tahun 2020 terdapat 59,5 kasus dari 1000 populasi berisiko. Mortalitas secara global menunjukkan sebanyak 15,3 kematian akibat malaria dari 100.000 populasi berisiko. Kerusakan lingkungan dapat mengakibatkan beberapa efek, salah satunya adalah perubahan dinamika dari vektor penyakit infeksi, salah satunya adalah nyamuk vektor dari malaria. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan nilai untuk menghitung rapatannya vegetasi pada suatu daerah, yang digunakan untuk memprediksi kejadian malaria. Tujuan dari tinjauan sistematis dan meta-analisis ini adalah untuk mengetahui korelasi antara NDVI dengan insiden dari malaria di dunia. Pencarian studi dilakukan di tiga basis data daring, yaitu Pubmed, Scopus, dan Embase hingga Agustus 2022. Luaran yang dicari adalah koefisien korelasi antara nilai NDVI dengan jumlah kasus malaria di suatu daerah. Dari pencarian tersebut, didapatkan 8 studi yang diinklusi untuk dianalisis lebih lanjut, dimana 4 studi bisa dilakukan meta-analisis. Hasil meta-analisis menunjukkan bahwa nilai NDVI berkorelasi kuat terhadap insidensi malaria ($r = 0.823$, 95%CI = 0.253 to 0.969). Hal ini menunjukkan nilai NDVI berbanding terbalik dengan kasus malaria, yang mungkin terjadi akibat konversi lahan sehingga menimbulkan banyaknya genangan air yang ideal bagi siklus perkembangbiakan nyamuk.

Kata kunci :Deforestasi, Malaria, *Normalized Difference Vegetation Index*, Plasmodium, Perubahan iklim

ABSTRACT

Malaria is an acute disease caused by Plasmodium. In 2020 there were 59.5 cases out of 1000 population at risk. Globally there were 15.3 deaths from malaria compared to 100,000 population at risk. Environmental damage can cause several effects, one of which is the dynamics of infectious disease vectors, particularly mosquito, vector of malaria. The *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) is a value to measure vegetation density in an area, which is usually used to predict malaria incidence. The aim of the systematic and meta-analysis was to determine correlation between NDVI and incidence of malaria globally. Literature search was done in PubMed, Scopus, and Embase until August 2022. The output sought was the correlation coefficient between the NDVI value and number of malaria cases in an area. A total of 8 studies were included for further analysis, of which 4 studies could be meta-analyzed. The results of the meta-analysis showed that the NDVI value was strongly correlated with the malaria incidence ($r = 0.823$, 95%CI = 0.253 to 0.969). NDVI value means inversely correlated with incidence of malaria, which is possible because land conversion for human use increased the incidence of water puddle which is ideal for the mosquito breeding cycle.

Keywords :Deforestation, Malaria, *Normalized Difference Vegetation Index*, Plasmodium, Climate change

PENDAHULUAN

Malaria merupakan penyakit akut yang disebabkan oleh parasit *Plasmodium*, yang menyebar melalui gigitan nyamuk *Anopheles*. Secara global, kasus malaria telah mengalami

penurunan. Meskipun demikian, prevalensi penyakit malaria di Indonesia tetap menjadi perhatian, terutama di wilayah timur seperti Papua, Nusa Tenggara Timur, dan Kalimantan Timur.

Penyebaran malaria memiliki kaitan yang erat dengan kegiatan deforestasi. Deforestasi yang dialihfungsikan untuk kegiatan non-hutan seperti pertanian, perkebunan, atau pemukiman menyediakan habitat ideal bagi nyamuk *Anopheles* untuk hidup dan berkembang biak. Misalnya, lahan yang dialihfungsikan sebagai peternakan kerbau diketahui memiliki kepadatan jentik nyamuk yang lebih tinggi dibandingkan badan air alami seperti danau atau sungai.

Salah satu cara untuk mengukur derajat konversi lahan hijau/hutan adalah dengan menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Indeks ini mengukur tingkat kehijauan dan densitas vegetasi suatu lahan berdasarkan data yang ditangkap oleh satelit. Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga 1. Semakin besar nilai NDVI, maka kerapatan vegetasi pada area tersebut semakin baik, dan sebaliknya.

Menurut beberapa penelitian, wilayah tropis memiliki nilai kerapatan vegetasi yang optimal untuk perkembangbiakan dan hunian nyamuk antara 0,3 hingga 0,4. Namun, ada juga penelitian yang berpendapat bahwa nilai NDVI hingga 0,5 masih memungkinkan untuk dijadikan tempat tinggal nyamuk.

Karena variasi temuan dari berbagai penelitian, perlu dilakukan meta-analisis untuk mengumpulkan dan menganalisis temuan tersebut. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat apakah ada hubungan korelasi antara insiden malaria dengan nilai NDVI.

METODE

Pencarian literatur terkomputerisasi dilakukan pada bulan Agustus hingga September 2022. Pencarian dibatasi untuk mencari studi-studi yang membahas hubungan antara insidensi malaria dan nilai NDVI. Basis data daring yang digunakan untuk penelitian ini adalah: Pubmed, SCOPUS, dan EMBASE. Pencarian menggunakan kata kunci yang dirancang sesuai dengan PICO yang dibuat, antara lain; Pasien: Semua manusia, tidak ada batasan usia, ras, dan gender; Intervensi: Insidensi Malaria; *comparator* (pembanding): Nilai NDVI; *Outcome* (luaran): Koefisien Korelasi antara nilai NDVI dengan insidensi Malaria.

