

Peluang Bahan Alami Tumbuhan Sebagai Antibakteri Alternatif Pada Desinfeksi Air Minum: Artikel Review

*Opportunities of Natural Plant Materials as Alternative Antibacterials in Drinking Water
Disinfection: Review Article*

Rahwan Ahmad^{1*}, Prasetyawati², Farha Assagaf³, Khartini Kaluku⁴
^{1,2,3}Department of Sanitation, Ministry of Health Polytechnic of Health Maluku
⁴Department of Nutrition, Ministry of Health Polytechnic of Health Maluku

*E-mail: rahwanahmad@poltekkes-maluku.ac.id

ABSTRACT

Various efforts to kill pathogenic bacteria in water with safer and more economical disinfectants continue to be pursued. The presence of antibacterial agents in plants can be a promising alternative to natural disinfection. This review discusses the use of natural materials as safer and more economical alternative disinfectants in the water disinfection process. Methods, This is a narrative review using sources from the ProQuest database. The key terms "Extracts AND Plants AND "Natural Compounds" AND "secondary metabolites" AND Antibacterial AND Pathogens AND water AND Escherichia coli" were used. Of the 45 studies found during the search phase, 12 were eligible for inclusion in this review. Results, This study shows that natural Plant Extracts have many uses not only as food ingredients but also as protection against various infectious diseases. Plant extracts as natural ingredients have active antibacterial compounds such as tannins, alkaloids, flavonoids, saponins and phenols which are sourced from seeds, flowers, leaves, bark and roots. Active compounds in plants can reduce or even eliminate pathogenic bacteria in water. Conclusion, Natural plant extracts have compounds that can kill pathogenic bacteria in water. Further studies on the use of natural plant extracts need to be carried out as alternative water disinfection materials that are easy to obtain, safe and economical.

Keywords: Extract, Natural, plants, antibacterial, drinking water.

ABSTRAK

Berbagai upaya untuk membunuh bakteri patogen dalam air dengan desinfektan yang lebih aman dan ekonomis terus diupayakan. Kehadiran agen antibakteri pada tanaman dapat menjadi alternatif yang menjanjikan untuk desinfeksi alami. Ulasan ini membahas tentang penggunaan bahan alami sebagai bahan desinfektan alternatif yang lebih aman dan ekonomis dalam proses desinfeksi air. Metode, Ini adalah ulasan naratif menggunakan sumber dari database ProQuest. Istilah kunci "Extracts AND Plants AND "Natural Compounds" AND "secondary metabolites" AND Antibacterial AND Pathogens AND water AND Escherichia coli" digunakan. Dari 45 studi yang ditemukan selama fase pencarian, 12 memenuhi syarat untuk dimasukkan dalam ulasan ini. Hasil, Studi ini menunjukkan bahwa Ekstrak Tumbuhan alami mempunyai banyak kegunaan bukan saja sebagai bahan pangan tetapi juga sebagai pelindung berbagai penyakit infeksi. Ekstrak tumbuhan sebagai bahan alami memiliki senyawa aktif antibakteri seperti tannin, alkaloid, flavonoid, saponin dan fenol yang bersumber baik dari biji, bunga, daun kulit batang maupun akar. Senyawa aktif pada tumbuhan dapat mengurangi bahkan menghilangkan bakteri patogen yang terdapat pada air. Kesimpulan, Ekstrak bahan alami tumbuhan memiliki senyawa yang dapat membunuh bakteri patogen pada air. Studi lebih lanjut terhadap penggunaan ekstrak bahan alami tumbuhan perlu dilakukan sebagai bahan desinfeksi air alternatif yang mudah di peroleh, aman dan ekonomis.

Kata kunci: Ekstrak, Alami, tumbuhan, antibakteri, air minum.

PENDAHULUAN

Penyebaran penyakit akibat bakteri patogen merupakan kontributor utama morbiditas dan mortalitas anak pada skala global dan menjadi isu Kesehatan Masyarakat yang sangat penting, terutama di negara berkembang dengan sanitasi yang buruk. Bakteri seperti *Escherichia coli* (*E. coli*) dan *Salmonella* adalah contoh patogen yang dapat menyebabkan penyakit serius, seperti diare, kolera, dan tifus, melalui konsumsi air yang terkontaminasi. Penelitian menunjukkan bahwa *E. coli* merupakan indikator utama pencemaran feces dalam air, dan keberadaannya sering kali berhubungan dengan peningkatan insiden penyakit bawaan air¹. Seperti yang dilaporkan oleh organisasi kesehatan dunia (WHO), Penyakit tersebut bertanggung jawab atas sekitar 829.000 kematian setiap tahun, dengan perkiraan 485.000 kematian terjadi setiap tahun karena diare yang terkait dengan kontaminasi air minum^{2,3}. Selain terjadinya kematian akibat mengkonsumsi air terkontaminasi bakteri, diperkirakan sekitar 37,7 juta orang menderita penyakit yang ditularkan melalui sumber air yang terkontaminasi⁴.

Air yang tercemar mikroorganisme patogen menimbulkan ancaman yang signifikan bagi kesehatan manusia dan harus dihindari untuk dikonsumsi. Oleh karena itu memiliki akses ke air yang sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan untuk minum yang aman sangat penting bagi masyarakat^{5,6}. Adanya bakteri *Escherichia coli* pada air, merupakan indikator adanya kontaminasi oleh tinja manusia atau hewan serta menunjukkan risiko adanya mikroba lainnya seperti *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Shigella*, norovirus, dan sebagainya. Contoh lain dari patogen yang ditularkan melalui air adalah *S. aureus*. Ia memiliki kemampuan luar biasa untuk bertahan hidup di air dan dapat menimbulkan penyakit pada manusia⁷. Mikroorganisme patogen, termasuk *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, dan berbagai strain lainnya, sering terdeteksi dalam sumber air minum yang dimanfaatkan masyarakat⁸.

Kontaminasi mikroba di berbagai sistem air menimbulkan risiko signifikan bagi kesehatan manusia dan dapat menyebabkan kerugian ekonomi yang cukup besar, membuat proses pengolahan air yang efektif menjadi penting. Disinfeksi air minum adalah proses yang bertujuan untuk menghilangkan, menonaktifkan, atau membunuh mikroorganisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit. Proses ini penting untuk memastikan bahwa air yang dikonsumsi aman dan tidak menimbulkan risiko kesehatan bagi masyarakat^{9,10}. Klorinasi adalah metode disinfeksi yang banyak digunakan untuk mengatasi air yang terkontaminasi bakteri patogen, karena secara efektif menghilangkan patogen melalui penerapan desinfektan klorin¹⁰. Sistem pengolahan air yang ada di masyarakat saat ini, lebih dari 50% masih menggunakan klorin dalam mendisinfeksi air¹¹, namun saat ini klorin diketahui dapat memberikan 600 produk samping yang berbahaya seperti trihalometana dan asam haloasetat, yang terkait dengan risiko kesehatan, termasuk kanker kandung kemih dan dubur. Senyawa ini muncul selama proses klorinasi dan dapat menimbulkan potensi bahaya bagi kesehatan bila air yang mengandung klorin dikonsumsi oleh manusia¹².

Instalasi pengolahan air minum berusaha meminimalkan jumlah kontaminan yang tinggi dengan menggunakan tahapan sistem pengolahan air seperti koagulasi, sedimentasi, filtrasi dan disinfeksi sebagai tindakan kesehatan masyarakat¹³. Lebih dari 50% sistem pengolahan air minum menggunakan klorin untuk mendisinfeksi air, namun saat ini klorin diketahui dapat menghasilkan 600 produk samping dari disinfeksi yang dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan.¹¹ Sehingga berbagai upaya untuk melakukan disinfeksi air dengan alat dan bahan disinfeksi yang lebih baik terus diupayakan, diantaranya, ultrasonication,¹⁴ Penggunaan Nanopartikel (NP),¹⁵ penggunaan sinar UV,¹⁶ penggunaan fotokatalis,¹⁷ dan disinfeksi air tenaga surya (SODIS).¹⁸ Walaupun banyak upaya dilakukan untuk meningkatkan kualitas proses disinfeksi air melalui pemanfaatan instrumen pengolahan dan bahan disinfeksi yang unggul. Namun upaya tersebut masih sulit untuk diterapkan karena berbiaya mahal dan perawatan yang rumit¹⁹.

