

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. LANDASAN TEORI**

##### 1. Besi (Fe) dalam Air Tanah

###### a. Pengertian Besi (Fe)

Besi adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, keberadaan besi jarang dijumpai dalam bentuk bebas tanpa ada unsur lain, untuk mendapatkan unsur besi yang murni diperlukan penguraian secara kimia guna memisahkan unsur besi murni dengan unsur campuran lainnya. Dalam kehidupan manusia besi dimanfaatkan untuk pembuatan besi baja dan digunakan untuk campuran beberapa logam dan karbon.

Kandungan besi (Fe) dalam air merupakan salah satu unsur mineral dari hasil pelapukan batuan induk yang terdapat di perairan umum, senyawa garam ferri dan ferro yang bervalensi dua merupakan senyawa besi yang umum ditemukan dalam air (Asmadi, Khayan dan Kasjono, 2011). Pembentukan sifat kimia besi dalam air dipengaruhi oleh sifat redoks dari kandungan besi, pembentukan kompleks, metabolisme yang dilakukan oleh mikroorganisme dan pertukaran dari besi antara fasa dan fase padat serta mengandung besi karbonat, hidroksida dan sulfide (Achmad, 2004).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 tahun 2017 tentang “Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Hygiene, Kolam Renang, Solusi Per Aqua, dan Pemandian Umum” bahwa parameter Kimia

dalam Standar Baku Mutu Kesehatan lingkungan untuk Media Air Keperluan Hygiene Sanitasi, kadar maksimum besi (Fe) dalam air sebesar 1 mg/L.

Tingginya kadar besi dalam air dapat disebabkan oleh beberapa hal, meliputi (Joko, 2010):

1) pH air yang rendah

Air yang normal dan tidak menimbulkan masalah adalah air dengan  $\text{pH} \geq 7$ , sedangkan air yang akan melarutkan logam termasuk besi memiliki  $\text{pH} \leq 7$ .

2) Temperatur air

Semakin tinggi temperatur air akan menyebabkan semakin tinggi juga derajat korosifnya

3) Gas – gas yang terlarut dalam air

Sifat korosif air dapat disebabkan oleh beberapa gas terlarut dalam air seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{S}$ .

4) Bakteri

Dalam metabolisme bakteri guna mempertahankan hidupnya bakteri memerlukan asupan makanan, asupan tersebut dapat diperoleh dengan mengoksidasi besi yang berakibat besi itu semakin larut.

b. Dampak Kadar Besi Dalam Air

Kadar besi (Fe) dalam air mengakibatkan beberapa dampak seperti dibawah ini (Oktiawan, 2007) :

1) Menyebabkan penyumbatan pada pipa saluran air, hal ini dapat terjadi karena penumpukan endapan besi dan sebabkan oleh bakteri

yang hidup didalam pipa yang mempertahankan hidupnya dengan mengoksidasi besi dalam air di saluran pipa tersebut.

- 2) Air yang memiliki kadar besi dengan jumlah besar atau lebih dari beberapa mg/l akan memberikan efek rasa pada air seperti rasa logam dan rasa obat.
- 3) Keberadaan besi (Fe) dalam air juga berpengaruh pada kualitas fisik air, air dengan kadundungan besi (Fe) tinggi akan berwarna keruh dan meninggalkan noda kekuningan pada pakaian yang dicuci dengan air tersebut.
- 4) Menimbulkan noda kotoran di bak – bak penampuan air seperti bak kamar mandi dan penampungan lainnya
- 5) Penyumbatan pada sistem ion exchange karena endapan besi.
- 6) Penurunan kapasitas pertukaran ion resin
- 7) Memunculkan keluhan konsumen air karena endapan tersuspensi yang terbawa keluar ke penampungan konsumen karena adanya kenaikan debit dan tekanan didalam pipa.
- 8) Besi  $Fe^{2+}$  sering terdapat bakteri golongan Clonothrix dan Crenothic yang dapat menyebabkan korosi.

#### c. Manfaat Logam Besi (Fe)

Logam berat besi (Fe) merupakan zat yang dibutuhkan manusia, logam berat besi (Fe) banyak terdapat pada makanan dan minuman sebagai zat yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan manusia. Daging merah dan sayuran kangkung adalah salah satu makanan yang terdapat zat besi dan sering dikonsumsi manusia. Putri et al., (2017,

hlm. 27) mengungkapkan bahwa manfaat logam berat besi (Fe) adalah sebagai penunjang pertumbuhan dan perkembangan tubuh manusia, terutama pada sayuran sebagai penyusun enzim yang aktif dalam fotosintesis dan respirasi.

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, logam berat besi (Fe) menjadi salah satu dari banyaknya logam berat yang terdapat dalam kehidupan manusia yang kita ketahui yaitu logam berat besi (Fe) tidak terlepas dari kebutuhan manusia terutama berkaitan dengan kebutuhan nutrisi. Zat besi merupakan komponen yang berperan mengikat hemoglobin dalam sel darah merah mengangkut oksigen dan menyebarkannya ke seluruh tubuh.

#### d. Dampak Logam Besi (Fe) Terhadap Kesehatan

Kelebihan zat besi akan mengakibatkan terganggunya hormon hepcidin (hormon yang mengatur metabolisme tubuh) berguna untuk membuat tubuh menyerap lebih banyak zat besi yang dibutuhkan. Saat mengalami kelebihan zat besi disimpan di beberapa organ dalam tubuh terutama disimpan di dalam hati. Gejalanya adalah menyebabkan rasa mual, muntah, diare, peningkatan denyut jantung, sakit kepala, dan pingsan. Kekurangan zat besi dapat menghambat pembentukan klorofil mengakibatkan berkurangnya kandungan pigmen dan protein serta mengakibatkan berkurangnya kemampuan untuk mengatur suhu tubuh. Gejalanya adalah menyebabkan pucat, rasa lemah, letih, pusing, kehilangan nafsu makan, menurunnya kebugaran fisik, kemampuan kerja, kekebalan tubuh dan gangguan penyembuhan luka. Selain itu,

Jenti & Nurhayati (2014 dalam Nurhayati et al., 2020, hlm. 75) menjelaskan bahwa tingginya kandungan logam berat besi (Fe) dalam tubuh manusia akan menyebabkan penyakit seperti keracunan, kanker, liver, dan hemokromatosis terutama anemia karena asupan zat besi yang tidak cukup akan mengakibatkan gangguan penyerapan dan kehilangan darah. Oleh karena itu, perlu menjaga keseimbangan zat besi dalam tubuh harus dipertahankan agar tubuh tidak menderita anemia (Armfield et al., 2013, hlm. 165).

Dari penjelasan tersebut maka dapat ditarik suatu kesimpulan, keberadaan logam berat besi (Fe) pada tubuh bermanfaat bagi tubuh juga memberikan dampak negatif bagi tubuh dan berbahaya. Mengonsumsi zat seperti air yang mengandung zat besi menyebabkan rasa mual bagi yang mengkonsumsinya. Naschan et al., (2017, hlm. 12) menjelaskan bahwa zat besi yang masuk ke dalam tubuh melebihi ambang batas atau baku mutu yang telah ditetapkan, maka dapat menimbulkan gangguan kesehatan bagi tubuh manusia, terutama kerusakan pada dinding usus, berdampak buruk pada sistem saraf, dan mempengaruhi kerja pada ginjal.