Studi yang diinklusi untuk dilakukan analisis jika studi tersebut (1) Melibatkan variabel insidensi malaria (tidak ada batasan satuan yang digunakan); (2) Penelitian yang memberikan data yang jelas terkait daerah tempat dilakukannya studi; (3) Penelitian yang menggunakan variabel NDVI sebagai salah satu variabel yang dianalisis; (4) Penelitian yang memiliki luaran koefisien korelasi antara variabel NDVI dengan insidensi malaria. Studi akan dieksklusi jika (1) Desain studi berupa *review*, *systematic review*, meta-analisis (2) Studi tidak berbahasa Inggris atau Indonesia.

Penulisan tinjauan sistematik dan meta-analisis berdasarkan *guideline Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. Kata kunci yang digunakan berhubungan dengan (1) Malaria dan nama spesiesnya (*P. falciparum*, *P. vivax*, dan lainnya); (2) NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); dan (3) korelasi, korelasi *pearson*, atau *spearman*. Kata kunci disesuaikan dengan database yang digunakan. (Tabel 1)

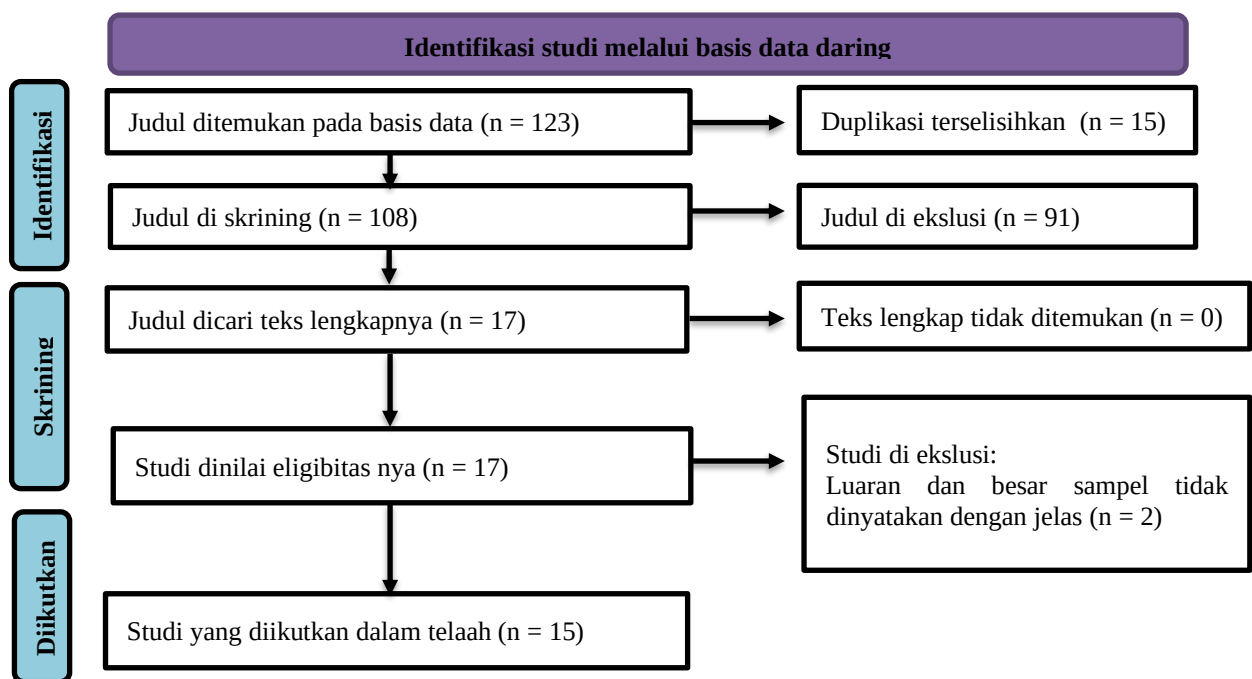
Reviewer yang melakukan pencarian literatur, skrining, dan penilaian eligibilitas. Judul dan abstrak dilakukan skrining dan dipilih berdasarkan kriteria inklusi. Selanjutnya studi yang sesuai dengan kriteria inklusi akan dinilai eligibilitasnya. *Reviewer* mengekstrak beberapa data pada studi-studi yang diinklusi, antara lain: (1) penulis dan tahun; (2) tahun publikasi; (3) besar sampel; (4) Tempat penelitian; (5) luaran studi: NDVI dan insidensi

malaria beserta nilai koefisien korelasi. Insidensi malaria tidak secara spesifik dibatasi dalam satuan tertentu.

Data secara statistik dievaluasi, dan meta-analisis dilakukan menggunakan © 2022 *MedCalc Software Ltd.* Luaran dari hasil meta-analisis adalah *forest plot* beserta dengan nilai heterogenitas dari analisis tersebut. Selain itu penelitian ini menggunakan *random-effect* model. Analisis heterogenitas menggunakan nilai I^2 , dimana heterogenitas rendah, moderat, dan tinggi dinilai menggunakan rentang nilai I^2 berturut-turut 25%, 50%, dan 75%. Jika nilai I^2 diatas 50% sudah dianggap sebagai heterogen.