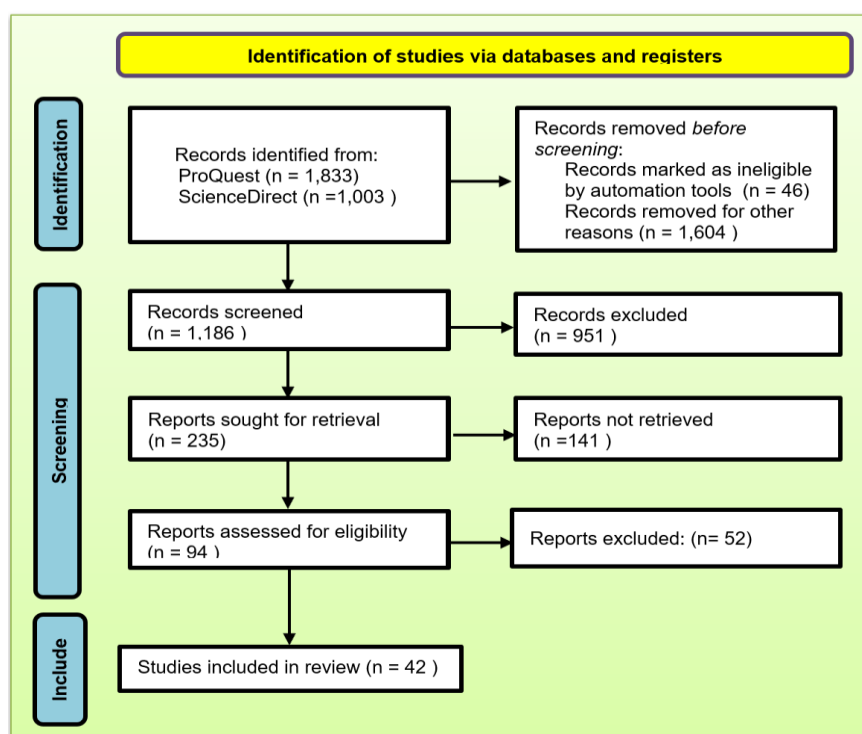
Oleh sebab itu merupakan kebutuhan yang mendesak untuk mencari bahan dan metode disinfeksi air yang baru, mudah diterapkan, berbiaya murah dan dapat menghasilkan air minum yang aman untuk dikonsumsi. Penggunaan tanaman sebagai bahan disinfeksi pada pengolahan air sangat menjanjikan. Ini dikarenakan tanaman, selain dimanfaatkan sebagai bahan pangan juga dimanfaatkan pada bidang kesehatan, sebab baik daun, buah, kulit batang ataupun akar mengandung bahan antibakteri seperti fenol,

kuinon, flavonol, tanin, kumarin dan alkaloid.²⁰ Senyawa metabolit sekunder tumbuhan memiliki beberapa efek biologis, seperti sifat anti-mikroba dan anti oksidan.²¹

Mengingat fakta bahwa sampai saat ini, penggunaan bahan alami tumbuhan sebagai antibakteri alternatif pada desinfeksi air masih sangat langka, sehingga penelitian di bidang ini sangat penting. Artikel ini mengulas pengetahuan terkini untuk menjawab pertanyaan "apakah bahan alami tumbuhan dapat menjadi antibakteri alternatif pada desinfeksi air minum?".

METODE PENELITIAN

Dalam melakukan kajian pustaka sumber literatur yang digunakan terutama dari database jurnal online yang menyediakan artikel jurnal gratis dalam format PDF dan pencarian dibatasi pada artikel yang terindeks Scopus yang ditulis dalam bahasa Inggris sesuai dengan database elektronik ProQuest dan Elsevier. Namun, untuk menjaga agar informasi tetap mutakhir, informasi yang digunakan terutama dari literatur yang dikumpulkan berada pada kurun waktu lima tahun terakhir.



Gambar 1. Alur Penelusuran Pustaka Potensi antibakteri limbah tanaman sebagai bahan desinfektan alternatif pada air baku.

Prosedur dalam melakukan kajian pustaka dilakukan secara sistematis dan runtut dimulai dengan mengumpulkan sumber-sumber kajian dan informasi berdasarkan topik yang sudah ditentukan. Kata kunci utama dalam melakukan penelusuran kajian pustaka melalui jurnal ProQuest dan Elsevier adalah "Extracts AND Plants AND "Natural Compounds" AND "secondary metabolites" AND Antibacterial AND Pathogens AND water AND *Escherichia coli*". Dari sebanyak 2,836 artikel yang diidentifikasi pada dua database, terdapat artikel yang tidak memenuhi syarat oleh alat otomatisasi sebanyak 46 artikel, dan yang tidak berkaitan dengan topik, sebanyak 1,604 artikel, sehingga tersisa 1.186 artikel. Selanjutnya dari 1,186 artikel yang tersisa setelah dilakukan pembatasan tahun terbit artikel pada lima tahun terakhir, dikeluarkan sebanyak 951 artikel sehingga tersisa 235 artikel. Dari jumlah tersebut dikeluarkan lagi yang tidak berstatus *open access* sebanyak 141 artikel sehingga tersisa 94 artikel. Dari 94 artikel yang tersisa, dilakukan tinjauan terhadap abstraknya dan hanya mengambil artikel yang berkaitan dengan penggunaan ekstrak tanaman sebagai antibakteri patogen dan berkaitan dengan

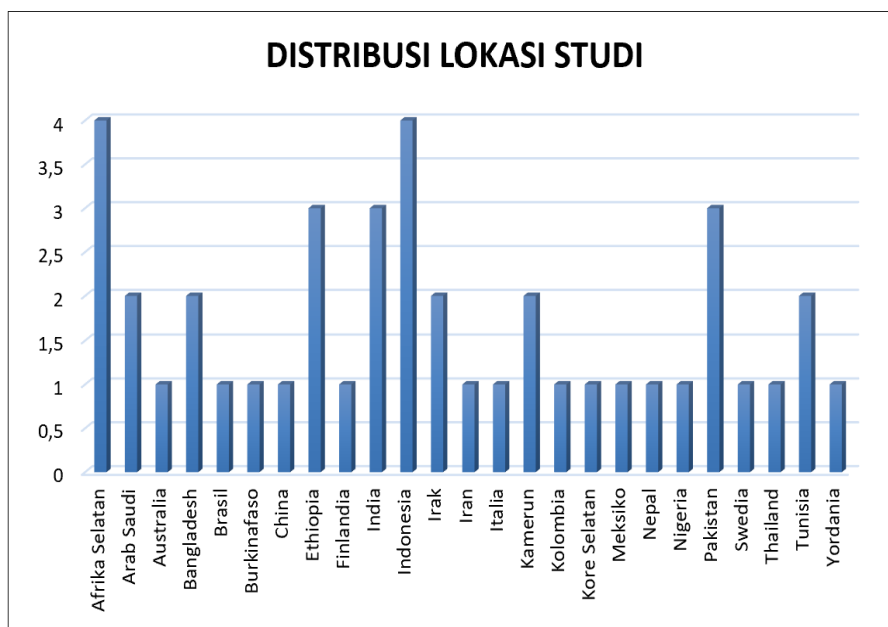
bakteri pathogen pada air, sehingga masih dikeluarkan lagi sebanyak 52 artikel. Maka tersisa sebanyak 42 artikel yang akan dibaca full-text.

HASIL

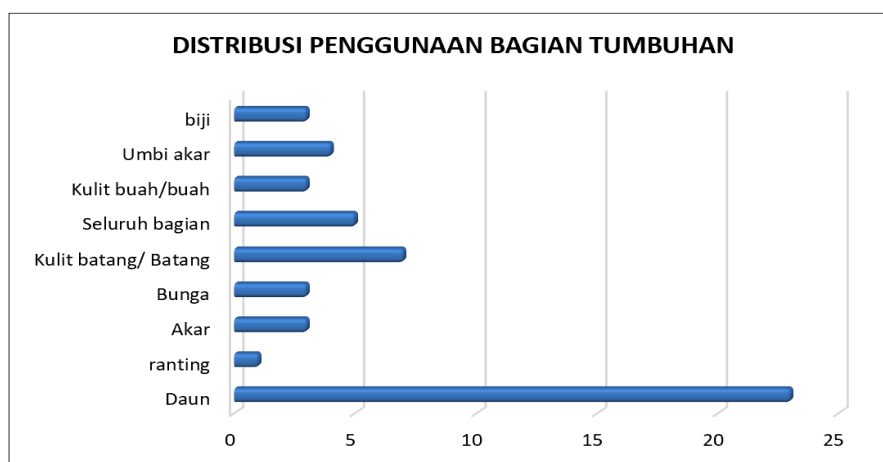
Setelah mengumpulkan artikel dengan menggugaceunakan database elektronik ProQuest dan ScienceDirect didapatkan 2.836 artikel ilmiah, maka diidentifikasi dan dilihat kriteria kelayakannya. Setelah disaring didapatkan artikel yang layak dibaca full-text sebanyak 42 artikel yang sesuai dengan kriteria. Keseluruhan artikel tersebut menggunakan metode penelitian eksperimen murni, dan terdapat beberapa artikel yang melakukan uji lapangan dengan menggunakan air terkontaminasi bakteri.

Gambar 2. Menunjukkan pelaksanaan studi tersebar di beberapa lokasi antara lain, terdapat 2 negara dengan empat penelitian ekstrak tumbuhan sebagai antibakteri, 3 negara dengan tiga penelitian, ada 5 negara dengan dua penelitian dan terdapat 15 negara masing-masing dengan satu penelitian tentang penggunaan bagian tumbuhan sebagai senyawa antibakteri.

Tabel 1 menunjukkan studi yang relevan menunjukkan bahwa beberapa bagian dari tumbuhan mempunyai senyawa antibakteri yang dapat dijadikan sebagai bahan alternatif desinfeksi air. Ada 23 artikel ditemukan senyawa antibakteri terdapat pada bagian daun, 7 artikel ditemukan senyawa antibakteri pada bagian kulit batang, 5 artikel ditemukan senyawa antibakteri pada seluruh bagian tumbuhan, 4 artikel senyawa antibakteri pada bagian Umbi akar, 3 artikel ditemukan senyawa antibakteri pada bagian akar, bunga, biji, dan pada buah atau kulit buah, serta 1 senyawa antibakteri ditemukan pada ranting tumbuhan, sebagaimana terdapat pada Gambar 3. Distribusi penggunaan bagian tumbuhan Sebagai Senyawa Antibakteri. bahan alami tumbuhan dengan zona hambat dan *Minimum Inhibitor Concentration* (MIC) terhadap beberapa bakteri patogen yang di uji. Dari 42 atikel yang kami tinjau, terdapat 29 studi yang melakukan pengamatan pada zona hambat dan nilai MIC.