## 2. Mangan (Mn) dalam Air Tanah

### a. Definisi Mangan (Mn)

Mangan adalah logam berwarna abu-abu keperakan, merupakan unsur pertama logam golongan VIIB, dengan berat atom 54,94 g/mol, nomor atom 25, berat jenis 7,43 g/cm<sup>3</sup>. Di dalam hubungannya dengan kualitas air yang sering dijumpai adalah senyawa mangan dengan

valensi 2, valensi 4, valensi 6. Di dalam sistem air alami dan juga di dalam sistem pengolahan air, senyawa mangan dan besi berubah-ubah tergantung derajat keasaman (pH) air. Sistem air alami pada kondisi reduksi, mangan dan juga besi pada umumnya mempunyai valensi dua yang larut dalam air. Oleh karena itu di dalam sistem pengolahan air, senyawa mangan dan besi valensi dua tersebut dengan berbagai cara dioksidasi menjadi senyawa yang memiliki valensi yang lebih tinggi yang tidak larut dalam air sehingga dapat dengan mudah dipisahkan secara fisik. Mangan di dalam senyawa  $\text{MnCO}_3$ ,  $\text{Mn(OH)}_2$  mempunyai valensi dua, zat tersebut relatif sulit larut dalam air, tetapi untuk senyawa Mn seperti garam  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{MnSO}_4$ ,  $\text{Mn(NO}_3)_2$  mempunyai kelarutan yang besar di dalam air (Said, 2005).

b. Manfaat Mangan (Mn) dalam Tubuh

Manfaat Mangan (Mn) dalam tubuh yaitu untuk Menjaga Kesehatan Tulang, Menurunkan Risiko Radang Sendi, Mengurangi Efek Nyeri pada Saat Haid, Menurunkan Risiko Diabetes, Menjaga Kesehatan Sistem Tiroid, Membantu Proses Sistem Pencernaan, dan Membantu Proses Metabolisme Tubuh (Rusdiana, 2016).

c. Kelebihan Zat Mangan (Mn)

Kelebihan zat mangan (Mn) di dalam tubuh menyebabkan gangguan fungsi estrogen. Kondisi ini bisa membuat gangguan kesuburan untuk wanita serta gangguan penyerapan zat besi. Kondisi ini bisa menyebabkan penderita mengalami anemia kekurangan sel darah merah dan tubuh menjadi tidak produktif (Rusdiana, 2016).

#### d. Kekurangan Zat Mangan (Mn)

Kekurangan zat mangan dalam tubuh akan mengakibatkan gangguan metabolisme sehingga sering menghasilkan keringat berlebihan. Mengalami gangguan penyerapan mineral tertentu dalam tubuh seperti zat besi, magnesium dan tembaga serta mengalami gangguan fungsi hati dan gangguan fungsi empedu (Rusdiana, 2016).

### 3. Air Minum

#### a. Definisi air minum

Menurut Permenkes Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 Pasal 1, air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Pasal 3 menyebutkan bahwa air minum dikatakan aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisik, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan (Permenkes RI, 2010).

#### b. Sumber air minum

Jenis – jenis sarana air bersih yang lazim dipergunakan masyarakat diantaranya yaitu (Dirjen PPM dan PLP, 1995);

##### 1) Sumur gali

Sumur gali adalah penyediaan air bersih dengan cara mengambil atau memanfaatkan air dengan cara mengambil atau memanfaatkan air dengan mengambil air menggunakan tangan sampai mendapatkan air bersih. Sumur dapat digolongkan menjadi

dua yaitu sumur dangkal dengan kedalaman 10-15 meter dan sumur dalam dimana memiliki kedalaman 15-30 meter.

## 2) Perpipaan

Sarana perpipaan adalah bangunan beserta peralatan beserta perlengkapannya untuk menyediakan dan membagikan air minum untuk masyarakat melalui jaringan perpipaan yang distribusikan ke rumah-rumah penduduk langsung. Contoh dari sarana perpipaan adalah PDAM.

## 3) Penampungan Air hujan

Penampungan air hujan adalah sarana air bersih yang memanfaatkan air hujan sebagai bahan bakunya dengan menampungnya sewaktu ada hujan. Air hujan yang jatuh diatas atap rumah atau bangunan penangkap air yang lain dialirkan melalui saluran atau talang kemudian di tampung didalam tempat penampungan air hujan

## 4) Perlindungan Mata Air (PMA)

Perlindungan mata air (PMA) merupakan suatu bangunan untuk menampung air dan melindungi sumber air dari pencemaran. Bentuk dan volume PMA disesuaikan dengan tata letak, situasi sumber, dekat air dan kapasitas air yang dibutuhkan. Sarana PMA biasanya terdiri dari bangunan penangkap mata air dan bak penampung dengan syarat tertentu untuk melindungi sumber mata air dari pencemaran. Oleh karena itu PMA harus dilengkapi dengan saluran pembuangan air limbah dan juga dibuatkan saluran drainase



disekeliling bak untuk mengalirkan air hujan supaya tidak mengotori bak.

c. Syarat Kualitas Air Minum

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan, persyaratan tersebut antara lain;

1) Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

Air minum adalah air yang melalui pengolahan atau tanpa pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum digunakan untuk keperluan untuk keperluan minum, masak, mencuci peralatan makan dan minum, mandi, mencuci bahan baku pangan yang akan dikonsumsi, peturasan, dan ibadah.

Standar baku mutu kesehatan lingkungan media air minum dituangkan dalam parameter yang menjadi acuan Air Minum aman. Parameter yang dimaksud meliputi parameter fisik, parameter mikrobiologi parameter kimia serta radioaktif. Dalam Peraturan Menteri ini, parameter dibagi menjadi parameter utama dan parameter khusus, Penerapan tambahan parameter khusus menjadi tanggung jawab pemerintah daerah melalui kajian ilmiah.

Standar baku mutu kesehatan lingkungan media Air Minum ini sebagai acuan bagi penyelenggara air minum, petugas sanitasi lingkungan di Puskesmas, dinas kesehatan provinsi, dinas kesehatan

kabupaten/kota, dan pemangku kepentingan terkait. Upaya penyehatan dilakukan melalui pengamanan dan pengendalian kualitas air minum yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas air minum memberikan manfaat yang signifikan bagi kesehatan masyarakat.

