

SKRIPSI

**ANALISIS RISIKO MIKROBIAL SECARA KUANTITATIF
PADA BAKTERI PATOGEN AIR MINUM TERHADAP
KESEHATAN MASYARAKAT KEPULAUAN
BARRANG CADDI**

DEWI RAHMAWATI

K011181037



*Skripsi Ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat*

**DEPARTEMEN KESEHATAN LINGKUNGAN
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS RISIKO MIKROBIAL SECARA KUANTITATIF PADA BAKTERI
PATOGEN AIR MINUM TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT
KEPULAUAN BARRANG CADDI**

Disusun dan diajukan oleh

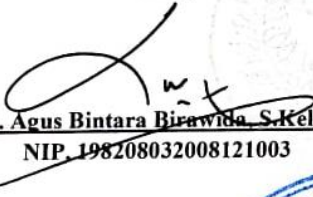
**DEWI RAHMAWATI
K011181037**


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kesehatan Masyarakat
Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin
pada tanggal 15 Agustus 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes
NIP. 198208032008121003


Dr. Svanusuar, SKM., M.Kes., M.Sc.PH
NIP. 197909112005011001

Ketua Program Studi,



Dr. Suriah, SKM., M.Kes
NIP. 197405202002122001

PENGESAHAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah di pertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar pada hari Kamis Tanggal 11 Agustus 2022.

Ketua : Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes (.....)

Sekretaris : Dr. Syamsuar, SKM., M.Kes., M.Sc.PH (.....)

Anggota :

1. Muh. Fajaruddin Natsir, SKM., M.Kes (.....)

2. A. Muflihah Darwis, SKM., M.Kes (.....)

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dewi Rahmawati
NIM : K011181037
Fakultas : Kesehatan Masyarakat
No. Hp : 082290579946
E-mail : rahmawatidewi382@gmail.com

Dengan ini menyatakan bahwa judul skripsi **“ANALISIS RISIKO MIKROBIAL SECARA KUANTITATIF PADA BAKTERI PATOGEN AIR MINUM TERHADAP KESEHATAN MASYARAKAT KEPULAUAN BARRANG CADDI”** benar bebas dari plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 18 Agustus 2022
Yang membuat pernyataan



Dewi Rahmawati

RINGKASAN

Universitas Hasanuddin
Fakultas Kesehatan Masyarakat
Kesehatan Lingkungan

Dewi Rahmawati

“Analisis Risiko Mikrobial Secara Kuantitatif pada Bakteri Patogen Air Minum Terhadap Kesehatan Masyarakat Kepulauan Barrang Caddi”

(xvii + 100 Halaman + 11 Tabel + 4 Gambar + 12 Lampiran)

Pulau Barrang Caddi merupakan pulau kecil dengan luas wilayah 4 ha dengan penduduk yang padat berjumlah 1532 orang. Timbulnya penyakit akibat buruknya kualitas air dan sanitasi dipulau mengakibatkan munculnya bakteri dalam air, sehingga diperlukannya penilaian risiko kesehatan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat risiko terjadinya gangguan kesehatan yang disebabkan oleh keberadaan bakteri patogen dalam air minum pada masyarakat kepulauan Barrang Caddi dengan menggunakan pendekatan *Quantitative Microbial Risk Assessment* (QMRA).

Jenis penelitian ini adalah observasi dan wawancara dengan pendekatan studi Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL). Sampel pada penelitian ini adalah sebanyak 6 sampel air minum diambil secara *total sampling* pada pagi hari dan 200 orang diambil secara *purposive sampling*. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara menggunakan kuesioner, observasi serta pemeriksaan laboratorium. Data yang didapatkan dianalisis menggunakan SPSS lalu dilakukan perhitungan kemungkinan risiko dalam pendekatan QMRA.

Hasil pengukuran Konsentrasi bakteri *Coliform* pada air minum di Pulau Barrang Caddi, menunjukkan bahwa dari 6 sampel terdapat 4 sampel yang memenuhi syarat dan 2 sampel yang tidak memenuhi syarat. Untuk Suhu dan pH pada air minum tersebut memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan. 6 sampel air minum yang diteliti, 4 diantaranya dinyatakan mengandung bakteri patogen yaitu bakteri *Eschericia Coli*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Enterobacter sp* dan *Citrobacter*. Bakteri patogen ditemukan pada 4 sampel tersebut memiliki nilai P_{inf} tertinggi ditemukan pada sampel A5 dan A6 dengan nilai risiko yang sama yaitu sebesar $5,83 \times 10^{-4}$.

Perlunya dilakukan pemerhatian yang lebih terhadap pengolahan air minum dan melakukan perawatan instalasi pengolahan air secara rutin khususnya bagi masyarakat pesisir dan pulau-pulau kecil. Serta masyarakat harus lebih memperhatikan tempat penyimpanan air minum dan selalu menjaga kebersihan sanitasi lingkungan sekitarnya.

Kata Kunci : QMRA, Bakteri, Air Minum, Pulau Barrang Caddi

Daftar Pustaka : 80 (2010-2022)

SUMMARY

*Hasanuddin University
Faculty of Public Health
Environmental Health*

Dewi Rahmawati

“Quantitative Analysis of Microbial Risk on Pathogenic Bacteria in Drinking Water on Public Health in the Barrang Caddi Islands”

(xvii + 100 Pages + 11 Tables + 4 Figures + 12 Appendix)

Barrang Caddi Island is a small island with an area of 4 ha with a dense population of 1532 people. The emergence of diseases due to poor water quality and sanitation on the island results in the emergence of bacteria in the water, so it is necessary to assess environmental health risks. This study aims to determine the level of risk of health problems caused by the presence of pathogenic bacteria in drinking water in the people of the Barrang Caddi Islands by using a Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) approach.

The type of this research is observation and interview with Environmental Health Risk Analysis (ARKL) study approach. The samples in this study were 6 samples of drinking water taken by total sampling in the morning and 200 people were taken by purposive sampling. Data was collected by interview using a questionnaire, observation and laboratory examination. The data obtained were analyzed using SPSS and then calculated the possibility of risk in the QMRA approach.

*The results of the measurement of the concentration of Coliform bacteria in drinking water on Barrang Caddi Island, showed that from 6 samples there were 4 samples that met the requirements and 2 samples that did not meet the requirements. The temperature and pH of the drinking water meet the quality standards that have been set. Of the 6 drinking water samples studied, 4 of them were stated to contain pathogenic bacteria, namely *Eschericia Coli*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Enterobacter sp* and *Citrobacter*. Pathogenic bacteria found in these 4 samples had the highest Pinf value found in samples A5 and A6 with the same risk value of 5.83×10^{-4} .*

It is necessary to pay more attention to drinking water treatment and to carry out routine maintenance of water treatment installations, especially for coastal communities and small islands. And the community should pay more attention to drinking water storage areas and always maintain the cleanliness and sanitation of the surrounding environment.

Keywords: QMRA, Bacteria, Drinking Water, Barrang Caddi Island

Bibliography: 80 (2010-2022)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji dan rasa syukur yang tiada hentinya penulis panjatkan kepada *Rabb* dan *Ilah* manusia seluruh alam atas nikmat yang selalu dikaruniakan-Nya kepada hamba-Nya. *Shalawat* dan salam tercurah kepada sebaik-baik teladan bagi manusia, Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah menunjukkan jalan yang lurus bagi manusia melalui Al-Qur'an dan juga sunnah-sunnah-Nya. Serta kepada keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang telah setia pendampinginya beliau dalam memperjuangkan kebenaran di muka bumi ini. Berkat limpahan rahmat-Nya kepada saya sehingga dapat menyelesaikan hasil penelitian skripsi ini dengan judul **“Analisis Risiko Mikrobial Secara Kuantitatif Pada Bakteri Patogen Air Minum Terhadap Kesehatan Masyarakat Kepulauan Barrang Caddi”** sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Sarjana (S1) di Jurusan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Hasanuddin.

Skripsi ini tidak lepas dari doa dan peran orang-orang istimewa bagi penulis, sehingga izinkan penulis untuk menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada orang tua tercinta, Ibunda **Rohana** dan Ayahanda **Drs. La Ramidi** yang telah membesarkan, mendidik, membimbing dan senantiasa berjuang menyekolahkan penulis hingga pada titik ini, semangat, nasihat, kasih sayang, doa dan restu yang selalu mengiringi tiap langkah penulis. Kedua orang tua yang menjadi salah satu alasan kuat untuk penulis tidak menyerah

sehingga bisa berada di titik ini, serta kepada saudara-saudaraku tersayang kakak **M. Fatharuddin Rahman** dan adik **Adhy Wahyudi Rahman** yang memberi semangat, dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan segala doa dan jasa yang tidak bisa terbalaskan oleh apapun, dan juga yang selalu menjadi sumber motivasi kuat bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Melalui kesempatan ini pula, penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya.
2. Bapak Prof. Sukri Palutturi S.KM.,M.Kes.,Msc.,PH.,PhD selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin atas izin penelitian yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Stang, M.Kes selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama penulis menyelesaikan studi di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Agus Bintara Birawida, S.Kel., M.Kes selaku Pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, serta memberikan masukan dan memotivasi penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Syamsuar M, S.KM., M.Kes., M.ScPH selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, serta memberikan masukan dan memotivasi penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Muh. Fajaruddin Natsir, S.KM., M.Kes dan Ibu A. Muflihah Darwis, S.KM., M.Kes selaku penguji yang telah memberikan kritikan yang bersifat

membangun masukan yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan penulisan skripsi ini.