Gambar 2. Distribusi jumlah Studi Penggunaan Bagian Tumbuhan Sebagai Senyawa Antibakteri dari beberapa negara



Gambar 3. Distribusi studi penggunaan ekstrak tumbuhan Sebagai Senyawa Antibakteri

Tabel 1. Bukti yang mendukung bahan alami tumbuhan mempunyai senyawa antibakteri yang dapat menjadi alternatif bahan desinfeksi air minum

Bahan Tumbuhan	Pelarut ekstrak	Metabolit sekunder	Bakteri uji	Temuan	ref
Daun Pistacia lentiscus(Damar wangi), Rosmarinus officinalis(Rosmari), Erica multiflora (Erica beribu bunga), Calicotome villosa (Sapu berduri), dan Phillyrea latifoli (Zaitun hijau)	Etanol	Tanin, flavonoid, dan senyawa fenolik	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia coli</i> dan <i>Salmonella typhimurium</i>	menemukan bahwa <i>P. lentiscus</i> , <i>R. officinalis</i> , <i>E. multiflora</i> , <i>C. villosa</i> , dan <i>P. latifolia</i> signifikan digunakan sebagai bahan disinfektan terhadap berbagai strain bakteri, termasuk <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i>	22
Daun Eragrostis plana NEES (Jukut karukun) dan Tabernaemontana catharinensis A DC(Tanaman Kumbi)	Metanol	fenolik dan alkaloid,	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Enterococcus faecalis</i>	aktivitas antibakteri terhadap berbagai strain patogen, memiliki konsentrasi penghambatan minimum (MIC) yang cukup tinggi, dengan sifat antibakteri sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan disinfektan	23
Ranting Salix aurita (Dedalu bertelinga), Salix pyrolifolia (dedalu tangis), dan Salix caprea (dedalu kambing)	Metanol dan air	Polifenolik	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus cereus</i> , dan <i>Escherichia coli</i>	Ekstrak ranting dari <i>Salix aurita</i> , <i>S. caprea</i> , dan <i>S. pyrolifolia</i> menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap berbagai bakteri patogen, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan disinfektan	24
Akar kering Echinops kebericho (Duri matahari)	metanol, etil asetat, dan n-heksana	Terpenoid, flavonoid, tanin, alkaloid, steroid, dan kumarin	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia coli</i> dan <i>Klebsiella pneumonia</i>	Ekstrak metanol menunjukkan aktivitas antibakteri tertinggi, terutama terhadap <i>Escherichia coli</i> , sebagai bakteri patogen dan dapat digunakan sebagai bahan disinfektan	25
daun dan bunga Pentacalia vaccinioides (Kunth)	Etanol	Fenolik dan terpenoid	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> ,	EO menunjukkan aktivitas antimikroba yang efektif terhadap bakteri Gram-positif.	26

Bahan Tumbuhan	Pelarut ekstrak	Metabolit sekunder	Bakteri uji	Temuan	ref
			<i>Escherichia coli</i> , dan <i>Pseudomonas aeruginosa</i>		
Akar, daun dan batang Artemisia afra (Rumput gajah)	Etanol, etil asetat, diklorometana, dan heksana	Terpenoid, fenolik dan steroid	<i>Salmonella</i> , <i>E. coli</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Staphylococcus</i> , dan <i>Enterococcus</i>	Ekstrak menunjukkan aktivitas antimikroba yang baik terhadap bakteri dan jamur sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan disinfektan	27
Daun Phyllanthus niruri Linn (Dudukung anak)	air, metanol, dan etil asetat	flavonoid dan tanin	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Bacillus cereus</i> , dan <i>Escherichia coli</i>	Menyimpulkan bahwa ekstrak Phyllanthus niruri L. dapat secara efektif menghambat pertumbuhan strain bakteri yang resisten dan rentan	28
Seluruh bagian tanaman Trifolium baccarinii Chiov (Semanggi)	Metanol, etil asetat, dan n-butanol	biochanin A, formononetin, dan luteolin, termasuk dalam kelompok Flavonoid	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , dan <i>Escherichia coli</i>	Pemurnian ekstrak EtOAc dan N-BuOH dari Trifolium baccarinii menghasilkan aktivitas antimikroba dan antioksidan yang signifikan.	29
Daun Artemisia afra (Rumput gajah) dan Eucalyptus globulus (Kayu putih)	Metanol dan heksana	fenol, kuinon, terpenoid, flavonoid, saponin, steroid, dan tanin	<i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Escherichia coli</i>	Aktivitas antimikroba signifikan terhadap <i>Staphylococcus aureus</i> , sedangkan <i>Escherichia coli</i> menunjukkan resistensi terhadap ekstrak	30
Seluruh tubuh tanaman Lobularia maritima (Bunga Alyssum)	heksana, diklorometana, etil asetat, dan Air	fenol dan flavonoid	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , dan <i>Escherichia coli</i>	Keberadaan senyawa fenolik di L. maritima, berkontribusi pada sifat antioksidan dan antimikroba	31
Kulit buah Punica granatum (Delima)	Air dan metanolik	fenolik, flavonoid, dan tanin	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Salmonella bongori</i> , dan <i>E. coli</i>	Aktivitas antimikroba yang kuat dari ekstrak kulit delima varietas Mollar de Elche, Primosole, dan Sassari terhadap patogen umum seperti <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , dan <i>E. coli</i> .	32
Daun Senna siamea (pohon johar)	Metanol dan etil asetat	saponin, flavonoid, fenolik, steroid, dan alkaloid	<i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Salmonella typhimurium</i> , dan <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .	Daun tanaman obat Senna siamea memiliki aktivitas antioksidan dan sifat antimikroba yang sangat baik, memungkinkan digunakan sebagai bahan disinfektan	33
Seluruh tubuh tanaman Ephedra alte (Ephedra alata)	Metanol	Alkaloid, tanin, flavonoid, terpenoid, dan asam fenolik	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i> , <i>Escherichia coli</i> dan <i>Klebsiella</i> .	<i>Ephedra alte</i> menunjukkan aktivitas antioksidan, penghambatan pepsin, dan antibakteri yang signifikan, memungkinkan digunakan sebagai bahan disinfektan	34
Bunga Plumeria alba (kamboja putih)	Metanol	terpenoid, flavonoid, dan fenol	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella sp.</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Bacillus sp.</i> , dan <i>Staphylococcus sp.</i>	Ekstrak secara efektif mengurangi pertumbuhan beberapa spesies bakteri, termasuk <i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus sp.</i> , dengan berbagai tingkat efektivitas.	35
Seluruh tubuh tanaman Ruellia tweediana (kencana ungu)	Air dan metanolik	Tanin, terpenoid, flavonoid, alkaloid, karotenoid, dan steroid	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. typhi</i> , dan <i>B. subtilis</i>	<i>Ruellia tweediana</i> memiliki aktivitas antibakteri yang kuat terhadap <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i> <i>Proteus mirabilis</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Bacillus subtilis</i> .	36

Bahan Tumbuhan	Pelarut ekstrak	Metabolit sekunder	Bakteri uji	Temuan	ref
Rimpang/ umbi akar Zingiber officinale (jahe)	Etanol	Fenolik, flavonoid, saponin, antrakuinon, dan terpenoid, dan Pseudomonas aeruginosa alkaloid	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Escherichia coli</i> , dan	Rimpang Zingiber officinale memiliki sifat antioksidan, antikanker, dan antibakteri yang signifikan karena kandungan senyawa fenolik dan flavonoidnya yang kaya.	37
Seluruh tubuh tanaman Rydingia michauxii (swamp chestnut oak)	Metanol	fenolik dan flavonoid total	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia coli</i> dan <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Tahap dorman diidentifikasi sebagai yang paling efektif melawan bakteri dan virus, memungkinkan digunakan sebagai bahan disinfektan	38
Bunga Neurada procumbens L (Chapperi Booti)	air, metanc	Mengandung berbagai metabolit sekunder, terutama senyawa polifenolik	<i>S.aureus</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , dan <i>P. vulgaris</i>	Ekstrak metanol bunga (MeToH) dan diklorometana (DCM) menunjukkan aktivitas antioksidan, antibakteri, dan anti-biofilm yang kuat bagi bakteri patogen	39
Daun dan batang Tabernaemontana ventriculosa (Bunga wari)	heksana, kloroform, dan metanol.	Alkaloid, flavonoid, saponin, sterol, steroid	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , dan <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Aktivitas antibakteri substansial ekstrak metanolik yang cukup besa dari daun dan batang, serta ekstrak lateks, terhadap <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , dan <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	40
Daun Aegle marmelos (L.) Correa (Mojo legi)	metanol, aseton, dan heksana	Alkaloid, terpenoid, kumarin, flavonoid, kuinon, glikosida, saponin, polifenol, dan tanin.	<i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Escherichia coli</i>	Ekstrak metanol menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap <i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Escherichia coli</i> sebagai bakteri patogen	41
Daun Vachellia Senegalia (Akasia.), Morus (murbei), Leucaena (lamtoro), Salix (Pohon Willow), eter, Grewia (Cenderai), Ziziphus (bidara), Searsia (Searsia), Dichrostachys (Peu'eung), dan Ceratonia (kacang belalang)	air, metanol, etanol, kloroform, eter, dikloromet nol, dan aseton	Alkaloid, flavonoid, saponin, sterol, steroid	<i>Escherichia coli</i>	Ekstrak dapat dikembangkan menjadi agen terapi baru untuk memerangi infeksi diare yang diinduksi <i>E. coli</i> pada manusia dan hewan.	42
Kulit Kayu Spondias pinnata (kedondong hutan)	Air deionisasi	fenolik, sterol, triterpen, saponin, minyak esensial, asam amino, dan polisakarida	<i>Shigella boydii</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Shigella dysenteriae</i> , dan <i>Staphylococcus aureus</i>	Nanopartikel perak klorida yang disintesis hijau dari ekstrak kulit kayu Spondias pinnata menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan dan sangat menjanjikan, memungkinkan digunakan sebagai bahan disinfektan	43