Sasaran untuk penetapan standar baku mutu kesehatan lingkungan media air minum diperuntukkan bagi penyelenggara dan produsen/penyedia/penyelenggara air minum yang dikelola dengan jaringan perpipaan, bukan jaringan perpipaan, dan kornunal, baik institusi maupun non institusi di Permukiman, Tempat Kerja, Tempat Rekreasi serta Tempat dan Fasilitas umum. Sasaran tersebut di atas harus memeriksakan seluruh parameter wajib. Parameter wajib tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan

No	Jenis Parameter	Kadar maksimum yang diperbolehkan	satuan	Metode Pengujian
Mikrobiologi				
1	Escherichia coli	0	CFU/100 ml	SNI/ APHA
2	Total Coliform	0	CFU/100 ml	SNI/ APHA
Fisik				
3	Suhu	Suhu Udara $\pm$ 3	.C	SNI/ APHA
4	Total Dissolve Solid	<300	mg/l	SNI/ APHA
5	Kekeruhan	<3	NTU	SNI atau yang setara

6	Warna	10	TCU	SNI/ APHA
7	Bau	Tidak Berbau	-	APHA
Kimia				
8	pH	6,5 - 8.5	-	SNI/ APHA
9	Nitrat (Sebagai NO <sub>3</sub> ) (Terlarut)	20	mg/l	SNI/ APHA
10	Nitrit (Sebagai NO <sub>2</sub> ) (Terlarut)	3	mg/l	SNI/ APHA
11	Kromium Valensi 6 (Cr <sup>6+</sup> ) (Terlarut)	0.01	mg/l	SNI/ APHA
12	Besi (Fe) (Terlarut)	0.2	mg/l	SNI/ APHA
13	Mangan (Mn) (Terlarut)	0.1	mg/l	SNI/ APHA
14	Sisa khlor (Terlarut)	0.2 - 0.5 dengan waktu kontak 30 menit	mg/l	SNI/ APHA
15	Arsen (As) Terlarut	0.01	mg/l	SNI/ APHA
16	Kadmium Cd) (terlarut)	0.003	mg/l	SNI/ APHA
17	Timbal (Pb) (Terlarut)	0.01	mg/l	SNI/ APHA
18	Flouride (F) (Terlarut)	1.5	mg/l	SNI/ APHA
19	Alumunium (Al) (Terlarut)	0.2	mg/l	SNI/ APHA

## 2) Persyaratan Kesehatan

Penilaian Persyaratan Kesehatan Air Minum bertujuan untuk menilai risiko secara langsung terhadap sarana air minum yang dapat mengakibatkan kontaminasi terhadap air minum. Persyaratan Kesehatan air minum terdiri atas: Persyaratan Kesehatan Air Minum yang diperuntukan bagi keperluan Permukiman, Tempat Kerja, Tempat Rekreasi, serta tempat fasilitas umum terdiri atas:

### a) Air dalam keadaan terlindung

Air dikatakan dalam keadaan terlindung apabila:

- (1) Bebas dan kemungkinan kontaminasi mikrobiologi, fisika, kimia (bahan berbahaya dan beracun, dan/atau limbah B3).
- (2) Sumber sarana dan transportasi air terlindungi (akses layak) sampai dengan titik rumah tangga. Jika air bersumber dari sarana air perpipaan tidak boleh ada koneksi silang dengan pipa air limbah di bawah permukaan Tanah, Sedangkan jika air bersumber dari sarana non perpipaan, sarana terlindung dari sumber kontaminasi limbah domestik maupun industri.
- (3) Lokasi sarana air minum berada di dalam rumah atau halaman rumah.
- (4) Air tersedia setiap saat.

### b) Pengolahan, pewadahan, dan penyajian harus memenuhi prinsip higiene dan sanitasi.

Pengolahan, pewadahan, dan penyajian dikatakan memenuhi prinsip higiene dan sanitasi jika menggunakan wadah penampung

air yang dibersihkan secara berkala; dan melakukan pengolahan air secara kimia dengan menggunakan jenis dan dosis bahan kimia yang tepat. Jika menggunakan kontainer sebagai penampung air harus dibersihkan secara berkala minimal 1 (satu) kali dalam seminggu.

Air minum ataupun air bersih yang disediakan untuk konsumsi harus memenuhi syarat fisik, kimiawi, bakteriologis dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan yang dapat dilihat pada daftar standar kualitas air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492/MENKES/PR/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, persyaratan tersebut antara lain;

Tabel 3. Parameter Mikrobiologi

No	Parameter Mikrobiologi	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	<i>Coli</i> pada air minum	Jumlah/100 ml	0
2	<i>Fecal coli</i> pada air yang masuk sistem distribusi	Jumlah/100 ml	0

Parameter kualitas air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 terdiri atas 3 parameter yaitu:

1) Parameter Fisik

Parameter fisik terdiri dari atas 6 parameter yaitu kekeruhan, bau, rasa, suhu, total zat padat terlarut (TDS) dan warna. Parameter

berdasarkan surat Keputusan Menteri Kesehatan RI No.492/Menkes/VII/2010 yaitu;

Bau dan rasa : air yang normal tampak jernih, tidak berwarna dan tidak berbau. Bau air dapat disebabkan oleh bahan-bahan kimia terlarut, ganggang, plankton, tumbuhan air dan hewan air, baik yang masih hidup maupun yang sudah mati. Bau air sering dikaitkan dengan rasa air.

- a) Warna: perairan memiliki 2 warna yaitu warna sesungguhnya (true color) yaitu warna yang hanya disebabkan oleh bahan-bahan kimia terlarut. Warna tampak (apparent color) yaitu warna yang tidak hanya disebabkan oleh bahan terlarut tetapi juga oleh bahan tersuspensi.
- b) Total zat padat terlarut (TDS): padatan terlarut total (Total Dissolved Solid atau TDS) adalah bahan-bahan terlarut dengan diameter  $10^{-6}$  mm- $10^{-3}$  mm yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain yang tidak tersaring pada kertas saring. TDS biasanya disebabkan oleh bahan organik yang berupa ion-ion yang biasnya ditemukan di perairan.
- c) Kekeruhan: Peningkatan kekeruhan dapat disebabkan oleh padatan tersuspensi, namun tidak semua padatan dapat menyebabkan peningkatan kekeruhan. Contohnya air laut yang memiliki padatan terlarut yang tinggi namun memiliki kekeruhan yang rendah. Kekeruhan juga bisa disebabkan oleh aliran di perairan

d) Suhu: Suhu suatu badan air dipengaruhi oleh musim, lintang (latitude), ketinggian dari permukaan latitude, waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air. Perubahan suhu akan berpengaruh terhadap proses fisik, kimia dan biologi suatu badan air. Jika terjadi peningkatan suhu maka akan mengakibatkan peningkatan viskositas, reaksi kimia, evaporasi, dan volatilisasi.

## 2) Parameter Kimia

Berdasarkan Permenkes No. 492 Tahun 2010 parameter kimia dibagi terdiri atas parameter kimia an-organik yang berhubungan langsung dengan kesehatan (arsen, fluoride, total kromium, kadmium, nitrit, nitrat, sianida, dan selenium) dan parameter kimia yang tidak berhubungan langsung dengan kesehatan (besi, aluminium, pH, kesadahan, klorida, mangan, seng, sulfat, tembaga, dan ammonia).