7. Seluruh dosen dan staf di Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin yang telah memberi ilmu dan membantu proses belajar mengajar di FKM Unhas.
8. Kepala Lurah kelurahan Barrang Caddi yang telah memberikan ilmu, masukan serta tempat tinggal kepada penulis selama penelitian disana.
9. Kepada seluruh warga Kepulauan Barrang Caddi yang telah membantu berpartisipasi banyak selama penulis melakukan penelitian disana.
10. Kepada seluruh pegawai KKP Kelas 1 Makassar sektor Pelabuhan dan Bandara Soekarno Hatta yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu selama kegiatan magang penulis disana.
11. Kakak-kakak di LD-AI-A'fiah FKM UNHAS yang telah banyak membantu penulis serta selalu memberikan dukungan kepada penulis
12. Teman-teman seperjuangan VENOM 2018 yang telah kebersamai selama peneliti berproses di tubuh KM FKM Unhas.
13. Saudari saya Siti Nurhalisa (Nunu) yang telah banyak membantu dalam semua proses, dan sebagai *support system* terbaik dalam menyelesaikan skripsi.
14. Sahabat Squad, yaitu Nunu, Mila, Nining, Siska, Sry, Tiara, yang selalu memberi dukungan serta semangat satu sama lain dalam menyelesaikan skripsi.
15. Teman-teman seperjuangan KESLING 2018 yang selalu memberi dukungan serta semangat satu sama lain dalam menyelesaikan skripsi.

16. Teman-teman seperjuangan Kesmas Angkatan 2018 atas semangat yang selalu diberikan dan selalu kebersamai selama berjuang bersama mengikuti proses ini sampai titik akhir perjuangan di FKM Unhas.
17. Teman-teman PBL POSKO 22 Kelurahan Losari dan teman-teman KKN Profesi Gel 60 Desa Kalimporo yang telah memberikan cerita dan pengalaman berharga bersama yang tidak dapat penulis lupakan.
18. Teman-teman KOPMA UNHAS yang selalu memberi dukungan serta semangat satu sama lain dalam menyelesaikan skripsi.
19. Teman-teman seperjuangan Jogugu La Arafani angkatan 2017 yang selalu memberi dukungan satu sama lain dalam menyelesaikan skripsi.
20. Petugas Laboratorium Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKLPP) yang telah membantu dalam pemeriksaan sampel penelitian.
21. Keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan sehingga membuat penulis untuk segera mungkin menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
22. Terima kasih untuk diri sendiri yang telah kuat, sabar dan bertahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
23. Terima kasih kepada semua pihak yang tidak bisa disebut satu-persatu namun dukungannya telah membuat penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan serta kekeliruan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, besar harapan penulis agar

dapat diberikan kritik dan saran yang membangun dari segala pihak agar skripsi ini berguna dalam ilmu pendidikan dan penerapannya. Akhir kata, mohon maaf yang sebesar-besarnya atas segala kekurangan penulis, Sesungguhnya kesempurnaan hanya milik Allah SWT dan kekurangan ada pada penulis skripsi ini. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	11
C. Tujuan Penelitian	11
D. Manfaat Penelitian	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Tinjauan Umum Tentang Pulau-Pulau Kecil.....	13
B. Tinjauan Umum Tentang Air Minum	15
C. Tinjauan Umum Tentang Kualitas Air.....	17
D. Tinjauan Umum Tentang Bakteri Patogen.....	19
E. Tinjauan Umum Tentang Media Pertumbuhan Bakteri.....	23
F. Tinjauan Umum Tentang <i>Quantitative Microbiological Risk Assessment</i> (QMRA)	26
G. Kerangka teori.....	31
BAB III KERANGKA TEORI	34
A. Dasar Pemikiran Variabel Penelitian	34
B. Kerangka Konsep Penelitian	35

C. Definisi Operasional dan Kriteria Objektif	37
BAB IV METODE PENELITIAN	40
A. Jenis Penelitian.....	40
B. Waktu dan Tempat Penelitian	43
C. Populasi dan Sampel Penelitian	43
D. Pengambilan Sampel.....	45
E. Alat dan Media Pemeriksaan Sampel	45
F. Prosedur Penelitian.....	46
G. Pengumpulan Data	50
H. Instrumen Penelitian.....	51
I. Pengolahan dan Analisis Data.....	52
J. Penyajian Data	53
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian	55
B. Hasil Penelitian.....	56
C. Pembahasan	72
D. Keterbatasan Penelitian	96
BAB VI PENUTUP	97
A. Kesimpulan.....	97
B. Saran.....	98
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Definisi Operasional dan Kriteria Objektif	37
Tabel 5.1	Distribusi Frekuensi Karakteristik Umum Responden.....	58
Tabel 5.2	Distribusi Frekuensi Responden Berdasarkan Sumber Air Bersih dan Pengolahan Air Minum	62
Tabel 5.3	Distribusi Frekuensi Berdasarkan Kandungan Mikrobiologi.....	63
Tabel 5.4	Distribusi Frekuensi Berdasarkan Hasil Pengukuran Konsentrasi <i>Coliform</i>	64
Tabel 5.5	Distribusi Frekuensi Berdasarkan Suhu dan pH	64
Tabel 5.6	Distribusi Frekuensi Keberadaan Bakteri Patogen Berdasarkan Gram Bakteri.....	65
Tabel 5.7	Distribusi Kualitas Air Minum.....	67
Tabel 5.8	Distribusi Probabilitas Dosis/Jumlah Bakteri yang Tertelan.....	68
Tabel 5.9	Hubungan Probabilitas Infeksi (P_{inf}) dan Probabilitas Infeksi Tahunan ($P_{inf/year}$).....	70
Tabel 5.10	Distribusi Probabilitas Risiko Kesakitan.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Konsep QMRA.....	27
Gambar 2.2 Kerangka Teori	31
Gambar 3.1 Kerangka Konsep Penelitian.....	34
Gambar 5.1 Peta Pengambilan Sampel Air Minum Pulau Barrang Caddi	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kuesioner Penelitian

Lampiran 2. Dokumentasi Kegiatan Penelitian

Lampiran 3. Surat Izin Permintaan Data Awal

Lampiran 4. Lembar Perbaikan Proposal

Lampiran 5. Surat Izin Penelitian dari Kampus

Lampiran 6. Surat Izin Penelitian dari PTSP

Lampiran 7. Surat Izin Penelitian Kepada Camat Kepulauan Sangkarrang

Lampiran 8. Surat Izin Penelitian Kepada Lurah Kelurahan Barrang Caddi

Lampiran 9. Hasil Uji Laboratorium Sampel

Lampiran 10. Master Tabel

Lampiran 11. Hasil Perhitungan QMRA

Lampiran 12. Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR ISTILAH

ARKL	= Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan
QMRA	= <i>Quantitative Microbiological Risk Assessment</i>
RQ	= <i>Risk Quotient</i>
RfD	= Reference Dose
RfC	= <i>Reference Concentration</i>
US EPA	= <i>United States Enviromental Protection Agency</i>
WHO	= <i>Word Health Organization</i>

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Negara yang dikenal sebagai negara kepulauan salah satunya yaitu Indonesia, dimana jumlah pulau besar dan pulau kecilnya lebih dari 17.504 pulau serta panjang garis pantai lebih dari 81.000 km, ini menjadikan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang sangat besar. Sumber daya alam yang di miliki oleh wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil tersebut mempunyai arti penting bagi pembangunan ekonomi bangsa Indonesia. Indonesia mempunyai banyak potensi salah satunya seperti potensi laut, dimana sejak berlakunya undang-undang Nomor 5 Tahun 1983 tentang Kawasan Ekonomi Eksklusif Indonesia mengklaim bahwa wilayah lautnya selebar 200 mil. Hal tersebut menambah area Perairan Indonesia menjadi 2,7 juta km² (Utami et al., 2018).

Masyarakat yang hidup di pulau-pulau kecil, kehidupan sehari-hari mereka terpapar dengan risiko kesehatan termasuk kurangnya ketersediaan air bersih dan berkualitas untuk diminum, terbatasnya ketersediaan pangan yang bergizi serta terbatasnya pelayanan kesehatan dari sektor publik, khususnya di selama musim badai. Kondisi perumahan yang padat dan tidak memenuhi syarat kesehatan, dapat mudah terinfeksi vektor dan agen penyakit, dan meningkatkan kebutuhan akan kesehatan (Massie, 2013).