Bahan Tumbuhan	Pelarut ekstrak	Metabolit sekunder	Bakteri uji	Temuan	ref
Kulit kayu pohon <i>Picea abies</i> (cemara Norwegia)	Air	terpenoid, polifenol (seperti stilben dan tanin), dan asam resin	<i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i>	Ekstrak kavitas hidrodinamik menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dan signifikan pada bakteri <i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i>	44
daun <i>Clausena anisate</i> (Ki bajetah) dan kulit kayu <i>Euphorbia abyssinica</i> (Mahkota duri).	Air suling	fenol, flavonoid, alkaloid, terpenoid, saponin, tanin, kuinon, kumarin, dan steroid	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> dan <i>Enterobacter cloacae</i>	Ekstrak daun <i>Clausena anisate</i> dan kulit kayu <i>Euphorbia abyssinica</i> yang berfungsi sebagai antibakteri sangat signifikan terhadap <i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Escherichia coli</i> sebagai bakteri patogen pada air	45
<i>Daun Equisetum arvense</i> (paku ekor kuda)	Etanol	Flavonoid, alkaloid, dan asam fenolik	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , dan <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Equisetum arvense</i> memiliki sifat antibakteri yang signifikan, terutama terhadap <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , dan <i>Klebsiella pneumoniae</i> , sebagai bakteri patogen pada air.	46
<i>Daun Dryopteris erythrosora</i> (DEE) (pakis hijau)	Metanol 99%	kaya akan flavonoid	<i>Staphylococcus aureus</i>	Ekstrak <i>Dryopteris erythrosora</i> (DEE) dapat digunakan sebagai senyawa alami baru untuk menghilangkan bakteri patogen <i>S. aureus</i> , dan dapat berfungsi sebagai bahan disinfektan alternatif	47
<i>Daun Mangifera indica</i> (mangga) dan <i>Anacardium occidentale</i> (Jambu mete)	etanol	Fenol, flavonoid, tanin, dan alkaloid	<i>Staphylococcus aureus</i> (<i>S. aureus</i>) dan <i>Candida albicans</i> (<i>C. albicans</i>)	Ekstrak daun <i>A. occidentale</i> dan ekstrak daun <i>M. indica</i> secara signifikan mampu membunuh bakteri <i>S. aureus</i> dan <i>C. albicans</i> dan dapat berfungsi sebagai alternatif yang layak untuk proses disinfeksi.	48
<i>Daun Piper betle</i> (sirih), <i>Piper retrofractum</i> (cabai jawa), dan <i>Glycosmis pentaphylla</i> (Gongseng)	Etanol dan metanol	Tanin, steroid, cumarin, alkaloid, dan flavonoid	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , dan <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Studi ini menyimpulkan bahwa ekstrak <i>Piper betle</i> (PB), menunjukkan sifat antibakteri yang signifikan terhadap lima strain bakteri dan dapat berfungsi sebagai bahan disinfektan alternatif.	49
batang dan daun <i>Lantana camara</i> (tembelean)	Kombinasi etanol dan air	Fenolik, flavonoid, polisakarida, tanin, alkaloid, sterol, dan triterpen.	<i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i>	ekstrak <i>Lantana camara</i> efektif membunuh bakteri <i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i> dan dapat berfungsi sebagai metode alternatif untuk desinfeksi air.	50
biji <i>Mesua ferrea</i> (Nagasari)	Etanol	Kumarin, xanton, pyranoxanthones, flavonoid, terpenoid, dan steroid	<i>Salmonella typhi</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , dan <i>Escherichia coli</i>	Temuan menunjukkan bahwa <i>M. ferrea</i> dapat berfungsi sebagai sumber potensial untuk pengembangan senyawa timbal untuk antibiotik baru, terutama melawan bakteri yang resistan terhadap obat seperti <i>Bacillus cereus</i> .	51
<i>Daun Psidium guajava L.</i> (Jambu biji)	etanol 97%	Alkaloid, saponin,	<i>Salmonella Typhi</i> , <i>Shigella boydii</i> ,	Ekstrak kulit dan daun jambu biji ini berkontribusi pada efek penghambatan yang luas pada bakteri patogen, baik	52

Bahan Tumbuhan	Pelarut ekstrak	Metabolit sekunder	Bakteri uji	Temuan	ref
		tanin, dan terpenoid.	<i>Staphylococcus aureus</i> , dan <i>Enterococcus faecalis</i>	gram positif dan gram negatif, dan dapat berfungsi sebagai bahan disinfektan alternatif	
Daun <i>Acacia Senegal</i> (L.) Willd (Gom Akasia)	petroleum eter dan 70% etanol	Fenol, flavonoid, tanin, dan alkaloid	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Escherichia coli</i>	Ekstrak daun akasia senegal menunjukkan efek signifikan pada bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i> dan <i>Escherichia coli</i> , dan berpotensi sebagai bahan antibakteri	53
Daun <i>Ocimum sanctum</i> L. (kemangi suci)	Heksana dan etanol	Tanin, flavonoid, steroid, dan triterpenoid	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , dan <i>Escherichia coli</i>	Ekstrak etil asetat dari daun kemangi suci (<i>Ocimum sanctum</i> L.) secara efektif menghambat pertumbuhan bakteri patogen, khususnya <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , dan <i>Escherichia coli</i> , serta sangat berpotensi sebagai agen antibakteri.	54
biji kelor <i>Moringa oleifera</i> (MoSe)	Etanol 96%	Alkaloid, polifenol, tanin, flavonoid, dan saponin	<i>Escherichia coli</i>	Sistem filter biologis dapat secara signifikan mengurangi mikroorganisme patogen dalam air limbah, memberikan solusi berbasis alam untuk mengolah limbah dan memastikan air yang aman secara mikrobiologis.	55
Daun <i>Mustard/Brassica juncea</i> (Sawi hijau) dan <i>Moringa/Moringa oleifera</i> (Kelor)	etanol 95%	Peptida, protein, alkaloid, dan fenol	<i>E. coli</i> , <i>E. faecalis</i> , <i>S. typhi</i> , <i>P.mirabilis</i> , dan <i>S. aureus</i>	Ekstrak <i>Moringa oleifera</i> dan <i>Brassica juncea</i> menunjukkan aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap tiga belas mikroorganisme patogen. Konsentrasi rendah ekstrak <i>Moringa oleifera</i> dan <i>Brassica juncea</i> menunjukkan efek antibakteri.	4
Daun <i>Artemisia herba-alba</i> (Rumput gajah).	Etanol	Aapigenin, β -sitosterol, Taurin, Erivanin, Isoerivanin, Herbalbin dan Cycloartenol	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Aktivitas etanol dalam membunuh bakteri patogen dapat ditingkatkan dengan cara dicampurkan bersama ekstrak daun kasar serial tanaman <i>A. herba-alba</i> .	56
Tanaman bakau <i>Avicennia marina</i> (api-api putih), yang meliputi akar, batang, daun, buah, dan bijinya.	etanol, etil asetat, petroleum eter, kloroform, dan air.	Fenolik, steroid, triterpen, glikosida, ester, alkohol alifatik, dan asam amino	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , dan <i>Staphylococcus aureus</i>	Ekstrak dari akar dan daun <i>Avicennia marina</i> menunjukkan aktivitas antibakteri yang menonjol, terutama ekstrak etanolik akar terhadap berbagai strain bakteri patogen.	57
Umbi akar bawang Dayak (<i>Eleutherine palmifolia</i>)	etanol	Flavonoid dan fenol	<i>Escherichia coli</i> dan <i>Salmonella spp</i>	Ekstrak bawang Dayak secara signifikan dapat menghambat aktivitas bakteri <i>Salmonella spp</i> dan <i>Escherichia coli</i> , dan dapat digunakan sebagai bahan antibakteri	58
kulit buah <i>Citrus nobilis</i> (jeruk keprok)	Metanol	Flavonoid, limonoid, kumarin, asam fenolik, terpenoid, tanin, stilben, lignan, dan karotenoid.	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , dan <i>Salmonella typhimurium</i>	Ekstrak kulit <i>Citrus nobilis</i> menunjukkan aktivitas antimikroba yang jauh lebih tinggi terhadap bakteri Gram-positif, terutama <i>Staphylococcus aureus</i>	59

Bahan Tumbuhan	Pelarut ekstrak	Metabolit sekunder	Bakteri uji	Temuan	ref
Daun teh (TP).	Etanol	Polifenol teh	<i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Salmonella enterica</i> , <i>Streptococcus agalactiae</i> dan <i>Klebsiella pneumoniae</i>	Efek desinfeksi polifenol teh dalam limbah ultrafiltrasi terutama menghambat pertumbuhan bakteri, dengan dosis yang dianjurkan 5,0 mg/L efektif hingga 48 jam.	60
Umbi akar bawang putih (<i>Allium sativum</i>)	Pelarut air	Alkaloid, saponin, flavonoid, fenol, steroid, tanin, dan terpenoid	<i>Staphylococcus aureus</i>	Bawang putih segar pada konsentrasi 50% menunjukkan aktivitas antibakteri yang paling signifikan, mampu menghambat <i>Staphylococcus aureus</i> dan dapat berfungsi sebagai bahan disinfektan alternatif	61
Rimpang/ umbi akar <i>Etlingera flexuosa</i> (Kecombrang)	Etanol 95%	Flavonoid, tanin, saponin, terpenoid, dan alkaloid	<i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Escherichia coli</i>	Ekstrak rimpang <i>E. flexuosa</i> memiliki sifat antibakteri yang signifikan terhadap <i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>Escherichia coli</i>	62

BAHASAN

Tumbuhan beraneka ragam yang ada di hutan tropis Indonesia dapat dimanfaatkan sebagai bahan obat tradisional dan mendukung keamanan pangan mulai dari akar, kulit batang, daun, buah, kulit buah dan bahkan biji dari tumbuhan mempunyai manfaat yang sangat besar.⁶³ Sejak 40 tahun lalu diperkirakan lebih dari 80% masyarakat menggunakan tanaman yang banyak mengandung senyawa antibakteri terutama tanaman yang mengandung sentawa metabolit sekunder sebagai bahan obat untuk mengobati penyakit yang disebabkan oleh bakteri dan virus.⁶⁴ Senyawa metabolit sekunder seperti alkaloid, flavonoid, saponin, tanin, steroid dan triterpenoid, merupakan senyawa aktif yang terdapat pada tumbuhan yang memiliki kemampuan sebagai antibakteri.⁶⁵ Temuan pada tinjauan pustaka ini menunjukkan bahwa beberapa bagian tumbuhan seperti daun, kulit, biji, umbi lapis, rimpang dan akar mempunyai senyawa seperti flavonoid, tanin, saponin, terpenoid, dan alkaloid yang sangat mungkin dapat digunakan sebagai bahan alternatif desinfeksi untuk membunuh bakteri patogen pada air.

