

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Air Bersih**

Air bersih adalah air yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum setelah dimasak (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 416/Menkes/Per/IX/1990). Air yang berada dipermukaan bumi berasal dari berbagai sumber, berdasarkan letak sumbernya air dapat dibagi sebagai berikut (Pitojo, dkk, 2003).

##### **1. Air Angkasa (Air Hujan)**

Air angkasa atau air hujan jumlahnya sangat terbatas dipengaruhi oleh musim, jumlah, intensitas dan distribusi air hujan. Kualitas air hujan sangat dipengaruhi oleh kualitas udara atau atmosfer di daerah tersebut. Pencemaran yang mungkin timbul antara lain berupa debu dan gas. Kualitas air hujan relatif baik namun kurang mengandung mineral dan sifatnya mirip air suling. Jumlah hujan yang jatuh di suatu daerah selama waktu tertentu disebut dengan curah hujan.

##### **2. Air Permukaan**

Air permukaan pada hakikatnya banyak tersedia di alam. Kondisi air permukaan sangat beragam karena tergantung dari daerah yang dilewati oleh aliran air. Pada umumnya kekeruhan air permukaan cukup tinggi karena banyak mengandung lempung dan substansi organik. Air permukaan tersebut

dimanfaatkan untuk kepentingan masyarakat setelah melalui proses pengolahan tertentu.

### 3. Air tanah

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah, terdapat diantara butiran butiran tanah atau dalam retakan bebatuan. Permasalahan air tanah yang mungkin timbul adalah tingginya kandungan *total dissolved solid* (TDS), besi (Fe), mangan (Mn), dan kesadahan air yang berasal dari mata air dikaki gunung atau disepanjang aliran sungai atau berasal dari sumur gali, sumur pantek, sumur bor tangan yang kedalamannya antara 15-30 meter atau lebih.

## **B. Air Minum**

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI. (Permenkes RI No.492/MenKes/Per/IV/2010).

Berdasarkan peraturan tersebut air minum yang aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter wajib merupakan persyaratan kualitas air minum yang wajib diikuti dan ditaati oleh seluruh penyelenggara air minum.

Adapun parameter wajib terdiri dari parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan dan parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan. Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan terdiri dari

parameter mikrobiologi dan kimia anorganik sedangkan parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan terdiri dari parameter fisik dan parameter kimiawi. Untuk memenuhi parameter mikrobiologi air minum tidak boleh mengandung bakteri *Coliform* (jenis coli) baik fecal (misal *Escheresia coli*) maupun non fecal (misal *Enterobacter aerogenes*). Parameter kimia an organik meliputi Arsen, Fluorida, Total Kromium, Kadmium, Nitrit sebagai NO<sub>2</sub>, Nitrat sebagai NO<sub>3</sub>, Sianida dan Selenium. Parameter fisik yang meliputi air minum tidak berbau, tidak berwarna, total zat terlarut (TDS) maksimal 500 TCU, kekeruhan maksimal 5 NTU, tidak berasa dan suhu +3<sup>0</sup>C dari suhu saat itu. Sedangkan Parameter kimia meliputi Alumunium, Besi, Kesadahan, Khlorida, Mangan, pH,. Seng, Sulfat, Tembaga, Amonia. Dimana kadar maksimum parameter tersebut sudah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MenKes/IV/2010.

Untuk menjaga kualitas air minum yang dikonsumsi masyarakat dilakukan pengawasan kualitas air minum secara eksternal dan internal. Pengawasan kualitas air minum secara eksternal merupakan pengawasan yang dilakukan oleh Dinas Kesehatan Kabupaten/kota yang meliputi Inspeksi Sanitasi (IS), pengambilan sampel air, pengujian kualitas air, analisis hasil laboratorium, rekomendasi, dan tindak lanjut. Pengawasan kualitas air minum secara internal merupakan pengawasan yang dilaksanakan oleh penyelenggara air minum untuk menjamin kualitas air minum yang diproduksi sesuai dengan peraturan. Pengawasan kualitas secara eksternal dan internal dilakukan dengan cara pemeriksaan kualitas air

minum dengan uji laboratorium untuk mengetahui cemaran bakteri *Coliform* (bakteri jenis coli) ataupun cemaran *Escheria coli* (*E.coli*). Metode yang lazim digunakan dalam uji laboratorium untuk pemeriksaan mikrobiologi adalah dengan Metode tabung ganda. Berdasarkan Permenkes RI No.492/MenKes/Per/IV/2010 setiap 100 ml sampel yang diperiksa tidak boleh mengandung bakteri jenis coli.