Air adalah zat penting yang dibutuhkan oleh semua makhluk hidup termasuk mikroorganisme, tanaman, hewan dan manusia. Air bersih merupakan salah satu kebutuhan yang berperan penting dalam kehidupan sehari-hari manusia mulai dari minum, mandi, memasak, mencuci, serta lain sebagainya. Air bersih juga menjadi sumber daya alam yang mempunyai peran sangat penting salah satunya dikategorikan sebagai barang publik, dimana keberadaan air ini berada dibawah campur tangan pemerintah. Tujuannya supaya dapat diperoleh lokasi serta pendistribusi yang optimal demi efisiensi dan keadilan (Zulhilmi et al., 2019).

Bertambahnya jumlah penduduk suatu wilayah dan berkembangnya pembangunan, maka kebutuhan air bersih pada wilayah tersebut juga akan mengalami peningkatan, sehingga ketersediaan air bersih pun semakin tidak memadai (La Harimu et al., 2019). Badan organisasi PBB yang menangani perkembangan kesejahteraan anak-anak di seluruh dunia atau *United Nations Children's fund* (UNICEF) mengatakan bahwa ketersediaan air merupakan masalah global yang sangat mendesak disamping permasalahan akses sanitasi. Ketersediaan air ini tentunya sangat penting dan akan berpengaruh pada pembangunan hingga pengurangan jumlah kematian anak. Tahun 2020 ditemukan bahwa sekitar 748 juta orang di seluruh dunia tidak memiliki akses untuk air minum yang lebih baik. UNICEF juga menyebutkan bahwa lebih dari 2 miliar orang di dunia memiliki risiko hidup tanpa akses ke sumber daya air yang tawar, bahkan ia memperkirakan di tahun 2050 nanti, setiap satu dari

empat orang di dunia akan tinggal di negara yang memiliki permasalahan krisis air bersih. (Auliya ANN et al., 2020).

Berdasarkan data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia melalui Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan terkait adanya hubungan signifikan antara penambahan jumlah penduduk di Indonesia dengan perubahan indeks kualitas air tahun 2013 - 2017. Pertambahan jumlah penduduk ternyata memberikan kontribusi negatif terhadap indeks kualitas air. Pada tahun 2013 didapatkan jumlah penduduk Indonesia mencapai 248.818.100 jiwa serta pada tahun 2017 jumlah penduduk Indonesia mencapai angka 261.890.900 jiwa. Hal ini menunjukkan adanya kenaikan jumlah penduduk sebesar 1,23. Adapun indeks kualitas air terburuk terjadi pada tahun 2016 dan 2017 dengan skor sebesar 60,38% dan 58,68. (Kustanto A et al.,2020).

Permasalahan air minum yang terbatas tidak hanya terjadi di kota-kota besar, melainkan di pulau-pulau kecil juga mengalaminya. Pulau kecil ditandai dengan padatnya populasi penduduk, tingkat pertumbuhan penduduk yang tinggi, jumlah wisatawan tinggi, kurangnya anggaran pada lembaga pemerintahan, perencanaan pulau yang buruk, terbatasnya area untuk pengolahan limbah padat dan cair, rendahnya tingkat pelatihan, dan lingkungan yang rapuh. Kondisi kesehatan lingkungan yang masih perlu dibenahi dikarenakan sanitasi yang rendah, ketersediaan air bersih yang terbatas, pengelolaan limbah yang kurang, serta rumah penduduk yang tidak layak huni. Salah satu pulau kecil di Kota Makassar yang mengalami permasalahan air

minum adalah Pulau Barrang Caddi (Anwar et al., n.d.).

Berdasarkan Laporan Profil Kelurahan Pulau Barrang Caddi Tahun 2020, Pulau Barrang Caddi merupakan salah satu pulau yang termasuk gugus Pulau Spermonde dan berada dalam wilayah administrasi Kelurahan Barrang Caddi Kecamatan Ujung Tanah Kota Makassar. Pulau Barrang Caddi berdekatan dengan Pulau Barrang Lompo yang dapat ditempuh dalam waktu \pm 5 menit dari Pulau Barrang Lompo menggunakan perahu motor. Pulau Barrang Caddi memiliki luas wilayah 4 ha dengan jarak 11 km dari kota Makassar dan merupakan pulau yang padat penduduknya yang berjumlah 1532 orang. Sistem administrasi pemerintahan Kelurahan Barrang Caddi dibagi menjadi 2 Rukun Warga (RW) dan 11 Rukun Tetangga (RT). Penduduk yang dikategorikan padat ini masih mengalami masalah keterbatasan air bersih terutama air minum yang layak di konsumsi.

Keterbatasan air bersih ini membuat masyarakat pulau lebih memilih mengkonsumsi air minum siap pakai dalam bentuk kemasan ataupun air isi ulang. Pelayanan air minum pada saat ini melalui sistem Perpipaan Air Minum (PAM), Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) maupun air dari Depot Air Minum Isi Ulang (DAMIU) yang menjadi kebutuhan penduduk terhadap air minum (Trisnaini et al., 2018).

Kualitas air merupakan syarat untuk kualitas kesehatan manusia, karena dengan meningkatnya kualitas air dapat digunakan sebagai indikator kesehatan masyarakat, sehingga pentingnya menjaga penurunan kualitas air (J. B. Lestari et al., 2018). Penurunan kualitas air dapat ditunjukkan dengan meningkatnya

kadar parameter fisika yang terukur. Parameter tersebut contohnya seperti pada peningkatan kadar parameter warna, dimana mengubah warna air menjadi berwarna coklat hingga kehitaman. Peristiwa tersebut menunjukkan adanya bahan-bahan kimia terkandung didalamnya seperti logam besi, mangan dan sianida dari pembuangan limbah pabrik. Air yang berbau tidak sedap juga dapat menunjukkan adanya pencemaran (Yulianti, 2016).

Pencemaran berdasarkan Peraturan Republik Indonesia nomor 82 Tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air merupakan keadaan dimana turunnya kualitas air sampai pada tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak lagi berfungsi sebagaimana peruntukannya (Saputri & Efendy, 2020). Air yang telah tercemar dan memiliki kualitas yang buruk kemudian digunakan oleh masyarakat untuk minum dan melakukan kegiatan sehari-hari seperti mandi maka akan menimbulkan berbagai macam masalah kesehatan, seperti penyakit kulit dan diare. Hal ini sejalan dengan apa yang telah dinyatakan oleh *World Health Organization* (WHO) (2009) bahwa terdapat 3.400.000 jiwa setiap tahunnya yang meninggal akibat buruknya kualitas air (*waterborne disease*), selain itu WHO juga menyatakan bahwa kematian akibat buruknya kualitas air dan sanitasi sehingga dapat menimbulkan berbagai penyakit seperti penyakit diare yang telah menjadi penyebab kematian terbesar yaitu sekitar 1.400.000 kasus dalam setahun (Triono, 2018).

Berdasarkan data Puskesmas Pembantu (Pustu) Pulau Barrang Caddi

Kecamatan Ujung Tanah Kota Makassar (2020) terdapat 10 penyakit tertinggi yang ada di pulau ini yaitu Batuk dengan jumlah kunjungan sebanyak 287, Dermatitis dengan jumlah kunjungan sebanyak 190, *Febris* dengan jumlah kunjungan sebanyak 160, *Cephalgia* dengan jumlah kunjungan sebanyak 144, Hipertensi dengan jumlah kunjungan sebanyak 96, *Ascariasis* dengan jumlah kunjungan sebanyak 90, Influenza dengan jumlah kunjungan sebanyak 82, Vertigo dengan jumlah kunjungan sebanyak 73, Diare dengan jumlah kunjungan sebanyak 69, dan Rematik dengan jumlah kunjungan sebanyak 50. Penyakit yang sering terjadi akibat buruknya kualitas air yaitu penyakit kulit (dermatitis) dan diare.

Salah satu faktor yang dapat menyebabkan timbulnya penyakit akibat buruknya kualitas air dan sanitasi yaitu keberadaan bakteri dalam air. Secara umum, bakteri dalam air tidak hadir dengan sendirinya tetapi sebagai akibat dari aktivitas manusia seperti pembuangan limbah dari saluran pembuangan kota. Limbah kota dapat mengandung kotoran manusia dan dapat menyebabkan air yang terkontaminasi limbah mengandung organisme penyebab penyakit, sehingga hal ini akan menimbulkan masalah kesehatan di masyarakat apabila air tersebut dikonsumsi atau digunakan dalam kegiatan sehari-hari (Widyaningsih et al., 2016).

Keberadaan bakteri patogen di dalam air dipengaruhi oleh beberapa kondisi fisik lingkungan, seperti suhu, pH, serta salinitas. Keadaan tersebut sangat mempengaruhi bakteri untuk tumbuh dan berkembang biak, hal ini dikarenakan setiap mikroorganisme memiliki kondisi fisik - kimia yang optimal

untuk kelangsungan hidupnya sehingga mempengaruhi keberadaan kontaminan mikroba di dalam air (Fazlzadeh et al., 2017).