1. Peluang Ekstrak Tumbuhan sebagai Disinfektan Alternatif pada Air Minum

Senyawa antibakteri yang bersumber dari bagian tumbuhan berasal dari metabolit sekunder pada tumbuhan yang didapatkan melalui proses ekstraksi. Beberapa senyawa metabolit sekunder tersebut antara lain seperti flavonoid, limonoid, kumarin, asam fenolik, terpenoid, lignan, karotenoid, tanin, alkaloid, steroid, kuinon, saponin, asam fenolik, karotenoid, glikosida, polifenol, triterpen, minyak esensial, asam amino, dan polisakarida. proses ekstraksi untuk mendapatkan senyawa metabolit sekunder menggunakan beberapa jenis pelarut. Dari 42 artikel yang kami tinjau, terdapat 20 artikel yang menggunakan etanol sebagai pelarut, 19 artikel menggunakan metanol, 12 artikel menggunakan air sebagai pelarut, 7 menggunakan etil asetat dan heksana, 3 menggunakan kloroform dan 2 artikel menggunakan diklorometana. Beberapa bakteri patogen yang terdapat pada air yang menjadi pengamatan pada penelitian dengan menggunakan bahan alami tumbuhan diantaranya adalah *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella boydii* dan *Salmonella Typhi*. Serta beberapa jenis bakteri patogen lainnya.

Rimpang/umbi akar, *Zingiber officinale* (Jahe) telah lama dikenal memiliki khasiat obat. Senyawa fenolik dan flavonoid adalah antioksidan kuat yang juga memiliki aktivitas antibakteri dengan mengganggu berbagai mekanisme dalam sel bakteri, seperti merusak membran sel, menghambat sintesis protein, dan mengganggu metabolisme energi. Etanol adalah pelarut yang baik untuk mengekstrak senyawa-senyawa polar dan non-polar, sehingga menghasilkan ekstrak yang kaya akan berbagai

metabolit sekunder. Efektivitas ekstrak terhadap berbagai jenis bakteri uji seperti *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, dan *Pseudomonas aeruginosa*, menunjukkan potensi jahe sebagai disinfektan spektrum luas³⁷. Demikian juga umbi akar dari *Allium sativum* (Bawang Putih) terkenal dengan senyawa allicin, yang merupakan senyawa organosulfur dengan aktivitas antibakteri yang kuat. Air sebagai pelarut dapat mengekstrak senyawa-senyawa polar dalam bawang putih. Efektivitas ekstrak air bawang putih terhadap *Staphylococcus aureus* menunjukkan potensinya dalam mengatasi infeksi bakteri Gram-positif⁶¹.

Daun, *Psidium guajava* L. (Jambu Biji) mengandung berbagai senyawa dengan aktivitas antibakteri. Etanol 97% adalah pelarut yang efisien untuk mengekstrak berbagai jenis senyawa. Efektivitas ekstrak terhadap berbagai bakteri patogen menunjukkan potensi jambu biji sebagai disinfektan spektrum luas yang efektif untuk mengatasi berbagai jenis infeksi bakteri dalam air⁴³. Senyawa antibakteri pada ekstrak daun juga terdapat pada *Mangifera indica* (Mangga) dan *Anacardium occidentale* (Jambu Mete), Kombinasi ekstrak dari dua tumbuhan ini menunjukkan potensi sinergis dalam melawan mikroorganisme. Etanol digunakan untuk mengekstrak berbagai senyawa polar dan semi-polar. Fenol dan tanin adalah senyawa yang dikenal memiliki aktivitas antibakteri dengan mekanisme aksi seperti presipitasi protein bakteri dan inaktivasi enzim. Alkaloid juga dapat mengganggu berbagai proses seluler bakteri. Menariknya, penelitian ini juga menguji efektivitas terhadap *Candida albicans*, yang merupakan jamur. Ini menunjukkan potensi ekstrak tumbuhan ini sebagai agen disinfektan spektrum luas yang efektif melawan bakteri dan jamur. Pengembangan disinfektan yang efektif melawan berbagai jenis mikroorganisme sangat penting untuk aplikasi air minum⁴⁸.

Kulit Buah, *Citrus nobilis* (Jeruk Mandarin) Kulit buahnya yang sering dianggap sebagai limbah, ternyata merupakan sumber yang kaya akan senyawa bioaktif. Metanol sebagai pelarut mampu mengekstrak berbagai senyawa polar dan semi-polar dari kulit jeruk. Flavonoid dan limonoid adalah dua kelas metabolit sekunder yang menonjol dalam *Citrus* dan telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri. Flavonoid bekerja dengan mengganggu permeabilitas membran sel bakteri, sedangkan limonoid dapat menghambat sintesis protein bakteri. Kecenderungan efektivitas yang lebih tinggi terhadap bakteri Gram-positif seperti *Staphylococcus aureus* dapat dijelaskan oleh perbedaan struktur dinding sel. Bakteri Gram-positif memiliki dinding sel peptidoglikan yang lebih tebal dan tidak memiliki membran luar, sehingga lebih rentan terhadap penetrasi senyawa antibakteri. Temuan ini mendukung potensi pemanfaatan limbah pertanian sebagai sumber disinfektan alami⁵⁹.

Seluruh tubuh tanaman seperti tanaman *Ruellia tweediana* (kencana ungu), Efektivitas ekstrak *Ruellia tweediana* terhadap berbagai jenis bakteri, baik Gram-positif maupun Gram-negatif, menunjukkan potensi spektrum luasnya. Penggunaan pelarut air dan metanolik memungkinkan ekstraksi berbagai jenis senyawa dengan polaritas yang berbeda. Kehadiran tanin, terpenoid, flavonoid, dan alkaloid, yang semuanya dikenal memiliki aktivitas antibakteri, kemungkinan berkontribusi pada efektivitas ekstrak. Karotenoid dan steroid mungkin juga berperan dalam meningkatkan aktivitas antibakteri atau memiliki efek sinergis dengan senyawa lain. Kemampuan ekstrak untuk menghambat pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa*, bakteri yang dikenal resisten terhadap banyak antibiotik, sangat menarik dan menjanjikan untuk pengembangan disinfektan baru³⁶.

Biji tumbuhan *Mesua ferrea* (Nagasari), bijinya seringkali mengandung konsentrasi tinggi metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan alami dan untuk melindungi embrio yang sedang berkembang. Etanol, sebagai pelarut yang baik untuk berbagai senyawa organik, mampu mengekstrak beragam senyawa dari biji *Mesua ferrea*. Kumarin, xanton, dan pyranoxanones adalah senyawa polisiklik yang diketahui memiliki aktivitas biologis, termasuk antibakteri. Flavonoid dan terpenoid juga merupakan kelompok senyawa yang umum dengan sifat antimikroba. Temuan yang menyoroti efektivitas ekstrak terhadap bakteri resisten obat seperti *Bacillus cereus* sangat signifikan, menunjukkan potensi biji *Mesua ferrea* dalam mengatasi tantangan resistensi antimikroba⁵¹.

Akar, *Echinops kebericho*, pada akanya merupakan salah satu organ penting untuk penyerapan nutrisi dan air, dan seringkali mengandung senyawa pertahanan terhadap mikroorganisme tanah. Penggunaan berbagai pelarut (metanol, etil asetat, dan n-heksana) memungkinkan ekstraksi senyawa dengan polaritas yang berbeda, memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang fitokimia akar *Echinops kebericho*. Ekstrak metanol yang menunjukkan aktivitas antibakteri tertinggi menunjukkan

bahwa senyawa aktifnya cenderung bersifat polar atau semi-polar. Keberadaan berbagai kelas metabolit sekunder, seperti terpenoid, flavonoid, tanin, dan alkaloid, berkontribusi pada efek antibakteri ekstrak²⁵.

Bunga, *Plumeria alba* (Kamboja) pada bunganya menghasilkan senyawa terpenoid, flavonoid, dan fenol yang memiliki aktivitas antibakteri. Metanol adalah pelarut yang baik untuk mengekstrak senyawa-senyawa ini. Efektivitas ekstrak terhadap berbagai jenis bakteri menunjukkan potensi bunga kamboja sebagai disinfektan spektrum luas pada air³⁵.

Ranting, tumbuhan *Salix* pada rantingnya dikenal mengandung polifenolik, terutama salisin dan turunannya, yang memiliki sifat antibakteri dan anti-inflamasi. Kombinasi metanol dan air sebagai pelarut memungkinkan ekstraksi berbagai senyawa polifenolik dengan efisiensi yang baik. Polifenolik bekerja dengan berbagai mekanisme, termasuk mengganggu fungsi membran sel bakteri, menghambat enzim, dan mengganggu sintesis DNA. Efektivitas ekstrak terhadap berbagai bakteri patogen menunjukkan potensi *Salix* sebagai sumber disinfektan spektrum luas²⁴.