HASIL

Pencarian awal menggunakan kata kunci spesifik (Tabel 1) pada masing-masing basis data memberikan total temuan sebanyak 123 artikel, diantaranya terdapat 15 studi duplikat sehingga tersisa 108 studi untuk dilakukan skrining abstrak. Dari skrining abstrak didapatkan 98 studi tidak memenuhi PICO yang sudah dibuat, sehingga menyisakan 10 studi untuk dilakukan telaah lebih lanjut, dan didapatkan 2 studi tidak memenuhi kriteria eligibilitas dikarenakan luaran yang dicari tidak sesuai dengan apa yang sudah dirumuskan. Sehingga menyisakan 8 studi yang selanjutnya dilakukan analisis untuk pembuatan tinjauan sistematis dan meta-analisis, alur seleksi literatur diringkas pada PRISMA *flowchart* yang ada pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Seleksi Studi

Angka insidensi malaria diketahui bervariasi bergantung pada negara atau wilayah lokasi studi tersebut dilakukan (tabel 2). Piedharita, dkk (Piedrahita et al., 2020) melakukan studi insidensi malaria di Colombia dan mendapatkan angka insidensi sebesar 142 kasus dai 1000 penduduk. Angka insidensi ini lebih tinggi dibandingkan studi Hay, dkk (Hay et al., 1998) dan Siya, dkk (Siya et al., 2020) yang menunjukkan angka insidensi sebesar 50 dan 67 kasus tiap 1000 penduduk. Angka ini tidak berbeda jauh dengan studi oleh Kibret, dkk (Kibret et al., 2019) yang dilakukan di Ethiopia dengan isnidensi sebesar 56,7 kasus tiap 1000 penduduk. Studi oleh Salano-Villarreal dkk di Peru menunjukkan angka insidensi yang memiliki rentang antara 10-50 kasus per 1000 penduduk. (Solano-Villarreal et al., 2019) Studi oleh Amadi, dkk tidak menunjukkan jumlah kasus terhadap jumlah total populasi

melainkan hanya menunjukkan jumlah total insidensi kasus yang terjadi selama masa penelitian. Studi ini menunjukkan bahwa di Kenya tempat studi ini dilakukan terdapat total 73.304 kasus malaria. (Amadi et al., 2018) Rentang kasus malaria yang cukup lebar ditemukan oleh Okiring, dkk di Uganda. Pada studi ini, angka kasus malaria yang ditemukan sangat tinggi yaitu 790 kasus tiap 1000 penduduk.

Tabel 1. Kata kunci dan hasil pencarian dari masing-masing basis data

Basis data	Kata kunci	Jumlah
PubMed	<i>((("normalized difference vegetation index"[All Fields]) OR ("ndvi"[All Fields])) AND (((("malaria"[All Fields]) OR ("malaria infection"[All Fields])) OR (plasmodium infection)))) AND (((environment) OR ("deforestation"[All Fields])) OR ("environmental change"[All Fields]))</i>	3
EMBASE	<i>('normalized difference vegetation index'/exp OR 'normalized difference vegetation index' OR (normalized AND difference AND ('vegetation'/exp OR vegetation) AND ('index'/exp OR index)) OR ndvi) AND ('malaria'/exp OR malaria OR 'malaria infection'/exp OR 'malaria infection' OR (('malaria'/exp OR malaria) AND ('infection'/exp OR infection)) OR 'plasmodium infection'/exp OR 'plasmodium infection' OR (('plasmodium'/exp OR plasmodium) AND ('infection'/exp OR infection))) AND ('environment'/exp OR environment OR 'deforestation'/exp OR deforestation) AND ('correlation'/exp OR correlation)</i>	25
Scopus	<i>((normalized difference vegetation index) OR (NDVI)) AND ((Malaria) OR (Malaria Infection) OR (Plasmodium infection)) AND (environment OR deforestation) AND (correlation) AND (LIMIT-TO (OA,"all")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENVI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))</i>	25