Penyebaran penyakit sangat cepat sehingga diperlukan metode penilaian risiko untuk mengatasi risiko penyakit yang terjadi saat ini dan masa yang akan datang, misalnya pencemaran terhadap air minum yang disebabkan oleh bakteri patogen. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah penilaian risiko mikroba (*Microbial Risk Assessment*) sebagai metode yang berharga untuk mengetahui risiko mikroorganisme, baik yang terjadi secara alami maupun antropogenik (EPA, 2012).

Penilaian risiko kesehatan lingkungan menjadi alternatif langkah awal untuk mendapatkan data-data permasalahan kesehatan di pulau-pulau kecil. Penelitian risiko pencemaran bakteri dengan metode *Quantitatif Microbial Risk Assessment* (QMRA) masih jarang dilakukan. Padahal QMRA dapat digunakan untuk memperkirakan risiko terhadap kesehatan manusia dengan memprediksi tingkat infeksi atau penyakit tertentu serta memprediksi kepadatan patogen tertentu pada air. QMRA telah menjadi metode yang berkembang pesat yang sistematis menggabungkan informasi yang tersedia pada paparan dan dosis-respons untuk menghasilkan perkiraan beban penyakit yang berhubungan dengan paparan patogen.

Tujuan utama dari QMRA itu sendiri adalah untuk memberikan informasi ilmiah, sosial dan praktis tentang risiko, sehingga penilaian ini dapat menunjang pengambilan keputusan atau kebijakan yang akan diterapkan pada sasaran. QMRA telah digunakan dalam berbagai bentuk selama bertahun-

tahun di berbagai negara. Hasil dari penilaian risiko dapat menjadi alat yang untuk mengatur dan mengartikulasikan pengetahuan ilmiah dalam kerangka yang berguna untuk para pengambil keputusan. Tanpa ketidakpastian tidak ada alasan untuk menilai risiko. Dengan demikian, penilaian risiko harus dirancang untuk menangani ketidakpastian. Ketidakpastian ada dengan mengidentifikasi dan melakukan pengukuran bahaya, perkiraan paparan, identifikasi dan pengukuran efek kesehatan yang berhubungan dengan exposure, dan metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi populasi dan risiko operasional (EPA, 2012).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 di Nigeria yang bertujuan untuk meningkatkan penilaian risiko mikroba kuantitatif (QMRA) yang ada pada sumber air minum untuk aplikasi yang sesuai dan dapat diterima di negara-negara berkembang. Penelitian ini menggunakan metode *Quantitatif Microbial Risk Assessment* (QMRA) dengan jumlah sampel 52 sampel sumber air minum yang akan dinilai konsentrasi *Escherichia coli*, *Salmonella spp*, *Shigella spp*, *Campylobacter*, *Giardia lamblia* dan *Cryptosporidium parvum*. Hasil yang ditemukan pada penelitian ini yaitu sebanyak 62% sumber air disana tercemar oleh bakteri patogen. Besar konsentrasi rata-rata bakteri *Escherichia coli* sebesar 0,325 dengan tingkat risiko penyakit sebesar 0,065, *Salmonella spp* sebesar 0,227 dengan tingkat risiko penyakit sebesar 0,045, *Shigella spp* sebesar 0,240 dengan tingkat risiko penyakit sebesar 0,031, *Campylobacter* sebesar 0,255 dengan tingkat risiko penyakit sebesar 0,026, *Giardia lamblia* sebesar 0,218 dengan tingkat risiko

penyakit sebesar 0,044, *Cryptosporidium parvum* sebesar 0,153 dengan tingkat risiko penyakit sebesar 0,021. Rata-rata risiko penyakit diare berdasarkan semua patogen yaitu 0,039 dengan standar deviasi sebesar 0,016, hal ini menunjukkan bahwa rata-rata risiko penyakit diare akibat patogen yang ada pada air minum di Nigeria kategori tinggi sehingga membutuhkan penilaian risiko (Agunwamba, 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada tahun 2019 yang bertujuan untuk menganalisis risiko kesehatan lingkungan akibat pencemaran bakteri *Escherchia coli* pada air sumur bor di Kelurahan Bandarharjo, Kecamatan Semarang Utara. Penelitian ini menggunakan metode *Quantitatif Microbial Risk Assessment* (QMRA) dengan jumlah sampel sebanyak 94 KK sebagai sampel subjek dan 94 sampel air minum sebagai sampel objek. Hasil yang ditemukan pada penelitian ini yaitu sebanyak 51 sampel air minum (54,3%) tidak memenuhi syarat kualitas bakteriologis air minum. Rata-rata laju asupan dan frekuensi pajanan adalah 1,63 L dan 365 hari/tahun. Hasil dari perhitungan QMRA didapatkan nilai rata-rata *probability of infection per day* dan *probability of infection per year* adalah $2,12 \times 10^{-5}$ dan $7,7 \times 10^{-3}$ atau 77 infeksi/10.000 orang/tahun. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *probability of infection per year* lebih besar dari nilai batas yang ditoleransi oleh US EPA, yaitu 10^{-4} atau 1 infeksi/10.000 orang/tahun (Putri, 2019).

Air minum merupakan senyawa kimia yang sangat penting bagi

kehidupan makhluk hidup di bumi ini. Air minum harus dikelola dengan baik agar tidak menimbulkan bakteri didalamnya. Pengolahan air minum yang tidak baik dapat mempengaruhi kondisi kesehatan masyarakat. Air minum yang telah tercemar apabila dikonsumsi dapat berdampak pada kesehatan manusia, namun efek yang ditimbulkan tidak terlihat secara langsung, akan tetapi sangat berbahaya setelah paparan terjadi dalam jangka panjang. Beberapa penyakit yang dapat menyerang kesehatan manusia akibat air minum yang telah tercemar, yaitu diare, demam berdarah, hepatitis A dan hepatitis E, lesi kulit, kanker kulit, kandung kemih dan kanker paru-paru (Y. F. Ningsih & Kurniawati, 2020).

Penelitian terkait QMRA masih jarang dilakukan khususnya di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. Lokasinya yang terisolir dan sulitnya akses, membuat masyarakat wilayah pulau-pulau kecil kurang mendapat perhatian. Hal ini terbukti dengan kurangnya survei-survei kesehatan yang menjangkau wilayah pulau. Oleh karena itu sangatlah penting untuk mengetahui risiko kesehatan yang dialami masyarakat pulau terkait sumber air minum yang tercemar dengan metode QMRA secara kuantitatif.

Berdasarkan pada latar belakang di atas, maka penulis perlu melakukan **“Analisis Risiko Mikrobial Secara Kuantitatif Pada Bakteri Patogen Air Minum Terhadap Kesehatan Masyarakat Kepulauan Barrang Caddi”**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu “Apakah terdapat cemaran bakteri patogen pada air minum di kepulauan Barrang Caddi dan bagaimana tingkat risiko yang akan ditimbulkan pada kesehatan masyarakat di kepulauan Barrang Caddi apabila mengkonsumsi air tersebut?”

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Untuk mengetahui tingkat risiko terjadinya gangguan kesehatan yang disebabkan oleh keberadaan bakteri patogen dalam air minum pada masyarakat kepulauan Barrang Caddi dengan menggunakan pendekatan *Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA)*.

2. Tujuan Khusus

- a. Untuk mengetahui keberadaan bakteri patogen pada air minum di Pulau Barrang Caddi.
- b. Untuk mengetahui jenis bakteri patogen pada air minum di Pulau Barrang Caddi.
- c. Untuk menghitung jumlah bakteri patogen pada air minum di Pulau Barrang Caddi.
- d. Untuk menilai tingkat risiko terjadinya penyakit terhadap masyarakat akibat keberadaan bakteri patogen di dalam air minum di Pulau Barrang Caddi.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Ilmiah

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber referensi khususnya mengenai tingkat risiko kesehatan pada bakteri patogen air minum dengan menggunakan metode QMRA.

2. Manfaat bagi Institusi

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi yang berguna untuk pihak institusi yang bersangkutan dan dapat menjadi referensi ilmiah dalam upaya peningkatan status kesehatan masyarakat.

3. Manfaat bagi Peneliti

Penelitian ini dapat menambah dan memperluas wawasan serta keterampilan peneliti sehingga dapat mengaplikasikan ilmu dan teori yang telah diperoleh di bangku perkuliahan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum tentang Pulau-pulau Kecil

Pulau-pulau kecil didefinisikan berdasarkan dua kriteria utama, yaitu ukuran pulau dan jumlah penduduk yang menghuninya. Pengertian pulau-pulau kecil yang di atur secara nasional menurut Kep. Menteri Kelautan dan Perikanan No. 41/2000 adalah pulau yang berukuran kurang dari atau sama dengan 10.000 km², dengan populasi penduduk kurang dari atau sama dengan 200.000 jiwa. Selain kriteria utama tersebut, beberapa ciri pulau-pulau kecil adalah secara ekologis terpisah dari pulau induk, memiliki batas-batas fisik yang jelas dan terisolasi dari habitat pulau induk (*mainland island*), sehingga bersifat insular; memiliki sejumlah besar spesies endemik dan keanekaragamanyang khas dan bernilai tinggi; tidak mampu mempengaruhi hidroklimat; memiliki daerah tangkapan air (*catchment area*) cukup kecil sehingga sebagianbesar aliran air permukaan dan sedimen masuk ke laut dan dari segi sosial, ekonomi dan budaya masyarakat pulau-pulau kecil bersifat unik dibandingkandengan pulau utama (Andriyani, 2019).