2. Ekstrak Bahan Alami Tumbuhan Dengan Zona Hambat Dan Minimum Inhibitor Concentration (Mic)

Dari 29 studi yang di tinjau, ekstrak kulit buah *Citrus nobilis* menunjukkan zona hambat yang sangat tinggi terhadap *Candida albicans*, yaitu 30 mm. Zona hambat yang tinggi ini mengindikasikan efektivitas ekstrak *Citrus nobilis* dalam menghambat pertumbuhan jamur tersebut. Ekstrak *Etilingera flexuosa* juga menunjukkan zona hambat yang tinggi terhadap *Escherichia coli* yaitu 24 mm. Tingginya zona hambat umumnya mengindikasikan senyawa bioaktif dalam ekstrak mampu berdifusi dengan baik pada medium agar dan secara efektif mengganggu metabolisme atau struktur sel mikroorganisme target. Zona hambat terendah tercatat pada ekstrak umbi akar bawang Dayak (*Eleutherine palmifolia*) terhadap *Salmonella* spp. (3,40 mm) dan *Escherichia coli* (4,18 mm). Zona hambat yang rendah mengindikasikan ekstrak kurang efektif dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada kondisi pengujian. Faktor yang mempengaruhi nilai zona penghambatan antara lain adalah Senyawa Aktif: Keberadaan dan konsentrasi senyawa antimikroba seperti flavonoid, fenolik, alkaloid, dan terpenoid dalam ekstrak. Mekanisme Aksi: Cara senyawa tersebut berinteraksi dengan sel mikroba, misalnya dengan merusak membran sel, menghambat sintesis protein, atau mengganggu replikasi DNA. Sifat Fisikokimia Ekstrak: Kelarutan, berat molekul, dan polaritas ekstrak yang mempengaruhi difusi pada medium agar. Sensitivitas Mikroorganisme: Perbedaan sensitivitas antar spesies atau strain mikroorganisme terhadap senyawa antimikroba.

Dari 29 studi yang diamatai, beberapa ekstrak menunjukkan nilai MIC yang tinggi, mengindikasikan bahwa diperlukan konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Contohnya, ekstrak *Eragrostis plana* memiliki MIC 15,3 mg/mL, dan ekstrak *Trifolium baccarinii* menunjukkan nilai MIC hingga 512 mg/mL. *Escherichia coli* dan *Pseudomonas aeruginosa* menunjukkan resistensi, dengan nilai MIC melebihi 1215 µg/mL. Nilai MIC yang tinggi seringkali mengindikasikan resistensi relatif mikroorganisme terhadap senyawa dalam ekstrak atau rendahnya potensi senyawa antimikroba. Nilai MIC terendah menunjukkan efektivitas ekstrak pada konsentrasi yang sangat rendah. Contohnya, ekstrak *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis*, *Erica multiflora*, *Calicotome villosa*, dan *Phillyrea latifolia* memiliki MIC serendah 0,04 mg/mL terhadap *Listeria monocytogenes*, dan ekstrak daun *Mustard* (*Brassica juncea*) dan *Moringa* (*Moringa oleifera*) menunjukkan MIC serendah 0,008 mg/mL. MIC yang rendah menandakan potensi antimikroba yang tinggi dari ekstrak tersebut.

Penentuan zona hambat (zone of inhibition, ZOI) dan nilai konsentrasi penghambat minimal (minimum inhibitory concentration, MIC) merupakan dua parameter esensial dalam evaluasi aktivitas antibakteri suatu senyawa, khususnya dalam pengembangan disinfektan air alternatif. Metode uji zona hambat, yang menggunakan pendekatan disk diffusion, memberikan gambaran awal mengenai potensi antibakteri dengan menampilkan area di sekitar cakram yang diinokulasi senyawa, sehingga memungkinkan penilaian kualitatif terhadap efektivitas senyawa tersebut dalam menghambat pertumbuhan bakteri^{66,67}. Data yang diperoleh dari uji zona hambat dapat diinterpretasikan sebagai indikasi kemampuan senyawa untuk menyebar dan bekerja secara langsung pada medium agar, yang

merupakan aspek penting ketika disinfektan air harus menyentuh permukaan mikroorganisme dalam lingkungan berair⁶⁶. Selanjutnya, pengukuran MIC memberikan data kuantitatif yang sangat penting karena menentukan konsentrasi minimal senyawa yang diperlukan untuk menghambat pertumbuhan bakteri secara signifikan. MIC tidak hanya membantu dalam menentukan dosis optimal untuk aplikasi yang efektif, tetapi juga berperan penting dalam memastikan bahwa konsentrasi senyawa yang digunakan tidak melebihi batas toksisitas bagi manusia dan lingkungan⁶⁶. Dengan mengetahui nilai MIC, peneliti dapat memahami batas ambang aktivitas antibakteri dan mengoptimalkan formulasi disinfektan agar memiliki efektivitas tinggi sekaligus meminimalkan risiko timbulnya resistensi bakteri di lingkungan perairan⁶⁶.

Kombinasi antara uji zona hambat dan penentuan MIC memberikan keuntungan metodologis yang saling melengkapi. Uji disk diffusion memberikan gambaran visual mengenai efektivitas senyawa terhadap bakteri secara langsung, sementara pengukuran MIC secara tepat menentukan konsentrasi efektif pada tingkat mikrobiologis. Sinergi antara kedua metode ini juga membantu dalam memvalidasi hasil melalui pendekatan komplementer, sehingga meningkatkan keandalan data yang diperoleh untuk pengembangan disinfektan air alternatif. Hal ini sangat penting mengingat kualitas dan keamanan penggunaan disinfektan dalam proses pengolahan air harus memenuhi standar yang ketat, terutama dalam pencegahan penyebaran penyakit melalui air⁶⁸. Selain itu, integrasi penggunaan metode MIC dan zona hambat dalam penelitian antibakteri juga mendukung standarisasi protokol pengujian. Standarisasi ini memastikan bahwa data yang dihasilkan dapat direproduksi dengan konsistensi yang tinggi dalam berbagai kondisi laboratorium dan lapangan⁶⁹. Standarisasi tersebut tidak hanya meningkatkan kredibilitas penelitian tetapi juga memberikan dasar ilmiah yang kokoh dalam pengembangan senyawa antibakteri sebagai alternatif disinfektan air, terutama ketika dihadapkan pada tantangan meningkatnya resistensi antibiotik dan kebutuhan akan solusi yang ramah lingkungan⁷⁰. Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai zona hambat dan nilai MIC sangat penting dalam pengembangan dan aplikasi disinfektan air alternatif yang efektif dan aman.

SIMPULAN

Secara singkat dapat disampaikan, ulasan ini menunjukkan bahwa bahan alami tumbuhan yang merupakan senyawa antibakteri seperti flavonoid, tanin, saponin, terpenoid, alkaloid dan steroid sangat berperan penting dalam menghambat bahkan membunuh bakteri patogen seperti *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, dan *Salmonella Typhi*. Jenis bakteri ini merupakan bakteri penyebab masalah kesehatan yang juga selalu ditemukan pada air dan menyebabkan menurunnya kualitas air.

Ekstrak tanaman tidak hanya menawarkan solusi ramah lingkungan tetapi juga mengurangi ketergantungan pada disinfektan kimia yang sering memiliki efek samping berbahaya. Metabolit sekunder pada tumbuhan berperan dalam merusak membran bakteri, menghambat metabolisme sel, dan mengurangi penyebaran kontaminasi mikrobiologis pada air. Bagian-bagian dari tumbuhan seperti daun, biji, akar, kulit buah dan yang lainnya adalah sumber yang kaya akan senyawa antibakteri yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai disinfektan air alternatif. Setiap bagian tumbuhan memiliki keunikan dalam komposisi metabolit sekundernya, yang mempengaruhi spektrum dan mekanisme aktivitas antibakterinya. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan ekstraksi, mengidentifikasi senyawa aktif, dan mengevaluasi keamanan dan efektivitas disinfektan berbasis tumbuhan dalam aplikasi dunia nyata. Meskipun penelitian yang menggunakan bahan alami tumbuhan dalam desinfeksi air masih sangat kurang, tetapi potensi senyawa antibakteri pada tumbuhan dapat memberikan solusi dan harapan yang sangat besar sebagai bahan desinfeksi alternatif yang aman dan ekonomis sebagai pengganti bahan desinfeksi saat ini. Kami menyarankan agar dapat dilakukan studi guna mengamati lebih jauh efektivitas bahan alami tumbuhan sebagai desinfeksi alternatif.