(Okiring et al., 2021) Gaudart dkk menunjukkan angka insidensi yang cukup tinggi yaitu 70-100 kasus tiap 1000 penduduk. Studi ini dilakukan di negara Mali. (Gaudart et al., 2009) terdapat dua studi yang dilakukan di Panama Republik dengan angka insidensi berkisar antara 10-50 kasus per 1000 penduduk. (Hurtado et al., 2018; Rigg et al., 2019) Studi yang dilakukan di Burundi juga menemukan angka insidensi malaria yang cukup tinggi hingga mencapai 450 kasus tiap 1000 penduduk. (Gomez-Elipse et al., 2007) Angka NDVI pada beberapa studi sangat bervariasi bergantung pada derajat konversi lahan hijau, ketinggian, dan iklim pada waktu tertentu. Pada tabel 2 ditampilkan data nilai minimal dan maksimal dari NDVI pada wilayah masing-masing studi. Daerah dengan lahan hijau paling minim dimiliki oleh daerah dengan nilai NDVI 0,00 yang berada di salah satu wilayah studi Hay, dkk (1998) dan McMahon, dkk (2021) yang berada di Kenya dan Ethiopia. (Hay et al., 1998; McMahon et al., 2021) Beberapa studi yang dilakukan di Peru, Kenya, Panama, dan Uganda menunjukkan nilai NDVI pada daerah lingkup studi mencapai 0,80. (Amadi et al., 2018; Okiring et al., 2021; Rigg et al., 2019; Solano-Villarreal et al., 2019) Studi yang dilakukan oleh Hurtado dkk di Panama Republik terdapat satu daerah dengan nilai NDVI mencapai 0,95. (Hurtado et al., 2018) Terdapat tiga studi yang tidak menampilkan data NDVI pada laporan penelitian mereka yaitu pada studi oleh Piedharita, dkk (2020) yang dilakukan di Colombia, Chirombo, dkk (2020) yang dilakukan di Malawi, dan Patz, dkk (1998) yang dilakukan di Kenya. (Chirombo et al., 2020; Patz et al., 1998; Piedrahita et al., 2020).

Temuan korelasi antara NDVI dengan insiden malaria dilampirkan pada tabel 3. Tidak semua studi memberikan luaran utama yang sama, yaitu koefisien korelasi, studi oleh Chirombo, dkk memberikan luaran berupa risiko relatif, 7 studi lain memberikan luaran utama sesuai dari yang penulis cari, yaitu koefisien korelasi, sehingga bisa dilanjutkan untuk proses meta-analisis. (Chirombo et al., 2020) Akan tetapi tidak semua 7 studi tersebut akan dilanjutkan proses analisisnya dikarenakan tidak semua studi memberikan jumlah kasus yang didapat (tabel 2)

Tabel 2. Insiden Penyakit Malaria dan nilai NDVI pada studi yang diikuti dalam telaah sistematis ini

Negara studi	Insiden malaria	NDVI	Penulis utama	Tahun
Amerika				
Panama republic	28/1000 populasi	0,45-0,80	(Rigg et al., 2019)	2019
Panama republic	10-50/1000 populasi	0,50 – 0,95	(Hurtado et al., 2018)	2018
Peru	10-50/1000 populasi	0,40 – 0,80	(Solano-Villarreal et al., 2019)	2019
Colombia	142/1000 populasi	No data	(Piedrahita et al., 2020)	2020
Afrika				
Kenya	50/1000 populasi	0,00 – 0,79	(Hay et al., 1998)	1998
Kenya	Data tidak tersedia	No data	(Patz et al., 1998)	1998
Kenya	73.304 kasus dalam 4 tahun	0,20 – 0,80	(Amadi et al., 2018)	2018
Kenya	67/1000 populasi	0,01 – 0,74	(Siya et al., 2020)	2020
Mali	70-100/1000 populasi	0,15 – 0,70	(Gaudart et al., 2009)	2009
Ethiopia	56.7/1000 populasi	0,20 – 0,65	(Kibret et al., 2019)	2019
Ethiopia	Data not available	0,00 – 0,66	(McMahon et al., 2021)	2021
Burundi	50-450/1000 populasi	0,30-0,60	(Gomez-Elipe et al., 2007)	2019
Malawi	Data tidak tersedia	-	(Chirombo et al., 2020)	2020
Uganda	790/1000 populasi per tahun	0,24 – 0,80	(Okiring et al., 2021)	2021
Afrika selatan	Data tidak tersedia	0,34 – 0,75	(Adeola et al., 2019)	2019

Berdasarkan tempat diambilnya studi, 7 penelitian dilakukan di benua afrika, dimana 6 studi oleh Hay dkk, Siya dkk, Kibret dkk, McMahon dkk, Chirombo dkk, dan Patz dkk dilakukan di afrika timur, meliputi Kenya, Malawi, dan Ethiopia. (Chirombo et al., 2020; Hay et al., 1998; Kibret et al., 2019; McMahon et al., 2021; Siya et al., 2020) Penelitian yang dilakukan oleh Adeola , dkk dilakukan di Afrika Selatan. Selain ke 7 studi itu, terdapat 1 studi yang dilakukan di Benua Amerika yaitu studi oleh Piedrahita , dkk, dengan studi yang dilakukan di Kolombia. (Piedrahita et al., 2020) Koefisien korelasi yang ditampilkan dalam penelitian ini menunjukkan kekuatan hubungan antara indeks NDVI dengan insidensi malaria. Angka ini didapatkan oleh studi yang melakukan penelitian mengenai hubungan antara insidensi malaria dengan NDVI pada area tempat studi tersebut dilakukan. Koefisien korelasi menunjukkan seberapa kuatnya hubungan antara NDVI dengan insidensi malaria dengan angka 0,0 – 0,30 menunjukkan tidak adanya korelasi (*negligible*), angka 0,31 – 0,50 menunjukkan kekuatan korelasi lemah, angka 0,51 – 0,70 menunjukkan kekuatan korelasi menengah (*moderate*), angka 0,70 – 0,90 menunjukkan kekuatan korelasi kuat, dan angka 0,91 – 1,0 menunjukkan kekuatan korelasi sangat kuat. (Mukaka, 2012) Pada tabel 3 tertera angka koefisien korelasi dari masing-masing studi. Studi oleh Piedrahita menunjuka angka korelasi yang sangat kuat yaitu 0,98.(Piedrahita et al., 2020) Korelasi kuat ditemukan oleh studi oleh Siya, dkk dan Hay, dkk dengan angka korelasi 0,74 dan 0,71.(Hay et al., 1998; Siya et al., 2020) Adeola, dkk menunjukkan kekuatan korelasi menengah dengan angka koefisien 0,65.(Adeola et al., 2019) Terakhir, studi oleh Kibret menunjukkan kekuatan korelasi antara NDVI dengan insidensi malaria yang lemah dengan angka koefisien 0,452.(Kibret et al., 2019) Temuan insiden malaria pada mayoritas penelitian tidak secara spesifik membedakan