Indonesia adalah sebuah negara kepulauan, dimana Indonesia adalah negara yang memiliki jumlah pulau yang sangat banyak. Menurut data tahun 2004 menyatakan bahwa Indonesia memiliki sekitar 17.504 pulau, dimana sekitar 6.000 di antaranya tidak berpenghuni tetap, tersebar di sekitar khatulistiwa dan beriklim tropis. Indonesia juga memiliki garis pantai dan Zona Teritorial yang luas. Indonesia dikatakan negara kepulauan yang memiliki

wilayah laut yang lebih luas daripada daratan, sehingga ini membuat jumlah keanekaragaman hayati laut sangat berlimpah dan bervariasi. Keanekaragaman Flora dan Fauna di dalam Laut Indonesia menjadi sumber kehidupan dan mata pencaharian bagi masyarakat Indonesia, khususnya bagi masyarakat yang ada di pulau (Efridadewi & Jefrizal, 2017).

Meningkatnya keanekaragaman hayati laut, tidak terlepas dari permasalahan lingkungan yang ada di pulau. Beberapa masalah lingkungan yang dihadapi menurut UNEP (*United Nations Environment Programme*), yaitu misalnya mengelompokkan kekhawatiran ke dalam tiga kategori berdasarkan dampaknya masing-masing terhadap pulau. Pengelompokan tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

1. Kelompok pertama yang dianggap sebagai dampak paling luas yang diidentifikasi oleh UNEP adalah limbah domestik, perikanan, tutupan hutan, penggunaan lahan dan kepemilikan lahan.
2. Kelompok kedua masalah lingkungan yang mempengaruhi wilayah pulau dan sering diberikan prioritas tinggi seperti hilangnya tanah, kekurangan air tawar, pembuangan limbah padat, bahan kimia beracun, spesies yang terancam punah dan habitat manusia.
3. Kelompok ketiga masalah lingkungan yang tidak terlalu luas seperti pengelompokan sebelumnya, yang hanya mempengaruhi sebagian wilayah pulau, tetapi memiliki dampak yang signifikan ke pulau-pulau sebelahnya seperti erosi pantai, pertambangan, polusi industri dan radioaktivitas (Copy, n.d. UNEP, 2013).

B. Tinjauan Umum tentang Air Minum

Air merupakan senyawa yang memiliki peran sangat vital bagi kehidupan manusia bahkan bagi seluruh makhluk hidup yang ada di bumi, dimana perannya tidak dapat digantikan oleh senyawa apapun (Ilmiah et al., 2020). Air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari adalah air yang memenuhi kriteria sebagai air bersih. Air bersih merupakan salah satu kebutuhan yang berperan penting dalam kehidupan sehari-hari manusia mulaidari minum, mandi, memasak, mencuci, serta lain sebagainya (Zulhilmi et al.,2019).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010 menyatakan bahwa Air minum merupakan air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Syarat kesehatan air minum menurut departemen kesehatan, antara lain tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mengandung logam-logam berat. Air yang bersumber dari alam dapat diminum oleh manusia, tetapi terdapat resiko bahwa air ini telah tercemar oleh bakteri atau zat-zat berbahaya yang jarang diketahui(Sisca, 2016).

Semua air pada prinsipnya dapat diolah menjadi air minum. Jenis air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/Menkes/SK/IV/2010 meliputi:

1. Air yang didistribusikan melalui pipa untuk keperluan rumah tangga.
2. Air yang didistribusikan melalui tangki air.
3. Air Kemasan, air yang digunakan untuk produksi bahan makanan dan minuman yang disajikan kepada masyarakat.

Sumber air merupakan bagian terpenting dari tersedianya air minum. Penyediaan air minum adalah suatu kegiatan yang dilakukan guna memenuhi berbagai kebutuhan masyarakat dalam menyediakan air minum, tujuannya agar tercipta kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif (Sriwijaya et al., 2020). Kebutuhan masyarakat terhadap air minum yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk tetapi tidak diimbangi dengan ketersediaan air bersih yang memadai (Surati & Qomariah, 2017). Keterbatasan air bersih ini membuat masyarakat lebih memilih mengonsumsi air minum siap pakai dalam bentuk kemasan ataupun air isi ulang (Trisnaini et al., 2018).

Air minum dalam kemasan menurut Standard Nasional Indonesia 01-3553-2006 adalah air baku yang telah melalui proses yang Panjang, dikemas, dan aman diminum yang mencakup air mineral dan air demineral. Air mineral merupakan air minum dalam kemasan yang didalamnya mengandung mineral yang jumlahnya tertentu tanpa menambah mineral lainnya, sedangkan air demineral merupakan air minum dalam kemasan yang prosesnya masuk dalam proses pemurnian secara *destilasi*, *deionisasi*, *reverse osmosis* atau proses setara (Deril & H, 2014).

Air isi ulang adalah air yang mengalami proses pengolahan secara khusus melalui proses yang panjang, mulai dari proses *chlorinasi*, *aerasi*, filtrasi hingga penyinaran yang dibantu dengan sinar ultraviolet. Air isi ulang umumnya tidak habis dalam sehari melainkan dapat habis dalam beberapa hari atau bahkan kadang sampai 1-4 minggu tergantung pada penggunaannya (Wandrivel et al., 2012).

Meningkatnya kebutuhan konsumen terhadap air minum yang bermutu dan aman mengakibatkan keberadaan depot air minum terus meningkat. Peningkatan ini tidak jarang membuat depot air minum banyak dijumpai berada di pinggir jalan, yang tentunya dapat mengakibatkan dampak buruk, salah satunya penurunan kualitas air minum. Penurunan ini diakibatkan karena polusi, debu, dan berbagai bakteri serta kuman dengan mudah masuk ke dalamnya (Mairizki & Hayu, 2018).

C. Tinjauan Umum tentang Kualitas Air

Kualitas air merupakan syarat untuk kualitas kesehatan manusia, karena tingkat kualitas air dapat digunakan sebagai indikator kesehatan masyarakat, sehingga pentingnya menjaga penurunan kualitas air (Prasetya & Saptomo, 2018). Air dikatakan memiliki kualitas yang baik apabila memenuhi persyaratan secara fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif (Trisnaini et al., 2018). Kualitas air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No.492/Menkes/SK/IV/2010, meliputi:

1. Parameter wajib

a. Persyaratan Fisik

Air yang berkualitas baik harus memenuhi persyaratan fisik yaitu, tidak berasa, tidak berbau, dan tidak berwarna (maksimal 15 TCU), suhu udara maksimum ± 3 °C, dan tidak keruh (maksimum 5 NTU).

b. Persyaratan Mikrobiologi

Syarat mutu air minum sangat ditentukan oleh bakteri *coliform* salah satunya adalah *Escherichia coli*, sebab keberadaan bakteri *escherichia coli*

merupakan indikator terjadinya pencemaran tinja dalam air. Standar kandungan *escherichia coli* dan total bakteri *coliform* dalam air minum 0 per 100 ml sampel.

2. Parameter Tambahan

a. Persyaratan Kimia

Kualitas kimia adalah yang berhubungan dengan ion-ion senyawa maupun logam yang membahayakan, seperti Raksa (Hg), Timbal (Pb), Perak (Ag), Tembaga (Cu), dan Seng (Zn). Residu dari senyawa lain yang bersifat racun adalah residu pestisida yang dapat menyebabkan perubahan bau, rasa dan warna air.

b. Persyaratan Radioaktivitas

Kadar maksimum cemaran radioaktivitas dalam air minum tidak boleh melebihi batas maksimum yang diperbolehkan karena dapat menimbulkan kerusakan pada sel-sel. Kerusakan dapat mengakibatkan kematian, perubahan komposisi genetika, dapat menimbulkan kanker dan mutasi sel. Parameter radioaktif dibagi menjadi parameter sinar *alfa*, *beta*, dan *gamma*.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Klasifikasi mutu air yang ditetapkan menjadi 4 kelas, yaitu:

1. Kelas I, air yang peruntukannya bisa dipakai sebagai sumber air baku dan air minum serta peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air sesuai dengan kegunaannya.

2. Kelas II, air yang peruntukannya dipakai sebagai sarana/prasarana air rekreasi, peternakan, air yang mengairi tanaman, pembudidayaan ikan tawar, serta peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air sesuai dengan kegunaannya.
3. Kelas III, air yang peruntukannya dipakai untuk pembudidayaan ikan tawar, peternakan, air yang mengairi tanaman, serta peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air sesuai dengan kegunaannya.
4. Kelas IV, air yang peruntukannya dipakai untuk mengairi tanaman serta peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air sesuai dengan kegunaannya.