RUJUKAN

1. Dimpor JJ, Lucky OP, Kwarkye DF, et al. Identifying spatiotemporal patterns and drivers of fecal indicator bacteria in an urban lake for water quality assessment and management. *Heliyon*. 2025;11(1):e40955. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e40955
2. Razmi N, Lazouskaya M, Pajcin I, et al. Monitoring the effect of pH on the growth of pathogenic bacteria using electrical impedance spectroscopy. *Results Eng*. 2023;20(July):101425. doi:10.1016/j.rineng.2023.101425
3. Drinking-water. World Health Organization (WHO). Published 2019. Accessed September 1, 2021. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
4. Chandrashekar S, Vijayakumar R, Chelliah R, et al. In Vitro and In Silico Screening and Characterization of Antimicrobial Napin Bioactive Protein in Brassica juncea and Moringa oleifera. *Molecules*. 2021;26(2080):1-20. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules26072080>
5. Tessema B, Gonfa G, Mekuria Hailegiorgis S, Workneh GA, Getachew Tadesse T. Synthesis and evaluation of the anti-bacterial effect of modified silica gel supported silver nanoparticles on E. coli and S. aureus. *Results Chem*. 2024;7(March):101471. doi:10.1016/j.rechem.2024.101471
6. Vital PG, Van Ha NT, Tuyet LTH, Widmer KW. Application of quantitative real-time PCR compared to filtration methods for the enumeration of Escherichia coli in surface waters within Vietnam. *J Water Health*. 2017;15(1):155-162. doi:10.2166/wh.2016.173
7. Herschy RW. Water quality for drinking: WHO guidelines. *Encycl Earth Sci Ser*. Published online 2012:876-883. doi:10.1007/978-1-4020-4410-6_184
8. Widmer K, van Ha NT, Vinitnantharat S, et al. Prevalence of Escherichia coli in surface waters of Southeast Asian cities. *World J Microbiol Biotechnol*. 2013;29(11):2115-2124. doi:10.1007/s11274-013-1376-3
9. Maroneze MM, Zepka LQ, Vieira JG, Queiroz MI, Jacob-Lopes E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Rev Ambient e Agua*. 2021;9(3):445-458. doi:10.4136/1980-993X
10. Reid E, Igou T, Zhao Y, et al. The Minus Approach Can Redefine the Standard of Practice of Drinking Water Treatment. *Environ Sci Technol*. 2023;57(18):7150-7161. doi:10.1021/acs.est.2c09389
11. Domínguez-Tello A, Arias-Borrego A, García-Barrera T, Gómez-Ariza JL. A two-stage predictive model to simultaneous control of trihalomethanes in water treatment plants and distribution systems: adaptability to treatment processes. *Environ Sci Pollut Res*. 2017;24(28):22631-22648. doi:10.1007/s11356-017-9629-6
12. Hossen A, Ahmed F, Saha SS, Mondal MIH. Advantages of ozone disinfection method for water purification over chlorine disinfection. *Nat Resour Conserv Res*. 2023;6(2):2090. doi:10.24294/nrcr.v6i2.2090
13. Collivignarelli MC. Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants. Published online 2018:1-22. doi:10.3390/su10010086
14. Zou H, Tang H. Comparison of different bacteria inactivation by a novel continuous-flow ultrasound/chlorination water treatment system in a pilot scale. *Water (Switzerland)*. 2019;11(2). doi:10.3390/w11020258
15. Al-Issai L, Elshorbagy W, Maraqa MA, Hamouda M, Soliman AM. Use of nanoparticles for the disinfection of desalinated water. *Water (Switzerland)*. 2019;11(3). doi:10.3390/w11030559
16. Nazar ZO, Al-Musawi NOA. Performance application of ultraviolet disinfection technique for raw water. *J Phys Conf Ser*. 2021;1895(1):1-13. doi:10.1088/1742-6596/1895/1/012036
17. Ajiboye TO, Babalola SO, Onwudiwe DC. applied sciences Photocatalytic Inactivation as a Method of Elimination of E. coli from Drinking Water. *Clin Phytoscience*. Published online 2021.
18. Ozores Diez P, Giannakis S, Rodríguez-Chueca J, et al. Enhancing solar disinfection (SODIS) with the photo-Fenton or the Fe²⁺/peroxymonosulfate-activation process in large-scale plastic bottles leads to toxicologically safe drinking water. *Water Res*. 2020;186:116387. doi:10.1016/j.watres.2020.116387
19. Mane MB, Bhandari VM, Balapure K, Ranade V V. A novel hybrid cavitation process for enhancing and altering rate of disinfection by use of natural oils derived from plants. *Ultrason Sonochem*. 2020;61(September 2019):104820. doi:10.1016/j.ultsonch.2019.104820
20. Adeeyo AO, Edokpayi JN, Alabi MA, Msagati TAM, Odiyo JO. Plant active products and emerging interventions in water potabilisation: disinfection and multi-drug resistant pathogen treatment. *Clin Phytoscience*. 2021;7(1). doi:10.1186/s40816-021-00258-4
21. Kadir DH. Statistical evaluation of main extraction parameters in twenty plant extracts for obtaining their optimum total phenolic content and its relation to antioxidant and antibacterial activities. *Food Sci Nutr*. 2021;9(7):3491-3499. doi:10.1002/fsn3.2288
22. Nefzi K, Ben Jemaa M, Baraket M, Dakhlaoui S, Msaada K, Nasr Z. In Vitro Antioxidant, Antibacterial and

- Mechanisms of Action of Ethanolic Extracts of Five Tunisian Plants against Bacteria. *Appl Sci.* 2022;12(10). doi:10.3390/app12105038
23. da Rosa E, Stopiglia CDO, Machado MM, et al. Phytochemistry Profile, Antimicrobial and Antitumor Potential of the Methanolic Extract of *Tabernaemontana catharinensis* A DC and *Eragrostis plana* NEES. *Evidence-Based Complement Altern Med.* 2024;2024:1-12. doi:10.1155/2024/5513141
 24. Mgbeahuruike EE, Salih E, Prévost-Monteiro S, et al. Polyphenol Analysis and Antibacterial Potentials of Twig Extracts of *Salix aurita*, *S. pyrolifolia*, and *S. caprea* Growing Naturally in Finland. *Int J Mol Sci.* 2024;25(22). doi:10.3390/ijms252211978
 25. Endalew SA, Taddese MG, Muhammed M. Evaluation of antioxidant and antibacterial properties of dehydrocostus lactone isolated from *Echinops kebericho* root. *Heal Sci Reports.* 2024;7(3). doi:10.1002/hsr2.1990
 26. Sequeda-Castañeda LG, Castellanos-Gómez MA, Céspedes-Acuña CLA. Bioactive Properties of *Pentacalia vaccinioides* (Kunth) Cuatrec. (Asteraceae) Essential Oils: Evaluation of Antimicrobial and Antioxidant Activities. *Separations.* 2025;12(1):1-24. doi:10.3390/separations12010009
 27. Molokoane TL, Kemboi D, Siwe-Noundou X, Famuyide IM, McGaw LJ, Tembu VJ. Extractives from *Artemisia afra* with Anti-Bacterial and Anti-Fungal Properties. *Plants.* 2023;12(19):1-16. doi:10.3390/plants12193369
 28. Tiwana G, Cock IE. and Enhanced Antibiotic Combinatorial Strategies. Published online 2024.
 29. Tsamo DLF, Tamokou JDD, Kengne IC, et al. Antimicrobial and Antioxidant Secondary Metabolites from *Trifolium baccarinii* Chiov. (Fabaceae) and Their Mechanisms of Antibacterial Action. *Biomed Res Int.* 2021;2021. doi:10.1155/2021/3099428
 30. Nortjie E, Basitere M, Moyo D, Nyamukamba P. Assessing the Efficiency of Antimicrobial Plant Extracts from *Artemisia afra* and *Eucalyptus globulus* as Coatings for Textiles. *Plants.* 2024;13(4). doi:10.3390/plants13040514
 31. Ben Hsouna A, Michalak M, Ben Akacha B, et al. Assessment of the phytochemical composition, antimicrobial activity and anti-inflammatory effects of *Lobularia maritima* extracts on lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 cells and their capacity to extend the shelf life of raw minced beef. *J Funct Foods.* 2022;99(August):105327. doi:10.1016/j.jff.2022.105327
 32. Salim A, Deiana P, Fancello F, Molinu MG, Santana M, Zara S. Antimicrobial and antibiofilm activities of pomegranate peel phenolic compounds: Varietal screening through a multivariate approach. *J Bioresour Bioprod.* 2023;8(2):146-161. doi:10.1016/j.jobab.2023.01.006
 33. Ogunniran AO, Dauda OS, Rotimi D, Jegede FC, Falodun DJ, Adekunle PO. Nutritional, phytochemical, and antimicrobial properties of *Senna siamea* leaves. *Toxicol Reports.* 2024;13(October):101793. doi:10.1016/j.toxrep.2024.101793
 34. Salman HA, Yaakop AS, Al-Mustafa A, et al. The dual impact of Jordanian *Ephedra alata* for inhibiting pepsin and treating microbial infections. *Saudi J Biol Sci.* 2021;28(11):6245-6253. doi:10.1016/j.sjbs.2021.06.090
 35. F. H. Ferdosi M, Kaleem Naseem M, Afzal A, Haider Khan I, Javaid A. Potential antimicrobial compounds in flower extract of *Plumeria alba*. *Arab J Chem.* 2023;16(6):104719. doi:10.1016/j.arabjc.2023.104719
 36. Kanwal S, Ahmad S, Yasmin Begum M, et al. Chemical Profiling, in-vitro biological evaluation and molecular docking studies of *Ruellia tweediana*: An unexplored plant. *Saudi Pharm J.* 2024;32(2):101939. doi:10.1016/j.jsps.2023.101939
 37. Alfuraydi AA, Aziz IM, Almajhdi FN. Assessment of antioxidant, anticancer, and antibacterial activities of the rhizome of ginger (*Zingiber officinale*). *J King Saud Univ - Sci.* 2024;36(3):103112. doi:10.1016/j.jksus.2024.103112
 38. Tahmasebi A, Karami A, Hosseini SM, Afsharifar A, Moghadam A, Biniiaz Y. Cytotoxic and antimicrobial activities of *Rydingia michauxii* methanolic extracts during various growth stages. *Clean Eng Technol.* 2021;4:100225. doi:10.1016/j.clet.2021.100225
 39. Aslam J, Imran Shahzad M, Muhammad Ali H, et al. A multidirectional phytochemical profiling, antimicrobial, antioxidant and toxicity studies of *Neurada procumbens* L.: A desert medicinal plant. *J King Saud Univ - Sci.* 2023;35(8):102862. doi:10.1016/j.jksus.2023.102862
 40. Naidoo CM, Naidoo Y, Dewir YH, Singh M, Lin J. Phytochemical composition and antibacterial evaluation of *Tabernaemontana ventricosa* Hochst. ex A. DC. leaf, stem, and latex extracts. *South African J Bot.* 2023;152:147-164. doi:10.1016/j.sajb.2022.11.026
 41. Joshi S, Bhattarai K, Raj A, Bhattarai J, Amatya S, Baral B. Pharmacological Research - Natural Products Validation of ethnopharmacological findings of *Aegle marmelos* (L .) Correa through phytochemical screening and bioactivity assay. *Pharmacol Res - Nat Prod.* 2024;5(October):100114. doi:10.1016/j.prenap.2024.100114