etiologi dari kasus, seperti *Plasmodium vivax* atau *Plasmodium falciparum*. Hanya 1 studi yang memberi data korelasi NDVI dengan insiden malaria masing-masing etiologi, yaitu pada penelitian oleh McMahon , dkk yang dilakukan di Ethiopia pada tahun 2021. (McMahon et al., 2021)

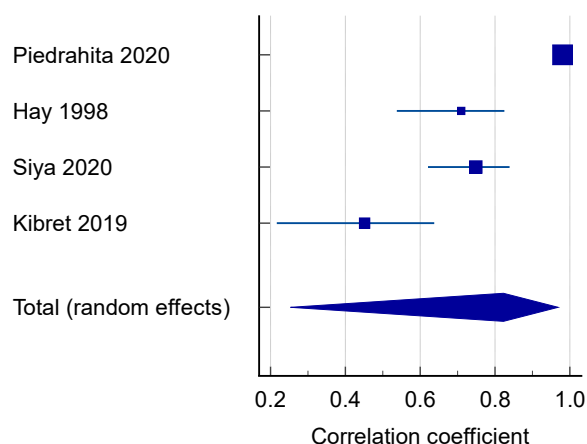
Tabel 3. Koefisien korelasi antara NDVI dengan insidensi malaria pada studi yang diikutkan dalam telaah sistematis ini

Penulis	Negara	Spesies malaria	Koefien korelasi
Piedrahita	Colombia	Tidak dispesifikasi	0.98
Hay	Kenya	Tidak dispesifikasi	0.71
Siya	Kenya	Tidak dispesifikasi	0.7493
Kibret	Ethiopia	Tidak dispesifikasi	0.452
Adeola	South Africa	Tidak dispesifikasi	0.65
McMahon	Ethiopia	<i>Plasmodium falciparum</i> dan <i>Plasmodium vivax</i>	0.6 untuk keseluruhan kasus, 0.54 untuk <i>falciparum</i> dan 0.68 for <i>vivax</i>
Chirombo	Malawi	Tidak dispesifikasi	<i>Relative risk</i> (RR) = 1.00, IK95 0.99–1.00
Patz	Kenya	Tidak dispesifikasi	0.42

IK95: interval kepercayaan 95%

Didapatkan nilai korelasi yang berbeda-beda bergantung pada penelitian dilakukan dan tahun dilakukannya penelitian tersebut. Selain itu juga setiap penelitian memberikan total kasus per 1000 manusia yang berbeda-beda, sehingga beberapa penelitian masih bisa dilakukan analisis lebih lanjut untuk mendapatkan berapa nilai eksak hubungan korelasi antara indisen malaria dengan nilai NDVI, sehingga dilakukan meta-analisis pada studi-studi tersebut.

Terdapat 5 studi yang eligibel dilakukan meta-analisis, akan tetapi studi oleh Adeola dkk (2019) memiliki satuan kasus malaria yang berbeda dengan 4 studi lainnya (Piedrahita dkk, Hay dkk, Siya dkk, Kibret dkk).(Hay dkk., 1998; Kibret dkk., 2019; Piedrahita dkk., 2020; Siya dkk., 2020) Pada studi oleh Adeola dkk menggunakan satuan kasus berupa total kasus sepanjang penelitian. Satuan ini berbeda dengan ke 4 studi lain yaang menggunakan satuan berupa jumlah kasus malaria setiap 1000 manusia. Sehingga meta-analisis bisa dilakukan untuk 4 studi tersebut dikarenakan memiliki satuan yang sama. Selanjutnya dilakukan proses meta-analisis pada keempat studi tersebut yang diringkaskan pada *forest plot* dibawah (Gambar 2 dan Tabel 4)



Gambar 2. Forest Plot korelasi antara NDVI dengan insiden malaria

Tabel 4. Forest Plot beserta nilai *pooled* dari koefisien korelasi antara NDVI dengan insiden malaria.