D. Tinjauan Umum tentang Bakteri Patogen

Bakteri merupakan kelompok organisme yang umumnya memiliki sel tunggal serta tidak memiliki membran inti sel. Bakteri itu sendiri memiliki dinding sel pada struktur tubuhnya, namun dinding sel yang dimiliki tidak mengandung klorofil. Bakteri memiliki ukuran yang kecil bahkan sangat kecil sehingga keberadaannya biasa hanya diabaikan saja, padahal sebenarnya keberadaan bakteri memiliki cukup banyak peranan seperti misalnya pemanfaatan bakteri baik dalam proses fermentasi di industri pangan. Pemanfaatan ini harus sejalan dengan jumlah bakteri yang digunakan, karena jika jumlah yang digunakan berlebihan maka bakteri tersebut akan beralih fungsi menjadi racun karena sifatnya yang dapat menginfeksi sehingga nantinya akan timbul masalah kesehatan (Febriza et al., 2021).

Bakteri diklasifikasikan menjadi 2 jenis yakni bakteri jenis gram positif dan bakteri gram negatif. Umumnya kedua jenis bakteri ini hidup dalam tubuh manusia sebagai flora normal. Flora normal yang dimaksudkan yaitu jenis

bakteri tersebut memang pada dasarnya memiliki tempat khusus didalam tubuh manusia untuk hidup dan berkembang namun sebenarnya mereka tidak menimbulkan reaksi atau bahkan penyakit apapun itu selama jumlahnya masih dalam batas normal (Holderman et al., 2017).

Bakteri patogen pada air minum terdiri dari:

1. Bakteri *Coliform*

Coliform merupakan semua bakteri yang berbentuk batang, bersifat gram negatif, tidak membentuk spora, pada suhu 35 °C dengan waktu kurang dari 48 jam dapat meragikan atau memfermentasikan laktosa dengan memproduksi gas dan asam. Bakteri *Coliform* merupakan kelompok bakteri yang dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui apakah suatu perairan telah mengalami polusi kotoran dan salinitas. Bakteri *Coliform* berasal dari kotoran manusia dan hewan yang berdarah panas sehingga dapat ditemukan dalam jumlah yang banyak dan hal ini juga yang menyebabkan bakteri golongan ini banyak digunakan sebagai bahan untuk menguji. Semua bakteri yang termasuk dalam golongan *Coliform* memiliki sifat toksik yang dapat menyebabkan masalah kesehatan berupa gangguan pada sistem pencernaan. Bakteri *Coliform* dibedakan atas 2 kelompok yaitu, kelompok *fecal* (*E. coli*) yang merupakan bakteri yang berasal dari kotoran atau feses manusia dan hewan berdarah panas dan *non-fecal* (*Enterobacter aerogenus*) yang merupakan bakteri yang berasal dari hewan atau tanaman yang telah busuk atau mati (Saputri & Efendy, 2020).

Bakteri *Coliform* merupakan bakteri yang dapat menyebarkan

penyakit melalui jalur tinja dengan mencemari perairan hingga sampai ke mulut manusia. Bakteri *Coliform* dapat menyebar melalui oral, udara, kontak langsung, serta dengan mengkonsumsi air yang tidak bersih menjadi salah satu faktor yang menyebabkan timbulnya penyakit di dalam tubuh (N. D. Lestari, 2020). Kandungan *Coliform* yang diperbolehkan pada air bersih bukan perpipaan pada 100 liter air yaitu 50, sedangkan pada air perpipaan seperti PDAM 10 dari 100 ml air (Sekarwati & Wulandari, 2016).

Bakteri *Coliform* yang terdapat di dalam air dibedakan atas 2 kelompok yaitu, kelompok *facel* (*E. coli*) dan *non-facel* (*Enterobacter aerogenus*). Bakteri *Coliform* merupakan bakteri yang berbentuk batang, gram negatif, bersifat *aerob* atau *anaerob* fakultatif yang dapat meragikan atau memfermentasi laktosa pada suhu 35 °C dalam waktu 24 - 48 jam, memiliki enzim tambahan berupa sitokrom *oksidase* dan *beta-galaktosidase*. Sedangkan bakteri *E. coli* menurut Tururaja (2010) dan Walangiten (2016) digunakan sebagai indikator apakah tempat tersebut telah mengalami kontaminasi dari tinja manusia maupun hewan yang berdarah panas. Menurut Deepesh dkk, (2013), *Coliform* bukan termasuk dalam taksonomi bakteri tetapi hanya sebuah istilah untuk menyebutkan kelompok mikroorganisme yang hidup di dalam air. Penggunaan bakteri *Coliform* sebagai indikator pencemaran karena jumlah koloninya berkorelasi positif dengan keberadaan bakteri patogen, penggunaan bakteri *Coliform* juga jauh lebih murah, cepat dan lebih sederhana tahap pengujiannya bila dibandingkan dengan bakteri patogen lain (Sari et al., 2019).

Bakteri *Coliform* dapat digunakan sebagai indikator keberadaan patogen dalam air, namun lebih tepatnya *Coliform fecal* merupakan bakteri yang digunakan sebagai indikator untuk mengetahui pencemaran patogen. Bakteri yang termasuk dalam golongan *fecal* yaitu *E. coli*, *E. aerogenes*, *Klebsiella pneumonia*, *Klebsiella ezanae*, *Klebsiella rhinosclromatis*, *Shigella sonnei*, *Pasteurella mulroccida*, *Pseudomas coccovenans* serta *Vibrio cholerae*. Bakteri *Coliform* yang berada di bawah tanah pergerakannya dipengaruhi oleh resapan air hujan dalam lapisan tanah. Air hujan yang masuk ke dalam lapisan tanah dalam jumlah yang banyak akan mengakibatkan tingginya kontaminasi bakteri pada tanah (Sekarwati & Wulandari, 2016).

2. Bakteri *Escherichia coli*

Escherichia coli merupakan bakteri yang bersifat gram negatif, berbentuk batang, serta tidak dapat membentuk spora. Sel *Escherichia coli* memiliki ukuran yang panjang sekitar 2,0 - 6,0 μm tersusun secara tunggal dan berpasangan. Bakteri *E. coli* dapat tumbuh pada suhu 10 - 40 °C dengan suhu optimal 35 °C. berdasarkan pada hasil pewarnaan gram yang dilakukan pada salah satu sampel positif bakteri *coliform* yaitu memiliki ciri berbentuk batang (*basil*), berwarna kemerahan untuk menentukan spesies bakteri batang gram negatif (Aulya et al., 2020).

E. Tinjauan Umum tentang Media Pertumbuhan Bakteri

Media merupakan pencampuran antara nutrien atau zat makanan yang di butuhkan dalam pertumbuhan mikroorganisme. Penggunaan media tidak hanya digunakan untuk pertumbuhan mikroba tetapi juga untuk isolasi, inokulasi, uji

fisiologi dan biokimia mikroba. Pertumbuhan mikroba dipengaruhi oleh media yang digunakan. Media harus sesuai dengan lingkungan yang sebenarnya dari mikroba yaitu media memiliki susunanmakanan yang mengandung air untuk menjaga kelembapan dan pertukaran zat untuk metabolisme, serta media harus mengandung karbon, mineral, vitamin dan gas, tekanan osmosis yang isotonik, memiliki pH yang umumnya netral, temperatur yang sesuai dan tempat yang steril (Yusmaniar et al., 2017).

Media pertumbuhan bakteri dalam bidang mikrobiologi diperlukan untuk menumbuhkan dan mempelajari sifat yang dimiliki oleh mikroorganisme untuk mengetahui hal tersebut maka dibutuhkan sebuah media yang akan menjadi tempat tumbuhnya sebuah organisme. Atlas (2004) menyatakan bahwa media yang akan digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme harus memenuhi nilai nutrisi yang diperlukan oleh mikroorganisme yang diteliti. Dalam mendukung pertumbuhan mikroorganisme menurut Cappucino (2014) nutrisi yang diperlukan yaitu berupa karbon, nitrogen, unsur non logam seperti sulfur dan fosfor, unsur logam seperti Ca, Zn, Na, K, Cu, Mn, Mg, Fe, vitamin, air dan energy (Sari et al., 2019).

Makanan yang diperlukan mikroba dalam mendukung proses pertumbuhannya harus mengandung unsur oksigen, belerang, nitrogen, karbon, mineral dan fosfor. Mikroorganisme yang membutuhkan kalsium, besi, magnesium dan kalium biasanya dibiakkan dalam bentuk ion (K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan Fe^{2+}). Mineral lain yang dibutuhkan mikroorganisme seperti Mn^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} dan Zn^{2+} (Rizki & Syahnita, n.d.).

Media dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan bentuknya, yaitu : (Yusmaniar et al., 2017)

1. Media Cair

Media cair digunakan untuk memperkaya benih sebelum dibawa ke media padat. Media cair tidak dapat digunakan untuk mengetahui koloni kuman dan isolasi mikroba. Contoh media cair yaitu *Nutrien Broth* (NB), *Pepton Dilution Falud* (PDF), *Lactosa Broth* (LB), *Mac Conkey Broth* (MCB).