42. Lebeloane MM, Famuyide IM, Dzoyem JP, et al. Influence of selected plant extracts on bacterial motility, aggregation, hydrophobicity, exopolysaccharide production and quorum sensing during biofilm formation of enterohaemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7. *South African J Bot.* 2024;167:197-208. doi:10.1016/j.sajb.2024.02.022
43. Sultana N, Ruhul-Amin M, Hasan I, Kabir SR, Asaduzzaman AKM. Antibacterial, antioxidant, and anticancer effects of green synthesized silver/silver chloride nanoparticles using *Spondias pinnata* bark extract. *Food Chem Adv.* 2024;4(November 2023):100709. doi:10.1016/j.focha.2024.100709
44. Tienaho J, Liimatainen J, Myllymäki L, et al. Pilot scale hydrodynamic cavitation and hot-water extraction of Norway spruce bark yield antimicrobial and polyphenol-rich fractions. *Sep Purif Technol.* 2024;360(September 2024):130925. doi:10.1016/j.seppur.2024.130925
45. Dejene A, Feyisa Bogale R, Yadeta L, Mohammed Gendo K, Kenasa G, Lealem Berhanu A. Biogenic synthesis of copper oxide nanoparticles using *Clausena anisata* leaf and *Euphorbia abyssinica* bark extracts and its comparative study of antibacterial activities. *Results Chem.* 2024;8(May):101569. doi:10.1016/j.rechem.2024.101569
46. Alyasiri T, Hassan AA, Adil H, et al. The antibacterial and antioxidant activities of combined *Equisetum arvense* extract with TiO₂ nanoparticles in PMAA films. *Results Chem.* 2024;11(September):101829. doi:10.1016/j.rechem.2024.101829
47. Yun S, Bai J. Synergistic antimicrobial effects of *Dryopteris erythrosora* extract and mild heat treatment against *Staphylococcus aureus*. *Lwt.* 2023;173(September 2022):114260. doi:10.1016/j.lwt.2022.114260
48. Chodankar RN, Patil R, Hogade SA, Patil AG, Acharya A. Evaluation of *Mangifera indica*, *Anacardium occidentale* leaf extracts and 0.2% Chlorhexidine gluconate on disinfection of maxillofacial silicone material surface contaminated with microorganisms - An invitro study. *J Oral Biol Craniofacial Res.* 2024;14(3):301-306. doi:10.1016/j.jobcr.2024.03.014
49. Sonphakdi T, Tani A, Payaka A, Ungcharoenwiwat P. Antibacterial and toxicity studies of phytochemicals from *Piper betle* leaf extract. *J King Saud Univ - Sci.* 2024;36(10):103430. doi:10.1016/j.jksus.2024.103430
50. Djappa CET, Onana fils M, Tamsa Arfao A, et al. Cultivability of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* in the presence of hydroethanolic extracts of *Lantana camara* stems and leaves: Importance of bioactive compounds in the cellular inhibition process. *Sci African.* 2024;26(September). doi:10.1016/j.sciaf.2024.e02373
51. Chakraborty D, Arefin P, Bhattacharjee SC, et al. Biological activity of *Mesua ferrea* (Nageswar) seed extracts: An in vitro and in silico study. *Informatics Med Unlocked.* 2023;36:101166. doi:https://doi.org/10.1016/j.imu.2023.101166
52. Oncho DA, Ejigu MC, Urgessa OE. Phytochemical constituent and antimicrobial properties of guava extracts of east Hararghe of Oromia, Ethiopia. *Clin Phytoscience.* 2021;7(1). doi:10.1186/s40816-021-00268-2
53. Magnini RD, Nitiéma M, Ouédraogo GG, et al. Toxicity and bacterial anti-motility activities of the hydroethanolic extract of *Acacia senegal* (L.) Willd (Fabaceae) leaves. *BMC Complement Med Ther.* 2021;21(1):1-13. doi:10.1186/s12906-021-03348-5
54. Firdausni, Novelina, Putra DP. The activity of holy basil leaves (*Ocimum sanctum*, L) to microbia food born disease (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*). *J Phys Conf Ser.* 2021;1940(1):012057. doi:10.1088/1742-6596/1940/1/012057
55. Infante N, Rodríguez R, Bartolo Y, et al. Biofunctionalization of Cork with *Moringa oleifera* Seeds and Use of PMA Staining and qPCR to Detect Viability of *Escherichia coli*. *Water.* 2021;13(19):2731. doi:https://doi.org/10.3390/w13192731
56. Alsalih Al-Bakri SA, Abed EH, Mohammed MTA, Ajeel EA. Improvement of the Ethanol activity by using leaves extract of *Artemisia herb alba* against *Pseudomonas aeruginosa*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2021;779(1):1-8. doi:10.1088/1755-1315/779/1/012026
57. Okla MK, Alatar AA, Al-Amri SS, Soufan WH, Ahmad A, Abdel-Maksoud MA. Article antibacterial and antifungal activity of the extracts of different parts of *avicennia marina* (Forssk.) vierh. *Plants.* 2021;10(2):1-13. doi:10.3390/plants10020252
58. Hidayah R, Purwanti S, Jamilah J. Anti-bacterial activity of Dayak onions extract (*Eleutherine palmifolia*) against *Salmonella* spp and *Escherichia coli*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2021;788(1):1-7. doi:10.1088/1755-1315/788/1/012069
59. Malik A, Najda A, Bains A, Nurzyńska-Wierdak R, Chawla P. Characterization of citrus nobilis peel methanolic extract for antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activity. *Molecules.* 2021;26(14). doi:10.3390/molecules26144310
60. Feng C, Wei T, Qing S, Han F, Tao X. Application of tea polyphenols and their effects on ultrafiltration effluent disinfection and microbial risk. *Water (Switzerland).* 2021;13(18):1-14. doi:10.3390/w13182559

61. Yunus FT, Suwondo A, Martini. Phytochemical Compound of Garlic (*Allium sativum*) as an Antibacterial to *Staphylococcus aureus* Growth. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 2021;1053(1):012041. doi:10.1088/1757-899x/1053/1/012041
62. Pitopang R, Udayana RADS, Pratiwi AD, Ananda M, Harso W, Ramawangsa PA. Antibacterial activities of *Etilingera flexuosa* AD Poulsen (Zingiberaceae) from Central Sulawesi on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2021;743(1):1-9. doi:10.1088/1755-1315/743/1/012065
63. Abdul Rasyid Zarta, et al. 2019. Aktifitas Anti Bakteri Beberapa Tumbuhan Obat Hutan Etnis Kutai Terhadap *Streptococcus mutans* dan *Escherichia coli*. *Bul LOUPE.* 2019;15 No. 01.
64. Suhartati T, Wulandari Z, Wulandari M, Yandri, Hadi S. Identification and antibacterial activity of flavonoid compounds from wood branches of the pudau plant (*Artocarpus kemando* Miq.). *J Phys Conf Ser.* 2021;1751(1). doi:10.1088/1742-6596/1751/1/012095
65. Fitriah F, Mappiratu M, Prismawiryanti P. Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Tanaman Johar (*Cassia Siamea* Lamk.) Dari Beberapa Tingkat Kepolaran Pelarut. *Kovalen.* 2017;3(3):242. doi:10.22487/j24775398.2017.v3.i3.9333
66. Vahedi MM, Asghari S, Tajbakhsh M, Mohseni M. Preparation of Some New Pyrazolo[1,5-*a*]pyrimidines and Evaluation of Their Antioxidant, Antibacterial (MIC and ZOI) Activities, and Cytotoxic Effect on McF-7 Cell Lines. *Chem Biodivers.* 2023;20(10). doi:10.1002/cbdv.202301146
67. Olawale E, Steve K, Sunday AA, David I. Genomic Investigation on the Antimicrobial Activities and Toxicological Studies of *Andrographis Paniculata* (Vinegar) Leaf and Stem on Ed Human Pathogens. *Int Res J Mod Eng Technol Sci.* Published online 2023. doi:10.56726/irjmets43735
68. Nișca A, Ștefănescu R, Stegăruș DI, Mare AD, Farczádi L, Tanase C. Phytochemical Profile and Biological Effects of Spruce (*Picea Abies*) Bark Subjected to Ultrasound Assisted and Microwave-Assisted Extractions. *Plants.* 2021;10(5):870. doi:10.3390/plants10050870
69. McLeod SM, Carter N, Huband MD, Traczewski MM, Bradford PA, Miller AA. Sulbactam-Durlobactam Susceptibility Test Method Development and Quality Control Ranges for MIC and Disk Diffusion Tests. *J Clin Microbiol.* 2024;62(1). doi:10.1128/jcm.01228-23
70. Ahmad R. *Krisis Air Bersih: Ancaman Terhadap Kesehatan Masyarakat.* Padang: CV Luminary Press Indonesia; 2025. ISBN: 978-623-89952-3-3. <https://www.luminarypress.id/product/krisis-air-bersih-ancaman-terhadap-kesehatan-masyarakat/>