Studi	Ukuran sampel	Koefisien korelasi (interval kepercayaan 95%)	Weight (%) <i>Random effect</i>
Piedrahita 2020	142	0.980 (0.972 - 0.986)	25.25
Hay 1998	50	0.710 (0.538 - 0.825)	24.84
Siya 2020	67	0.749 (0.621 - 0.839)	25.00
Kibret 2019	56	0.452 (0.216 - 0.638)	24.91
<i>Pooled Data</i>	315	0.823 (0.253 - 0.969)	100.00

Setelah metaanalisis dilakukan dengan menggabungkan nilai koefisien korelasi antara 4 studi yang sudah diringkas masing-masing nilainya di Gambar 2 dan Tabel 3, didapatkan nilai koefisien korelasi gabungan sebesar 0.823 dengan 95% CI sebesar 0.253 – 0.969. Berdasarkan temuan ini didapatkan bahwa korelasi antara NDVI dengan insiden malaria adalah korelasi positif kuat, sehingga semakin tinggi nilai NDVI, maka semakin tinggi juga insidensi malaria. Meta-analisis ini memiliki jumlah total sampel insiden malaria sebesar 315 insiden malaria dalam 1000 populasi, selain itu hasil uji heterogenitas memberikan nilai 98.32% yang memiliki interpretasi bahwa data-data pada meta-analisis ini cukup tersebar heterogen.

PEMBAHASAN

Transmisi malaria sangat terkait dengan lingkungan, faktor fisika maupun biologis. Faktor lingkungan ada berbagai macam, seperti temperatur, hujan dan hingga kelembaban. Beberapa penelitian sudah memberikan analisis terkait faktor-faktor lingkungan apa saja yang bisa berpengaruh terhadap risiko transmisi malaria. Salah satu studi oleh Mohammadkhani , dkk menunjukkan terdapat pengaruh antara temperatur dengan insidensi malaria. Penelitian ini memberikan hasil bahwa semakin meningkatnya rerata dari temperatur, maka semakin tinggi juga laju insidensi dari malaria secara signifikan.(Mohammadkhani et al., 2016) Studi lain oleh Huang, dkk yang mengadakan penelitian di Tibet, terdapat korelasi yang signifikan antara temperatur, kelembaban, dan hujan.(Huang et al., 2011)

Parameter NDVI sudah cukup sering digunakan sebagai parameter untuk melihat kondisi-kondisi yang berhubungan dengan lingkungan, salah satunya adalah tingkat kelembaban.(Gaudart et al., 2009) Dengan digunakannya NDVI, peneliti dapat mengetahui karakteristik tumbuhan dengan fungsinya disertai dengan perubahannya.(Gaudart et al., 2009) Sehingga ini bisa memberikan data kontras yang cukup baik untuk permukaan bumi yang berhubungan dengan vegetasi. Beberapa penelitian sudah dilakukan dengan melibatkan NDVI, dengan hasil bahwa parameter ini berkorelasi secara signifikan dengan kondisi lingkungan yang dinamis seperti temperatur dan presipitasi.(Smith & Choudhury, 2007) Salah satu penelitian oleh David J, dkk menunjukkan terdapat korelasi antara perubahan nilai NDVI dengan insidensi malaria, penelitian ini memberikan korelasi sebanyak 0.71, yang berarti korelasi kuat. Penelitian ini juga memberikan hasil lain yaitu nilai minimum NDVI sebanyak 0.35-0.4 bisa menggambarkan admisi karena malaria tahunan sebanyak 5%. Hal ini dapat memberikan data bahwa nilai NDVI dapat menggambarkan kemungkinan tinggi infeksi malaria dapat terjadi. Penelitian lain oleh Graves , dkk, memberikan data bahwa peningkatan kasus malaria secara signifikan berhubungan dengan perubahan frekuensi hujan dibandingkan dengan 2-3 bulan sebelumnya, selain itu juga peningkatan kasus berkorelasi

positif dengan penjumlahan nilai NDVI saat ini dan bulan sebelumnya. Penelitian lain oleh Gaudart, dkk menunjukkan bahwa parameter kelembaban sangat penting terhadap korelasi antara NDVI dan insiden malaria, pada penelitian ini memberikan data hubungan NDVI dengan insiden malaria cukup kuat pada daerah tertentu yang memiliki dinamika perubahan cuaca dan adanya faktor yang memberikan kelembaban persisten (seperti daerah sering banjir dan daerah ladang padi). (Gaudart et al., 2009) Tinggi nya insidensi malaria pada daerah dengan NDVI rendah mungkin disebabkan oleh konversi lahan untuk kebutuhan manusia yang menyebabkan berkurangnya daerah vegetasi hijau. Alih fungsi lahan misal sebagai peternakan diketahui akan meningkatkan jumlah kubangan air yang menjadi lokasi berkembangbiak nya nyamuk ini. Studi yang dilakukan oleh Willa, dkk (2015) menunjukan bahwa lahan yang dialihfungsikan sebagai peternakan kerbau memiliki kepadatan jentik nyamuk yang lebih tinggi dibandingkan badan air alami seperti danau atau sungai. Pada studi ini didapatkan angka kepadatan jentik berkisar antara 4,9-7,4 per cidukan air pada air kubangan kerbau dan kepadatan berkisar antara 23,2-28,2 untuk genangan air pada bekas tapak kaki kerbau. Angka ini jauh lebih tinggi dibandingkan angka kepadatan jentik pada sungai di daerah tersebut yang hanya sebesar 0,7 per cidukan air. (Willa & Kazwaini, 2016) Hal ini dapat terjadi karena konversi lahan hijau meningkatkan terjadinya kubangan air kecil yang terisolir dan tidak mengalir sehingga dapat menjadi lokasi ideal untuk nyamuk berkembangbiak karena terhindar dari predator jentik. (Willa & Kazwaini, 2016)