2. Media Semi Padat

Media semi padat merupakan media yang mengandung 0,5% *agar*.

3. Media Padat

Media padat dapat digunakan untuk mempelajari koloni kuman, isolasi, serta memperoleh pembiakan. Media padat mengandung 15% *agar*. Contoh media padat yaitu *Potato Detrosa Agar* (PDA), *Nutrient Agar* (NA), *Plate Count Agar* (PCA).

Media kultur merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan di dalam laboratorium dalam proses penanaman dan pemenuhan kebutuhan nutrisi mikroorganisme agar terjadi pertumbuhan yang baik. Akan tetapi karena biaya yang dibutuhkan untuk melakukan pengkulturan mikroba sangat mahal sehingga kita dapat melakukan pengkulturan dengan menggunakan bahan alami. Media kultur alami yang dapat digunakan untuk mengkultur mikroba yaitu mentimun

dan kulit jeruk. Selain itu terdapat pula beberapa jenis media alami yang mengandung zat makanan yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroba yaitu bengkuang dan taugé. Bengkuang sebagai media alami mengandung sumber karbohidrat sedangkan taugé mengandung sumber protein yang dibutuhkan dalam pertumbuhan mikroorganisme (Rizki & Syahnita, n.d.).

Media *Lactose Broth* (LB) dapat digunakan dalam pengujian bakteri *Coliform*. Media LB digunakan dalam pengujian pendugaan karena LB mengandung *Lactose* yang dapat menjadi sumber karbohidrat dalam proses fermentasi bakteri. Hasil yang positif pada pengujian pendugaan ditandaidengan terbentuknya gas pada tabung *durham* (gelembung) dan asam yang dapat diamati dari kekeruhan terhadap media. Penggunaan media *Brilliant Greent Lactosa Broth* (BGLB) pada uji penegasan karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri gram positif dan negatif selain *Coliform* (Sari et al., 2019).

F. Tinjauan Umum Tentang *Quantitative Microbiological Risk Assessment* (QMRA)

Penilaian risiko adalah karakterisasi kualitatif atau kuantitatif dan perkiraan potensi dampak buruk kesehatan yang terkait dengan paparan individu atau populasi terhadap bahaya (bahan atau situasi, fisik, kimia, dan agen mikroba). Penilaian risiko tidak digunakan secara terpisah tetapi sebagai bagian dalam konteks yang lebih luas sebagai analisis risiko (Sunger & Haas, 2015).

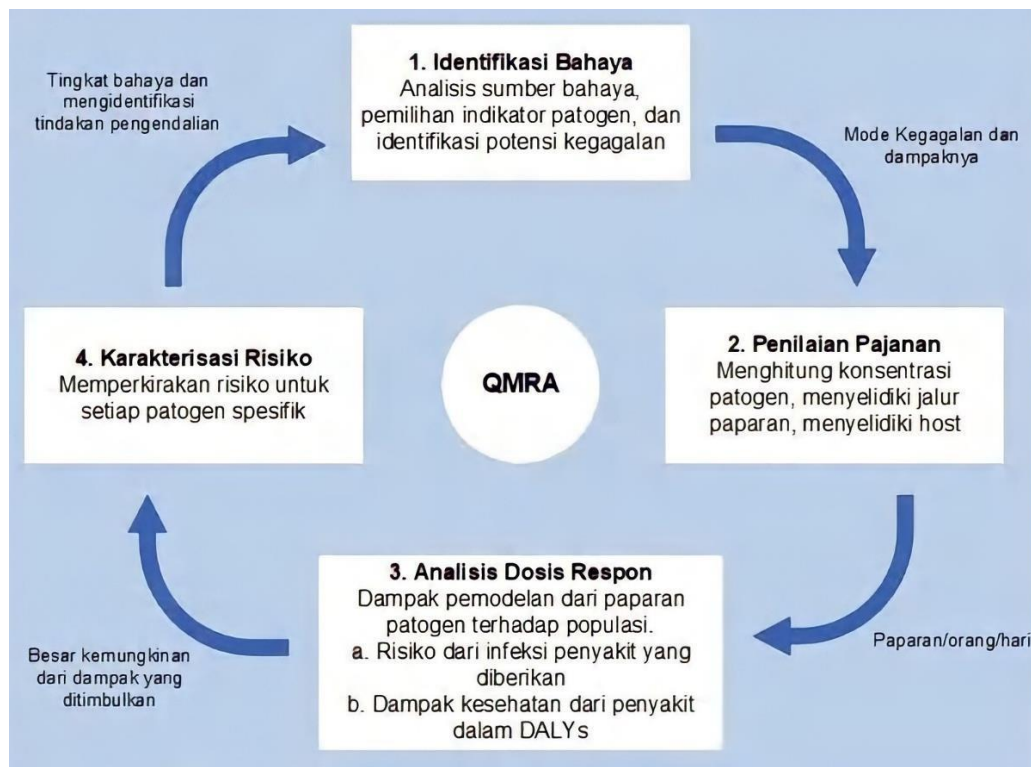
Penilaian risiko mikroba merupakan sebuah alat atau metode yang perlu untuk diketahui, untuk dapat mengurangi dan mencegah risiko yang disebabkan oleh mikroorganisme berbahaya, baik yang dihasilkan secara alami maupun antropogenik yang masuk ke dalam lingkungan. Secara umum, penilaian risiko mikroba bertujuan untuk mendapatkan informasi baru mengenai identifikasi dan mekanisme terjadinya penularan mikroba patogen, paparan yang berpotensi terhadap kesehatan manusia, dosis-respon, dan efek kesehatan yang ditimbulkan. *Microbial Risk Assessment* (MRA) berfokus pada mikroorganisme yang dapat menyebabkan infeksi dan atau penyakit pada manusia. Secara khusus, berlaku untuk menilai risiko yang terkait dengan penyakit bawaan makanan (*foodborne disease*) dan penyakit yang ditularkan melalui air (*waterborne disease*) misalnya, air minum, air limbah dan air rekreasi (EPA, 2012).

World Health Organization (WHO) mendefinisikan bahwa analisis risiko sebagai proses yang dimaksudkan untuk menghitung atau memperkirakan risiko yang akan terjadi pada suatu organisme sasaran, sistem, atau sub populasi, hingga termasuk identifikasi ketidakpastian yang menyertainya, setelah terpajan oleh agen tertentu dengan memperhatikan karakteristik yang melekat pada penyebab (agen) yang sedang dikaji dan karakteristik sistem sasaran yang spesifik. Risiko sendiri didefinisikan sebagai kemungkinan (probabilitas) suatu efek yang dapat merugikan pada suatu organisme, sistem, sub populasi yang disebabkan oleh paparan suatu agen dalam keadaan tertentu (Basri et al., 2019).

Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA) merupakan sebuah

pendekatan penilaian risiko formal kuantitatif yang menggabungkan pengetahuan ilmiah tentang keberadaan dan sifat patogen, nasib potensial patogen tersebut dan transportasi dalam siklus air, paparan manusia dan efek kesehatan yang mungkin dihasilkan dari paparan tersebut. Semua pengetahuan ini digabungkan ke dalam penilaian tunggal yang memungkinkan manajemen berbasis risiko, proporsional, transparan, dan koheren dari risiko penularan penyakit menular yang ditularkan melalui air (WHO, 2016).

QMRA merupakan model aplikasi matematika paparan dan dosis untuk memprediksi kemungkinan hasil buruk akibat paparan patogen. QMRA adalah pendekatan pemodelan yang mengintegrasikan data terkait paparan mikroba dan hubungan efek kesehatan manusia dengan tujuan mengkaji dampak potensial/risiko kesehatan dari paparan mikroorganisme yang berbahaya. QMRA terdiri dari identifikasi bahaya, penilaian paparan, penilaian efek (hubungan dosis-respons); dan karakterisasi risiko (Whelan et al., 2018).



Gambar 2.1 Kerangka konsep QMRA (Hamouda et al., 2018)

1. Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Menurut Haas et al. tahun 2014 dalam bukunya yang berjudul *Quantitative Microbial Risk Assessment Methodology*, langkah pertama dalam proses QMRA adalah menentukan jenis patogen yang akan dinilai dan objek apa yang akan diteliti sehingga ini akan memberikan gambaran tentang risiko yang akan diukur. Selain itu menurut EPA tahun 2012, langkah awal dalam QMRA yaitu identifikasi bahaya yang merupakan komponen kunci dari penilaian risiko sehingga pada tahapan identifikasi bahaya, bakteri yang menjadi agen penyakit akan diidentifikasi. Tahap ini berfokus pada mikroorganisme tertentu dan mekanisme potensial yang dapat menyebabkan gangguan dan kemampuan mikroorganisme dalam menimbulkan efek

bahaya. *Hazard Identification* adalah identifikasi agen mikroba dan spektrum penyakit manusia dan penyakit yang terkait dengan organisme tertentu. Semuapotensi bahaya, sumber dan peristiwa yang dapat menyebabkan adanya bahaya tersebut harus diidentifikasi (Haas et al., 2014).