## 3) Parameter Bakteriologi

Parameter ini terdiri atas pemeriksaan bakteri *Coliform* dan *E.coli*. Pemeriksaan bakteriologis air dilakukan untuk mendeteksi adanya *E.coli*, karena adanya bakteri ini mengindikasikan adanya pencemaran air oleh feses (kotoran manusia atau hewan). Namun di daerah tropis kehadiran *E.coli* tidak dapat dipastikan sebagai kontaminasi oleh feses hewan atau manusia karena tanah di daerah tropis dan subtropis karena tanah di daerah ini secara alami

mengandung *E.coli* dalam jumlah besar. Menurut Permenkes No. 492 tahun 2010 kualitas bakteriologis terdiri atas 2 parameter yaitu:

*b) Coliform*

Persyaratan bakteriologis air bersih dapat dilihat dari *Coliform* tinja per 100 ml sampel air dengan kadar maksimum yang diperbolehkan adalah 50 MPN/100 ml air untuk air bersih bukan perpipaan dan 10 untuk air bersih pipa. Sedangkan untuk air minum adalah 0 MPN/100 ml air. Jumlah *Coliform* yang diperoleh dari inkubasi pada suhu 37°C tersebut biasanya dinyatakan sebagai total *Coliform*. Semakin tinggi tingkat kontaminasi bakteri *Coliform*, semakin tinggi pula risiko kehadiran bakteri-bakteri patogen lain yang biasa hidup dalam kotoran manusia dan hewan. Salah satu contoh bakteri patogen yang kemungkinan terdapat dalam air terkontaminasi kotoran manusia atau hewan berdarah panas ialah bakteri *Escherichia coli*

*c) Escherichia coli*

Bakteri ini merupakan bakteri gram-negatif, berbentuk batang pendek (kokobasil), mempunyai flagel, berukuran 0,4-0,7  $\mu\text{m}$  x 1,4  $\mu\text{m}$ , serta memiliki simpai. *Escherichia coli* tumbuh baik hampir disemua media pembenihan, mampu memfermentasi laktosa, dan memiliki sifat aerofilik. Kolonisasi bakteri *Escherichia coli* biasanya terjadi setelah 40 hari dilahirkan. Infeksi *Escherichia coli* sering berupa diare dengan disertai darah,



kejang perut, demam, dan terkadang menyebabkan gangguan ginjal. Infeksi *Escherichia coli* yang terjadi pada anak-anak dibawah 5 tahun dan orang tua dapat menyebabkan komplikasi yang disebut dengan Sindrom Uremic Hemolitik. Pengujian kualitas bakteriologis bisa dilakukan dengan menggunakan metode MPN.

#### d. Metode MPN

MPN (Most Probable Number) atau JPT (Jumlah Perkiraan Terdekat) adalah suatu tabel yang digunakan untuk mengetahui jumlah bakteri *E.coli*. Pengujian dan penghitungan bakteri *Coliform* menggunakan media Brilliant Green Lactose Bile 2% (BGLB 2%). Dimana prinsipnya adalah adanya pertumbuhan bakteri *Coliform* yang ditandai dengan terbentuknya gas pada tabung durham setelah diinkubasikan pada media yang sesuai, kemudian hasil dicocokkan dengan angka yang tertera pada tabel MPN. Tabung durham setelah diinkubasikan pada media yang sesuai, kemudian hasil dicocokkan dengan angka yang tertera pada tabel MPN (Radji, 2010). Pengujian MPN dilakukan dengan tiga tahap yaitu:

##### 1) Uji Pendugaan (*Presumptive Test*)

Merupakan test pendahuluan tentang ada atau tidaknya kehadiran bakteri *Coliform* berdasarkan terbentuknya asam dan gas disebabkan karena fermentasi laktosa oleh bakteri golongan coli. Terbentuknya gas dapat dilihat dari kekeruhan pada media laktosa dan gas yang dihasilkan dapat dilihat dalam tabung durham berupa gelembung

udara. Tabung dinyatakan positif jika terbentuk gas sebanyak 10 % atau lebih dari volume di dalam tabung durham. Banyaknya kandungan bakteri golongan coli dapat dilihat dengan menghitung tabung yang menunjukkan reaksi positif terbentuk asam dan gas dan dibandingkan dengan tabel MPN. Metode MPN dilakukan untuk menghitung jumlah mikroba di dalam sampel berbentuk cair. Bila inkubasi 1x24 jam pada suhu 35°C. Jika dalam waktu 2x24 jam tidak terbentuk gas dalam tabung durham, dihitung sebagai hasil negatif. Jumlah tabung yang positif dihitung pada masing-masing seri. MPN penduga dapat dihitung dengan melihat tabel MPN.

## 2) Uji Penegasan (*Confirmed Test*)

Uji penegasan dilakukan untuk menegaskan bahwa gas yang terbentuk disebabkan oleh bakteri *Coliform*. Uji positif pada uji penegasan menghasilkan angka indeks, angka ini disesuaikan dengan tabel MPN untuk menentukan jumlah *Coliform* dalam sampel

## 3) Uji Lengkap (*Completed Test*)

Bila diperlukan uji ini dapat dilakukan dengan menggunakan media yang menunjukkan hasil positif pada uji penegasan. Uji koliform tidak harus selalu dilakukan secara lengkap, tergantung dari berbagai faktor seperti waktu, mutu contoh yang diuji, biaya, dan faktor-faktor lainnya (Wardhany, 2015).

#### 4. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL)

##### a. Definisi

Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) merupakan metode yang digunakan untuk menghitung perkiraan risiko yang disebabkan oleh paparan agen baik kimia maupun fisik pada kelompok berisiko dengan mempertimbangkan karakteristik risiko. Menurut Louvar & Louvar (1998), analisis risiko kesehatan lingkungan (ARKL) didefinisikan sebagai kerangka ilmiah untuk memecahkan permasalahan lingkungan dan kesehatan.

ARKL merupakan sebuah proses yang dimaksudkan untuk menghitung atau memperkirakan risiko pada kesehatan manusia, termasuk diantaranya identifikasi terhadap keberadaan faktor ketidakpastian, penelusuran pada paparan tertentu, memperhitungkan karakteristik yang melekat pada agen yang menjadi perhatian dan karakteristik dari sasaran yang spesifik (Dirjen PP dan PL, 2012).

ARKL merupakan perkembangan spesifik dari Health Impact Assessment (HIA). Di Indonesia ARKL merupakan bagian dari Analisis Dampak Kesehatan Lingkungan (ADKL). ADKL sendiri dibedakan menjadi ADKL untuk pencemaran pada umumnya (bukan bagian dari studi Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL)) dan ADKL bagian AMDAL, yang dimaksudkan untuk kajian aspek kesehatan masyarakat dalam konteks rencana usaha atau kegiatan baru. ADKL termuat dalam Keputusan Menteri Kesehatan RI No.