Berdasarkan hal itu, cukup jelas bahwa terdapat penelitian yang mengkorelasikan NDVI dengan insiden malaria, pada penelitian ini penulis mengkuantifikasi temuan hasil dari penelitian-penelitian yang mengkorelasikan secara langsung antara nilai NDVI dengan insiden malaria dengan satuan jumlah kasus per 1000 populasi. Hasil dari meta-analisis ini memberikan hasil yang cukup sinergis dengan penelitian-penelitian yang sudah ada, dengan koefisien korelasi sebesar 0,823 tetapi dengan interval kepercayaan (IK) yang cukup lebar (IK95% 0,253-0,969). Hal ini dimungkinkan karena penelitian oleh Kibret, dkk memberikan hasil korelasi menengah dengan koefisien korelasi 0,452. Selain itu data pada meta-analisis ini cukup heterogen dengan I^2 98,32% menandakan bahwa data yang didapat cukup beragam. Dari hasil ini dapat memberikan gambaran bahwa semakin rendah nilai NDVI (mendekat angka 0) maka semakin banyak lahan hijau yang dikonversi mengikuti kebutuhan manusia.

KESIMPULAN

Terdapat korelasi kuat antara NDVI dengan insidensi kasus malaria. Hal ini menunjukan bahwa pengalihan lahan hijau menjadi lahan yang digunakan manusia seperti pertanian, peternakan, perumahan, dll meningkatkan insidensi kasus malaria. Studi ini sejalan dengan riset sebelumnya..

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Tuhan, keluarga, dan kolega yang telah membantu saya dalam penyusunan naskah ini

DAFTAR PUSTAKA

- A, M. (2009). Nyamuk vektor malaria dan hubungannya dengan aktivitas kehidupan manusia di Indonesia. *Jurnal Aspirator*, 1(2), 94–102.
- Adeola, A. M., Botai, J. O., Olwoch, J. M., Rautenbach, H. C. J. d. W., Adisa, O. M., de Jager, C., Botai, C. M., & Aaron, M. (2019). *Predicting malaria cases using remotely sensed environmental variables in Nkomazi*, South Africa. *Geospatial Health*, 14(1).

- <https://doi.org/10.4081/gh.2019.676>
- Amadi, J. A., Olago, D. O., Ong'amo, G. O., Oriaso, S. O., Nanyingi, M., Nyamongo, I. K., & Estambale, B. B. A. (2018). *Sensitivity of vegetation to climate variability and its implications for malaria risk in Baringo, Kenya*. *PLoS ONE*, 13(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199357>
- Aragão, L. E. O. C., Malhi, Y., Barbier, N., Lima, A., Shimabukuro, Y., Anderson, L., & Saatchi, S. (2008). *Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 363(1498), 1779–1785. <https://doi.org/10.1098/RSTB.2007.0026>
- Chirombo, J., Ceccato, P., Lowe, R., Terlouw, D. J., Thomson, M. C., Gumbo, A., Diggle, P. J., & Read, J. M. (2020). *Childhood malaria case incidence in Malawi between 2004 and 2017: Spatio-temporal modelling of climate and non-climate factors*. *Malaria Journal*, 19(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-3097-z>
- Gaudart, J., Touré, O., Dessay, N., Dicko, A. L., Ranque, S., Forest, L., Demongeot, J., & Doumbo, O. K. (2009). *Modelling malaria incidence with environmental dependency in a locality of Sudanese savannah area, Mali*. *Malaria Journal*, 8(1), 61. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-8-61>
- Gomez-Elipe, A., Otero, A., Van Herp, M., & Aguirre-Jaime, A. (2007). *Forecasting malaria incidence based on monthly case reports and environmental factors in Karuzi, Burundi, 1997-2003*. *Malaria Journal*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-6-129>
- Graves, P. M., Osgood, D. E., Thomson, M. C., Sereke, K., Araia, A., Zerom, M., Ceccato, P., Bell, M., Corral, J. Del, Ghebreselassie, S., Brantly, E. P., & Ghebremeskel, T. (2008). *Effectiveness of malaria control during changing climate conditions in Eritrea, 1998-2003*. *Tropical Medicine and International Health*, 13(2), 218–228. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3156.2007.01993.X>
- Hay, S. I., Snow, R. W., & Rogers, D. J. (1998). *Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 92(1), 12–20. [https://doi.org/10.1016/S0035-9203\(98\)90936-1](https://doi.org/10.1016/S0035-9203(98)90936-1)
- Huang, F., Zhou, S., Zhang, S., Wang, H., & Tang, L. (2011). *Temporal correlation analysis between malaria and meteorological factors in Motuo County, Tibet*. *Malaria Journal*, 10. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-10-54>
- Hundessa, S., Li, S., Liu, D. L., Guo, J., Guo, Y., Zhang, W., & Williams, G. (2018). *Projecting environmental suitable areas for malaria transmission in China under climate change scenarios*. *Environmental Research*, 162(November 2017), 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.12.021>
- Hurtado, L. A., Calzada, J. E., Rigg, C. A., Castillo, M., & Chaves, L. F. (2018). *Climatic fluctuations and malaria transmission dynamics, prior to elimination, in Guna Yala, República de Panamá*. *Malaria Journal*, 17(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12936-018-2235-3>
- Jason, W. (2007). *MODELING MALARIA TRANSMISSION RISK USING SATELLITE-BASED REMOTE SENSING IMAGERY: A FIVE-YEAR DATA ANALYSIS IN DEMOCRATIC PEOPLE'S REPUBLIC OF KOREA*. Northwest Missouri state University.
- Kibret, S., Glenn Wilson, G., Ryder, D., Tekie, H., & Petros, B. (2019). *Environmental and meteorological factors linked to malaria transmission around large dams at three ecological settings in Ethiopia*. *Malaria Journal*, 18(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12936-019-2689-y>