2. Penilaian Dosis-Respon (*Dose-response Assessment*)

Dosis-respons ditujukan untuk karakterisasi matematis dari hubungan antara dosis yang diberikan dan kemungkinan infeksi atau penyakit atau kematian pada populasi yang terpajan. Model dosis-respons sebagian besar didasarkan pada data eksperimental (Sunger & Haas, 2015). Penilaian dosis-respons dalam QMRA bertujuan untuk membangun hubungan antara dosis patogen yang terpapar individu atau populasi dan kemungkinan efek kesehatannya yang merugikan misalnya Infeksi, penyakit dan kematian (EPA, 2012).

Menurut *Guidelines for Drinking Water Quality* yang diterbitkan oleh WHO (2008), konsep dasar infeksi yaitu paparan dapat menyebabkan infeksi dengan syarat yaitu satu atau lebih patogen harus telah tertelan dan menetap di dalam tubuh. Menurut buku *QMRA Methodology* (2006), jika setiap patogen diasumsikan berperilaku independen terhadap organisme lain dalam tubuh, maka probabilitas keseluruhan infeksi dapat digambarkan sebagai proses binomial. Proses binomial memiliki arti yaitu setiap organisme yang tertelan dapat menyebabkan infeksi atau tidak infeksi.

3. Penilaian Paparan (*Exposure Assessment*)

Penilaian paparan adalah upaya untuk menentukan ukuran dan sifat populasi yang terpajan, rute, konsentrasi, dan distribusi mikroorganisme serta durasi paparan (WHO, 2016). Tujuan dari penilaian paparan dalam QMRA adalah untuk menentukan rute, frekuensi, durasi, dan besarnya (jumlah) paparan terhadap bahaya mikroba melalui jalur dan kejadian berbahaya dalam suatu populasi (EPA, 2012).

Menurut *Guidelines for Drinking Water Quality* yang diterbitkan oleh WHO (2008), penilaian dosis-respon melibatkan estimasi jumlah mikroba yang masuk ke dalam tubuh melalui konsumsi. Penilaian dosis-respon adalah kegiatan prediksi yang sering melibatkan penilaian subjektif sehingga untuk mengatasi masalah ini maka harus memperhitungkan variabilitas faktor seperti konsentrasi mikroorganisme dari waktu ke waktu, volume yang tertelan dan lain sebagainya. Paparan ditentukan oleh konsentrasi mikroba dalam air minum dan volume air yang dikonsumsi. Pengukuran konsentrasi patogen dalam air minum jarang dilakukan secara teratur. Namun, pengukuran yang lebih sering dilakukan yaitu pada konsentrasi sumber air dan memperkirakan pengurangan patogen ketika pengolahan air, kemudian kedua hal ini diterapkan untuk memperkirakan konsentrasi patogen dalam air yang dikonsumsi.

4. Karakterisasi Risiko (*Risk Characterization*)

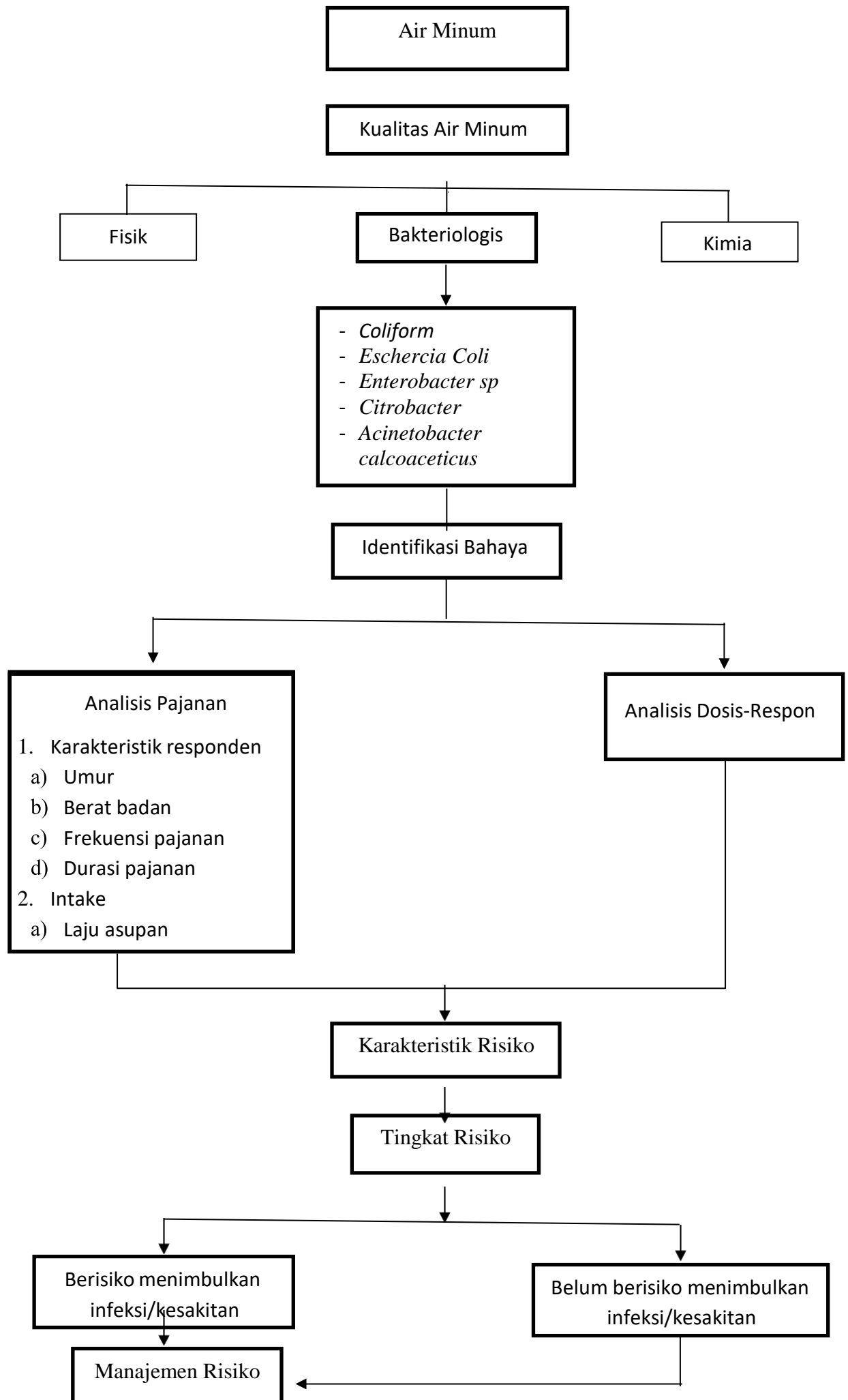
Karakterisasi risiko adalah integrasi data pada identifikasi bahaya, dosis-respons, dan paparan untuk memperkirakan besarnya masalah

kesehatan masyarakat dan untuk memahami probabilitas bahwa hal itu akan terjadi sertavariabilitas dan ketidakpastian hasil yang diprediksi (Sunger & Haas, 2015).

Karakteristik risiko adalah komponen yang menggambarkan proses penilaian risiko dan merangkum risiko terhadap mikroba. Karakteristik risiko membahas tentang skenario, model, parameter, data, dan opsi analisis yang harus dipahami dan dipertimbangkan oleh manajer risiko ketika menggambarkan hasil penilaian risiko (EPA, 2012).

G. Kerangka Teori

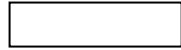
Berikut ini adalah kerangka teori yang menjadi acuan dalam penelitian ini:



Gambar 2.2 Kerangka Teori
(Permenkes, 2017; U.S. Departemen of Health and Human services, 2010)



: Variabel yang diteliti



: Variabel yang tidak diteliti

BAB III

KERANGKA KONSEP

A. Dasar Pemikiran Variabel Penelitian

Daerah kepulauan dan pesisir secara umum dikenal sebagai daerah yang memiliki kesadaran kebersihan lingkungan yang masih rendah ditinjau dari masih kurangnya pengawasan terhadap kualitas air minum. Bahaya yang selalu mengancam kita lewat media air bersih dan air minum ini adalah *Escherichia coli* yaitu bakteri yang sangat identik dengan pencemaran air.

Kelompok bakteri patogen seperti *Coliform*, *Eschericia Coli*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Enterobacter sp*, *citrobacter* dan lain sebagainya bisa mengontaminasi air, khususnya air minum yang ada di lingkungan masyarakat yang kurang memperhatikan kualitas air, *hygiened*an sanitasi serta tempat pengolahan air minum dan lokasi yang terletak di pinggir jalan yang dapat menjadi sumber cemaran air minum.

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Salah satu usaha untuk mengurangi timbulnya penyakit diare adalah dengan memperhatikan kualitas air minum yang di konsumsi setiap hari. Salah satu cara untuk mengetahui ada tidaknya bakteri patogen pada air minum yang terdapat di wilayah Pulau Barrang caddi, Kecamatan Ujung Tanah, Kota Makassar adalah melakukan pemeriksaan laboratorium dengan uji bakteriologis air.