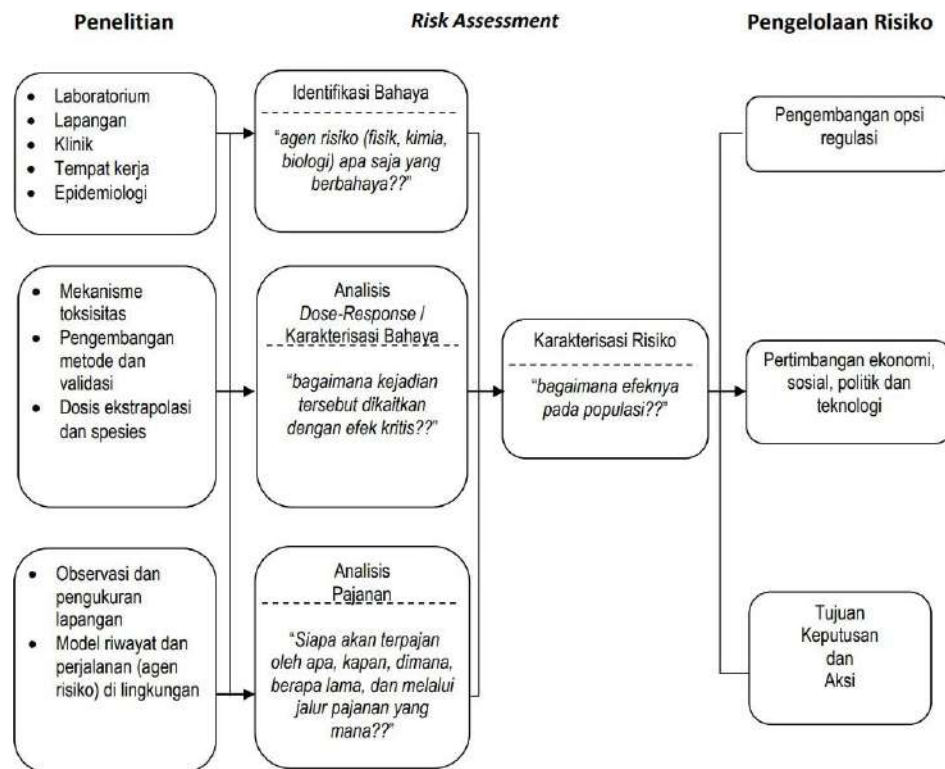
876/Menkes/SK/VIII/2001 tentang Pedoman Teknis Analisis Dampak Lingkungan (ADKL) (Dirjen PP dan PL, 2012).

ARKL merupakan sebuah tujuan untuk memastikan supaya analisis risiko dari bahan kimia dan pengelolaannya dapat berjalan dengan baik untuk meningkatkan perlindungan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Tujuan ini telah menjadi kesepakatan dari berbagai negara dalam kerangka pembangunan yang berkelanjutan.

b. Paradigma Analisis Risiko

Menurut (Kuhn, 1962), paradigma merupakan suatu landasan berpikir maupun konsep dasar yang digunakan sebagai model ataupun pola yang dimaksud oleh para ilmuwan dalam usahanya dengan mengadakan studi-studi keilmuan yang dilakukannya. Paradigma Analisis risiko ini, mengacu pada Risk Assesment and Management Handbook tahun 1996, analisis risiko terbagi menjadi dua istilah yaitu risk analysis dan risk assessment. Risk analysis meliputi 3 komponen yaitu penelitian, asesmen risiko (risk assessment) atau ARKL dan pengelolaan risiko.

Paradigma analisis risiko dapat diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 1. Paradigma Analisis Risiko

Sumber : Dirjen PP & PL Kemenkes

Pada prosesnya, analisis risiko dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 1) Penelitian

Penelitian bertujuan untuk membangun hipotesis, mengukur, mengamati dan merumuskan efek dari suatu bahaya maupun agen risiko di lingkungan terhadap manusia, baik yang dilakukan secara laboratorium maupun penelitian lapangan dengan tujuan untuk mengetahui efek, respon dan nilai referensi yang aman bagi tubuh agen yang memiliki risiko.

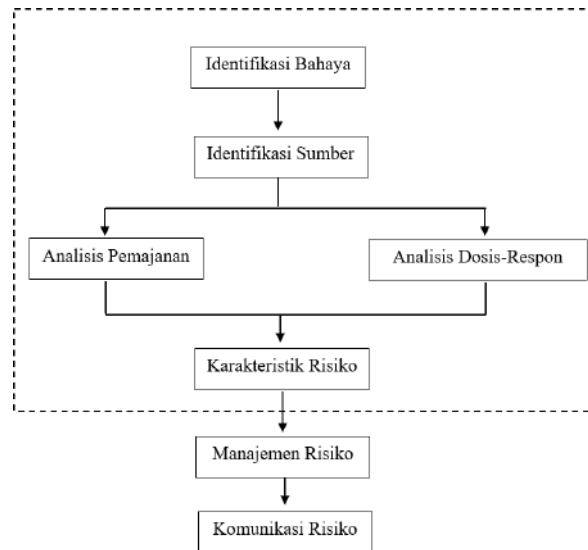
## 2) Asesmen risiko (*risk assessment*) ARKL

Asesmen risiko bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya apa saja yang membahayakan, memahami hubungan antara dosis agen risiko dengan tubuh, mengukur besar pajanan agen risiko, dan menetapkan tingkat risiko dan efeknya pada suatu populasi.

## 3) Pengelolaan Risiko

Pengelolaan risiko dilakukan jika asesmen risiko yang ditetapkan tidak aman efeknya pada populasi. Pengelolaan risiko dapat dilakukan dengan pengembangan opsi regulasi, pemberian rekomendasi teknis sosial ekonomi politis dan melakukan tindak lanjut.

Secara operasional, pelaksanaan ARKL diharapkan tidak hanya terbatas kepada analisis atau penilaian risiko suatu agen risiko atau parameter tertentu di lingkungan terhadap kesehatan masyarakat, namun juga dapat menyusun skenario pengelolaannya atau manajemen risiko. Tetapi menurut teori analisis Risiko Louvar dan Luovar 1998 bahwa manajemen risiko bukan termasuk ke dalam analisis risiko, namun manajemen risiko merupakan langkah tindak lanjut dari hasil analisis risiko yang telah diperoleh. Hal tersebut dapat diilustrasikan pada gambar berikut:



Gambar 2 Analisis Risiko (Louvar dan Luovar 1998)

Sumber : 123dok.com

### c. Jenis dan Penggunaan ARKL

Berdasarkan Buku Pedoman Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan (ARKL) terdapat dua jenis ARKL yang dapat digunakan yakni, kajian ARKL di atas meja (*desktop studi*) dan kajian lapangan (*field study*) tergantung sumber data yang digunakan. Kajian ARKL diatas meja tidak menggunakan data-data lapangan, tetapi menggunakan nilai-nilai baku (nilai-nilai yang sudah ada sebelumnya), rekomendasi dan/atau asumsi. Sementara kajian lapangan dilakukan dengan cara mengukur langsung kualitas lingkungan, pajanan (frekuensi, durasi) dan data antropometri (berat badan). Perbedaan penggunaan jenis ARKL tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4 Perbandingan antara ARKL *dekstop* dan *field*

<b>Variabel</b>	<b><i>Desktop</i></b>	<b><i>Field</i></b>
Sumber data yang digunakan	Data sekunder dan asumsi/Bak u kutu	Data primer dan asumsi (jika dibutuhkan)
Waktu pelaksanaan	Seketika saat dibutuhkan durasi lebih singkat	Perlu perencanaan dan pengorganisa sian Durasi lebih lama
Besarnya biaya yang dibutuhkan	Sangat sedikit atau tidak ada	Biaya besar (seperti melakukan suatu penelitian / kajian lapangan)