- Kurniati, E. (n.d.). *Analisis Sebaran Habitat Anopheles spp. Vektor Penyakit Malaria di Kabupaten Jombang, Jawa Timur*.
https://www.academia.edu/6508331/Aplikasi_Penginderaan_Jauh_dan_Sistem_Informasi_Geografis_untuk_Analisis_Sebaran_Habitat_Anopheles_spp_Vektor_Penyakit_Malaria_di
- McMahon, A., Mihretie, A., Ahmed, A. A., Lake, M., Awoke, W., & Wimberly, M. C. (2021). *Remote sensing of environmental risk factors for malaria in different geographic contexts*. *International Journal of Health Geographics*, 20(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12942-021-00282-0>
- Mohammadkhani, M., Khanjani, N., Bakhtiari, B., & Sheikhzadeh, K. (2016). *The relation between climatic factors and malaria incidence in Kerman, South East of Iran*. *Parasite Epidemiology and Control*, 1(3), 205. <https://doi.org/10.1016/J.PAREPI.2016.06.001>
- Mukaka, M. M. (2012). *Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research*. *Malawi Medical Journal : The Journal of Medical Association of Malawi*, 24(3), 69–71.
- Okiring, J., Routledge, I., Epstein, A., Namuganga, J. F., Kamya, E. V., Obeng-Amoako, G. O., Sebuguzi, C. M., Rutazaana, D., Kalyango, J. N., Kamya, M. R., Dorsey, G., Wesonga, R., Kiwuwa, S. M., & Nankabirwa, J. I. (2021). *Associations between environmental covariates and temporal changes in malaria incidence in high transmission settings of Uganda: a distributed lag nonlinear analysis*. *BMC Public Health*, 21(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11949-5>
- Organization, W. H. (2022). *Malaria*.
- Patz, J. A., Strzepek, K., Lele, S., Hedden, M., Greene, S., Noden, B., Hay, S. I., Kalkstein, L., & Beier, J. C. (1998). *Predicting key malaria transmission factors, biting and entomological inoculation rates, using modelled soil moisture in Kenya*. *Tropical Medicine and International Health*, 3(10), 818–827. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3156.1998.00309.x>
- Piedrahita, S., Altamiranda-Saavedra, M., & Correa, M. M. (2020). *Spatial fine-resolution model of malaria risk for the Colombian Pacific region*. *Tropical Medicine and International Health*, 25(8), 1024–1031. <https://doi.org/10.1111/tmi.13443>
- Rigg, C. A., Hurtado, L. A., Calzada, J. E., & Chaves, L. F. (2019). *Malaria infection rates in Anopheles albimanus (Diptera: Culicidae) at Ipetí-Guna, a village within a region targeted for malaria elimination in Panamá*. *Infection, Genetics and Evolution*, 69(December 2018), 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2019.02.003>
- Siya, A., Kalule, B. J., Ssentongo, B., Lukwa, A. T., & Egeru, A. (2020). *Malaria patterns across altitudinal zones of Mount Elgon following intensified control and prevention programs in Uganda*. *BMC Infectious Diseases*, 20(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05158-5>
- Smith, R. C., & Choudhury, B. J. (2007). *On the correlation of indices of vegetation and surface temperature over south-eastern Australia*. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/01431169008955164](http://Dx.Doi.Org/10.1080/01431169008955164), 11(11), 2113–2120. <https://doi.org/10.1080/01431169008955164>
- Solano-Villarreal, E., Valdivia, W., Percy, M., Linard, C., Pasapera-Gonzales, J., Moreno-Gutierrez, D., Lejeune, P., Llanos-Cuentas, A., Speybroeck, N., Hayette, M.-P., & Rosas-Aguirre, A. (2019). *Malaria risk assessment and mapping using satellite imagery and boosted regression trees in the Peruvian Amazon*. *Scientific Reports*, 9(1), 15173. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51564-4>
- Willa, R. W., & Kazwaini, M. (2016). *Penyebaran Kasus Dan Habitat Perkembangbiakan Vektor Malaria Di Kabupaten Sumba Timur Provinsi Nusa Tenggara Timur*. *Jurnal*

Ekologi Kesehatan, 14(3), 218–228. <https://doi.org/10.22435/jek.v14i3.4692.218-228>
World Health Organization, G. H. O. D. R. H. S. (2020). *Incidence of malaria (per 1,000 population at risk)*.