ARKL sebagai suatu alat atau pendekatan dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan. Penggunaan ARKL pada berbagai kebutuhan dapat dilihat pada tabel berikut :

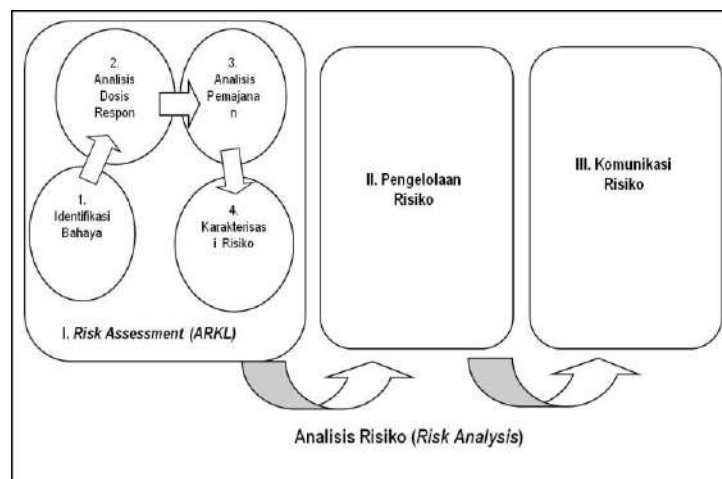


Tabel 5. Penggunaan dari masing-masing jenis ARKL

<b>Jenis Kegiatan/ Kebutuhan</b>	<i>Desktop</i>	<i>Field</i>
Analisis suatu kasus kesehatan lingkungan  : ( <i>Emergency Responses</i> ).	✓	-
Analisis suatu kasus kesehatan lingkungan  : ( <i>Reformation Responses</i> ).	-	✓
Penyusunan AMDAL suatu kegiatan dan atau usaha : kajian ANDAL dan penyusunan RKL – RPL.	✓	-
Pengkajian, penyusunan, dan penetapan baku mutu.	-	✓
Pengkajian, penyusunan dan penetapan kebijakan kesehatan lingkungan yang baru.	-	✓

d. Langkah- Langkah ARKL

Dalam pedoman ARKL, Analisis risiko terbagi menjadi tiga yaitu: Risk Assessment (ARKL), pengelolaan risiko dan komunikasi risiko. Lebih lanjut, dalam pedoman tersebut ARKL terbagi menjadi empat langkah yaitu: identifikasi bahaya (hazard identification), analisis dosis-respon (dose-response assesment), analisis pemajanan (exposure assesment) dan karakterisasi risiko (risk characterization). Langkah-langkah tersebut dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 3 Langkah-langkah ARKL (Kemenkes)

Sumber : Dirjen PP & PL Kemenkes

1) Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya (hazard identification) merupakan tahapan awal ARKL yang bertujuan untuk mengenali agen risiko yang memiliki potensi menjadi penyebab gangguan kesehatan jika tubuh terpajan. Tahap ini merupakan suatu proses yang menentukan bahan kimia yang berpotensi memiliki pengaruh terhadap manusia baik berupa karsinogenik maupun non-karsinogenik.

Data identifikasi bahaya risk agent dari berbagai sumber pencemaran dapat dirangkum pada suatu tabel, sebagai pelengkap dalam identifikasi bahaya dapat pula ditambahkan gejala-gejala gangguan kesehatan yang erat kaitannya dengan agen risiko yang akan dianalisis.

## 2) Analisis Dosis Respon

Analisis dosis respon (*dose-response assesment*) merupakan tahapan lanjutan dari identifikasi bahaya. Analisis dosis-respon digunakan untuk memperkirakan efek samping dari agen risiko yang terjadi pada suatu populasi yang terpajan. Pada dasarnya analisis dosis respon digunakan untuk menentukan nilai toksisitas risk agent untuk setiap bentuk spesi kimianya. Toksisitas dinyatakan dalam nilai reference dosis (RfD), dan/atau reference concentration (RfC), dan/atau cancer slope factor (CSF) dari agen risiko yang menjadi fokus ARKL. RfD berasal dari pajanan oral atau tertelan (ingesti, untuk makanan dan minuman) dan RfC berasal dari pajanan udara (inhalasi) digunakan untuk efek-efek non-karsinogenik sementara CSF digunakan untuk efek-efek karsinogenik (US EPA 1997).

Analisis dosis-respon merupakan bagian yang paling penting dalam ARKL karena ARKL dapat digunakan jika sudah terdapat risk agent yang sudah terdapat dosis-respon (US EPA 1997). Dosis-respon menggambarkan peluang seseorang untuk mengalami sakit setelah kontak dengan kuman udara (mikroba) (Dewi, 2022). Analisis dosis

respon cukup merujuk pada literatur Integrated Risk Information System (IRIS) yang tersedia pada [www.epa.gov/iris](http://www.epa.gov/iris)

### 3) Analisis pemajanan

Analisis pemajanan atau exposure assesment merupakan langkah lanjutan dari analisis dosis respon, analisis ini dilakukan untuk menghitung atau mengukur intake/asupan dari agen risiko. Untuk menghitung intake digunakan persamaan atau rumus yang berbeda. Data yang digunakan dapat berupa data primer (hasil pengukuran konsentrasi sendiri), data sekunder (hasil pengukuran dari pihak terpercaya seperti Dinas Kesehatan, Dinas Lingkungan Hidup, LSM dll) dan asumsi yang berdasarkan pada pertimbangan yang logis atau menggunakan nilai baku.

Pada tahap ini juga dibutuhkan data terkait antropometri dari populasi terpajan untuk menetapkan intake. Karakteristik antropometri yang diukur diantaranya adalah berat badan, pajanan harian, frekuensi pajanan tahunan dan durasi pajanan. Rumus perhitungan yang digunakan untuk intake pada jalur pemajanan inhalasi non-karsinogenik adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{C \times R \times t_e \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$$

I = Asupan (intake) inhalasi (mg/kg/hari)

C = Konsentrasi agen risiko (zat toksik/polutan di udara) mg/m<sup>3</sup>)

R = Laju inhalasi (m<sup>3</sup>/jam)

t<sub>e</sub> = Lama pajanan (jam/hari)

$f_e$  = frekuensi pajanan (hari/tahun)  $D_t$  = durasi pajanan (tahun)

$W_b$  = berat badan (kg)

$T_{avg}$  = periode waktu rata-rata untuk efek non-karsinogenik (10.950 hari)

#### 4) Karakteristik Risiko

Karakterisasi risiko (risk characterization) merupakan langkah akhir dalam melakukan ARKL, dimana pada tahapan ini ditetapkan tingkat risiko, dengan kata lain tahapan ini menentukan apakah agen risiko pada konsentrasi tertentu yang dianalisis pada ARKL berisiko menimbulkan gangguan kesehatan pada masyarakat atau tidak. Karakterisasi dinyatakan dalam Risk Quotient (RQ) untuk efek-efek non-karsinogenik.

Penghitungan RQ dilakukan dengan cara melakukan pembagian antara asupan inhalasi (I) dengan reference concentration (RfC) menggunakan rumus persamaan dari (ATSDR, 2005) :

$$RQ = \frac{I}{RfC}$$

RQ = Tingkat risiko pajanan non-karsinogenik

I = Asupan (intake) (mg/kg/hari) RfC = Konsentrasi referensi (mg/m<sup>3</sup>)

Risiko kesehatan dinyatakan ada dan perlu dikendalikan jika  $RQ > 1$ . Jika  $RQ \leq 1$ , risiko tidak perlu dikendalikan tetapi perlu dipertahankan agar nilai numerik RQ tidak melebihi 1.

e. Langkah Lanjutan ARKL

1) Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan langkah lanjutan dari ARKL apabila nilai karakterisasi risiko menunjukkan tingkat yang tidak aman, yakni jika nilai  $RQ > 1$ . Dalam melakukan manajemen risiko terdiri dari strategi manajemen risiko dengan cara pengelolaan risiko, strategi pengelolaan risiko meliputi penentuan ambang batas aman yang terdiri dari konsentrasi agen risiko (C), jumlah konsumsi (R), waktu pajanan ( $t_E$ ), frekuensi pajanan ( $f_E$ ) dan durasi pajanan ( $D_t$ ). Manajemen risiko dapat dijabarkan dan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

a) Penentuan konsentrasi aman (C)

Dalam penentuan konsentrasi aman semua variabel dan nilai yang digunakan sama dengan variabel dan nilai pada perhitungan intake. Untuk menghitung konsentrasi aman inhalasi non-karsinogenik adalah sebagai berikut:

$$C_{nk (aman)} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{R \times t_E \times f_E \times D_t}$$

b) Penentuan jumlah konsumsi aman (R)

Laju asupan yang dapat dikelola hanya pada pajanan yang melalui makanan dan air minum (ingesti). Sementara untuk pajanan melalui udara (inhalasi) hampir tidak mungkin dilakukan pembatasan laju inhalasi.

c) Penentuan waktu pajanan ( $t_E$ )

Waktu pajanan aman dapat dikelola jika pemajanan terjadi pada orang yang berada pada lingkungan kerja atau lingkungan pendidikan yang tidak permanen. Pengelolaan waktu dapat dilakukan dengan mengurangi jam terpapar setiap harinya. Penerapannya hanya dilakukan untuk pemajanan inhalasi, sedangkan untuk pemajanan ingesti cukup dilakukan dengan pembatasan jumlah konsumsi. Untuk menghitung waktu pajanan aman non-karsinogenik menggunakan rumus berikut:

$$t_{nk(aman)} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{C \times R \times f_E \times D_t}$$

d) Penentuan frekuensi pajanan aman ( $f_E$ )

Frekuensi pajanan aman hampir sama dengan waktu pajanan aman, oleh karena itu yang dapat dihitung menggunakan rumus adalah pajanan yang melalui inhalasi. Untuk menghitung frekuensi pajanan aman non-karsinogenik menggunakan rumus berikut:

$$f_{nk(aman)} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times D_t}$$

e) Penentuan durasi pajanan aman ( $D_t$ )

Durasi pajanan aman hampir sama dengan waktu pajanan aman dan frekuensi pajanan aman, oleh karena itu yang dapat dihitung menggunakan rumus adalah pajanan yang melalui inhalasi. Untuk menghitung durasi pajanan aman non-karsinogenik menggunakan rumus berikut:

$$D_{nk(aman)} = \frac{RfC \times Wb \times t_{avg}}{C \times R \times t_E \times f_E}$$

## 2) Komunikasi Risiko

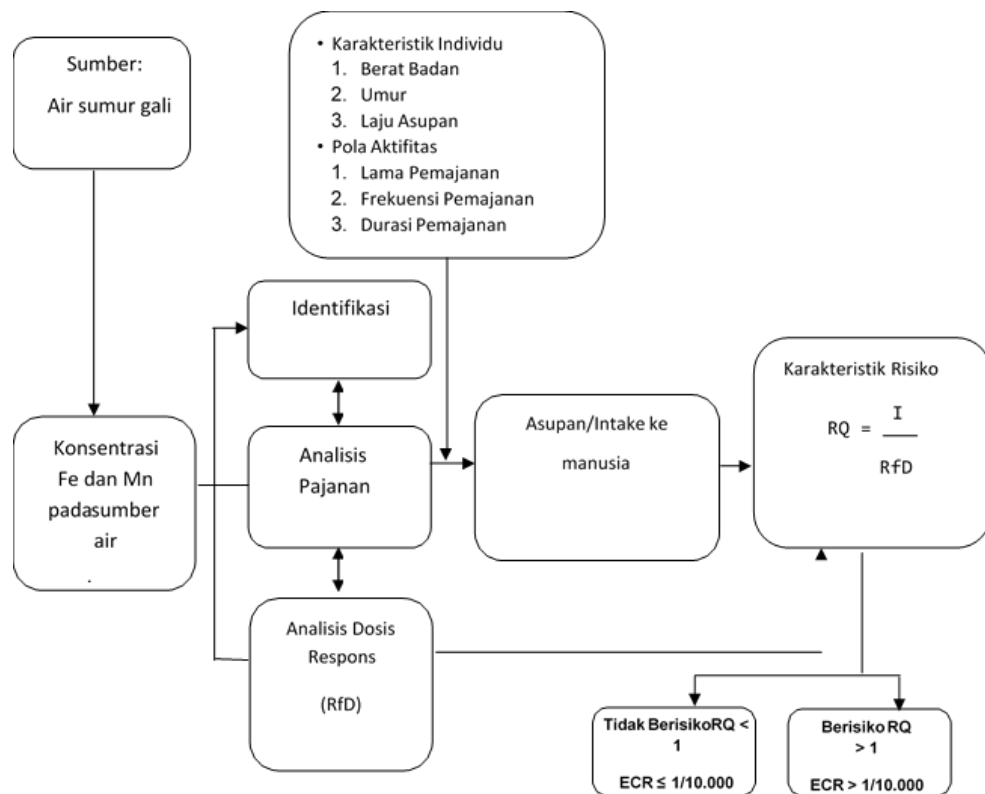
Komunikasi risiko dilakukan untuk menyampaikan informasi risiko pada masyarakat (populasi yang berisiko), pemerintah dan pihak yang berkepentingan. Komunikasi risiko juga merupakan tindak lanjut dari ARKL dan merupakan tanggung jawab dari pihak yang menyebabkan terjadinya risiko (pemrakarsa).

Dalam komunikasi risiko harus menggunakan bahasa yang umum dan mudah dipahami serta menjelaskan semua informasi yang dibutuhkan tanpa ada yang dirahasiakan. Komunikasi risiko dapat dilakukan menggunakan metode ceramah ataupun diskusi interaktif, menggunakan media komunikasi seperti media massa, televisi dan radio ataupun penyajian dalam format pemetaan menggunakan geographical information system (GIS).



## B. KERANGKA TEORI

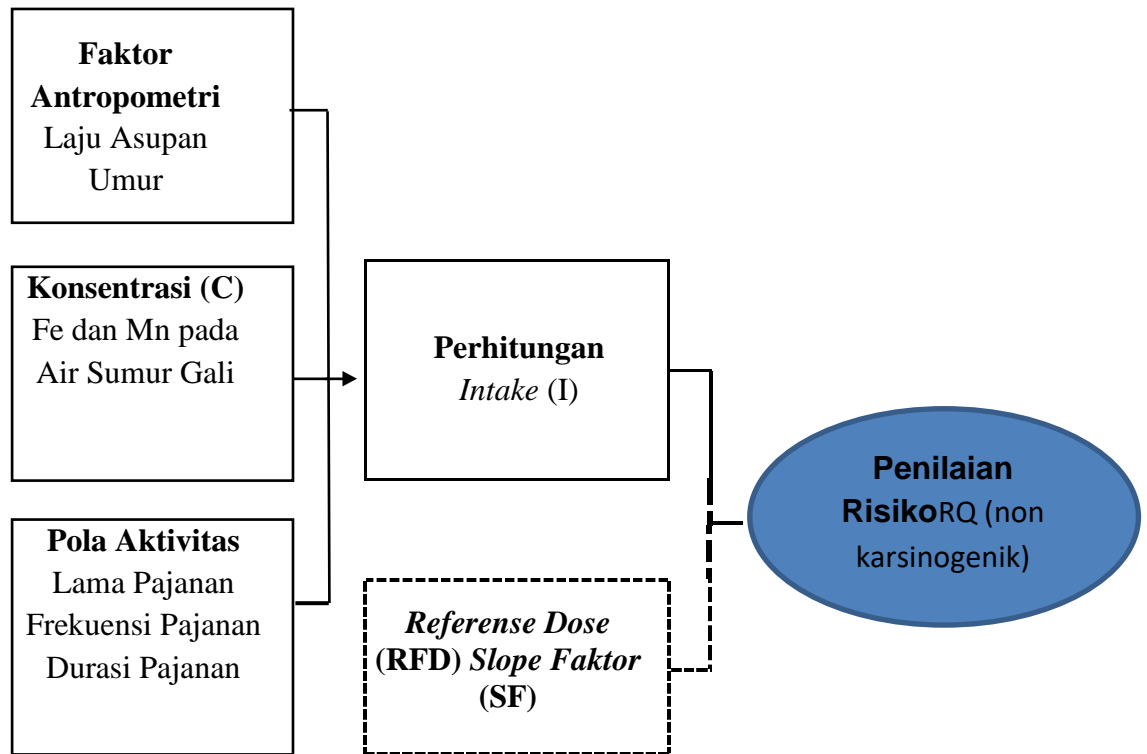
Teori adalah alur logika atau penalaran, yang merupakan seperangkat konsep, definisi, dan proposisi yang disusun secara sistematis (Sugiyono 2017). Berdasarkan tinjauan pustaka, disusun suatu kerangka teori bagaimana Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan pada Air Minum Masyarakat di Desa Sudimoro kecamatan Semaka, Tanggamus, Lampung, yang skemanya disajikan pada gambar berikut ini:



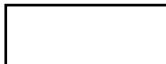

**Gambar 4**  
**Kerangka Teori Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan**  
*Sumber: Dirjen P2PL Kemenkes (2012), ATSDR (2004).*

### C. KERANGKA KONSEP

Kerangka konsep ini terdiri dari variabel dependen dan variabel independent. Hubungan antara variabel independen dan variabel dependen digambarkan dalam bagan dibawah ini:



Keterangan:

 Variabel Bebas     Variabel yang diteliti

 Variabel Terikat     Tidak diteliti

**Gambar 5 Kerangka Konsep**

## D. VARIABEL DAN DEFINISI OPERASIONAL

### 1) Variabel

Variabel penelitian merupakan suatu identitas atau sifat atau nilai dari objek yang telah ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga menghasilkan informasi tentang hal yang diteliti, kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2017).

Pada penelitian ini yang menjadi variabel Independen atau variabel bebas yaitu: Faktor Antropometri (Laju asupan umur), Konsentrasi (C) yaitu Fe dan Mn pada sumur gali, Pola Aktivitas (Lama pajanan, Frekuensi pajanan, Durasi pajanan), dan Perhitungan/*Intake* (*I*). Serta yang menjadi variabel dependen atau variabel terikat adalah Penilaian Risiko/RQ (non karsinogenik).

2) Definisi Operasional

Tabel 6. Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Cara Pengumpulan Data	Satuan/ Kategori	Skala Data
1	Intake/ Asupan	Jumlah asupan <i>risk agent</i> yang diterima individu dengan berat badan tertentu setiap harinya	Berdasarkan perhitungan rumus $I_{nk} = \frac{C \times R \times f_e \times D_t}{W_b \times t_{avg}}$	mg/kg x hari	Rasio
2	C (Concentration)/ Konsentrasi (Fe) dan (Mn) pada air sumur gali	Konsentrasi agent risiko {(Fe) dan (Mn)} pada air bersih/ air minum atau pada makanan	Pemeriksaan Pajanan (Fe) dan (Mn) di Laboratorium dengan AAS ( <i>Atomic Absorption Spectrofotometry</i> ) /Spektrofotometri Serapan Atom	Mg/l (air)	Rasio
3	R ( <i>Rate</i> )/ Laju Asupan	Laju konsumsi atau banyaknya air volume air yang masuk setiap harinya	Berdasarkan nilai yang telah ditentukan yaitu untuk dewasa 2 liter/hari dan anak-anak 1 liter/ hari	Liter/hari	Rasio
4	Frekuensi Pajanan (fE)	Lamanya atau jumlah hari terjadinya pajanan setiap tahunnya	Wawancara	Hari/tahun	Rasio
5	Durasi Pajanan (Dt)	Lamanya atau jumlah tahun terjadinya pajanan	Wawancara	Tahun	Rasio
6	Periode waktu rata – rata ( $t_{avg}$ )	Periode waktu rata– rata hari untuk efek non karsinogen) memakai angka <i>default</i> 365 hari/tahun mengacu pada faktor-fakrtor	Data EPA	Hari	Rasio

---

		pemajan Amerika (Rahman, <i>et. al.</i> , 2008)			
7	Dosis Referensi (RfD/RfC)	Nilai referensi agen risiko pada pemajanan ingesti/ tertelan. Didapat dari situs <a href="http://www.epa.gov/iris">www.epa.gov/iris</a>	Data EPA.	Mg/l/hari	Rasio
8	Risiko non karsinogenik (RQ)	Besaran risiko kesehatan non karsinogenik pada populasi yang diakibatkan oleh pajanan (Fe) dan (Mn). Nilai ini dipengaruhi oleh konsentrasi.	Perhitungan RQ ( <i>Risk Quotient</i> ) untuk efek non karsinogenik $RQ = \frac{Ink}{RFD}$	RQ > 1 = tidak aman dan RQ < 1 = aman.	Rasio

---