Berdasarkan Permenkes RI No.492/MenKes/Per/IV/2010 Penyelenggara air minum adalah badan usaha milik negara/badan usaha milik daerah, koperasi, badan usaha swasta, usaha perseorangan, kelompok masyarakat, dan atau individual yang melakukan penyelenggaraan penyediaan air minum. Penyelenggara air minum menggunakan air dari berbagai sumber air bersih sebagai bahan baku untuk penyediaan air minum. Pengolahan air bersih menjadi air minum dapat dilakukan dengan cara yang sederhana dan dengan teknologi pengolahan air minum. Pengolahan air minum dengan cara sederhana yaitu dengan cara merebus air baku sampai mendidih kemudian mendinginkannya. Pengolahan air bersih menjadi air minum dengan teknologi dengan proses penyaringan (*Filtrasi*), proses desinfeksi menggunakan ozonisasi, penyinaran ultraviolet, teknologi membran atau dikenal dengan teknologi *Reverse Osmosis* (RO) telah digunakan oleh penyelenggara air minum dalam kemasan dan penyelenggara air minum isi ulang atau Depot air minum (DAM) (Pitojo, dkk, 2013).

### **C. Depot Air Minum (DAM)**

Depot Air Minum yang selanjutnya disingkat DAM adalah usaha industri yang melakukan proses pengolahan air baku menjadi air minum dan menjual langsung kepada konsumen (PerMenkes RI No 43 Tahun 2014 tentang Hygiene Sanitasi Depot Air Minum). Dimana setiap DAM wajib:

1. Menjamin air minum yang dihasilkan memenuhi standar baku mutu atau persyaratan kualitas air minum sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.
2. Memenuhi persyaratan hygiene sanitasi dalam pengelolaan air minum.

Proses pengolahan air pada Depot Air Minum (DAM) pada prinsipnya adalah *filtrasi* (penyaringan) dan desinfeksi. Proses *filtrasi* dimaksudkan selain untuk memisahkan kontaminan tersuspensi juga memisahkan campuran yang berbentuk koloid termasuk mikroorganisme dari dalam air. Desinfeksi bertujuan untuk membunuh mikroorganisme yang tidak tersaring pada proses sebelumnya.

Peralatan yang digunakan pada Depot Air Minum (DAM) untuk mengolah air baku menjadi air minum adalah :

1. *Storage tank* berguna untuk penampungan air baku.
2. *Stainless water pump* yang mempunyai 3 fungsi :
  - a. Tabung yang pertama aktif *sand media filter* untuk menyaring partikel – partikel yang kasar dengan bahan dari pasir atau jenis lain yang efektif dengan fungsi yang sama.
  - b. Tabung yang kedua adalah *anthracite filter* berfungsi untuk menghilangkan kekeruhan dengan hasil yang maksimal dan efisien.

- c. Tabung yang ketiga adalah *granula karbon aktif*, karbon yang berfungsi untuk menyerap debu, rasa, warna, sisa chlor dan bahan organik.
3. Micro filter merupakan saringan yang terbuat dari *polypropylene fiber* berguna untuk menyaring air dengan diameter 10 mikron, 5 mikron, 1 mikron dan 0,4 mikron dengan maksud untuk memenuhi persyaratan air minum.
4. *Flow meter* untuk mengukur air yang mengalir ke dalam galon isi ulang.
5. Lampu ultraviolet atau ozon berguna untuk desinfeksi sterilisasi pada air yang telah diolah.
6. Galon isi ulang digunakan sebagai tempat menampung air minum.

(Kajian Pustaka Kesehatan Lingkungan, 2014)

#### **D. Pengoperasian dan pemeliharaan alat pengolahan air minum pada DAM**

Menurut Keputusan Menperindag RI Nomor 651/MPP/Kep/10/2004 tentang Persyaratan Teknis Depot Air Minum dan Perdagangannya, urutan proses produksi (pengoperasian) air minum di Depot Air Minum (DAM) adalah sebagai berikut :

1. Penampungan air baku dan syarat bak penampung.

Air baku yang digunakan bisa berasal dari sumber air bersih (SGL, PDAM, Mata Air) diambil dari sumbernya diangkut dengan menggunakan tangki selanjutnya ditampung dalam bak penampung (*reservoir*). Bak penampung harus terbuat dari bahan tara pangan (*food grade*), tahan korosif agar terbebas dari bahan yang mencemari air Timah hitam (Pb), Zeng (Zn), Tembaga (Cu)

dan Cadmium (Cd). Tertutup mudah dibersihkan dan disterilisasi luar serta dalam minimal 3 bulan sekali.

## 2. Penyaringan

Penyaringan bertahap terdiri atas :

- a. Saringan berasal dari pasir atau saringan lain yang efektif dan berfungsi sama. Fungsi saringan pasir adalah menyaring partikel – partikel yang kasar. Bahan yang digunakan adalah silica ( $\text{SiO}_2$ ) minimal 80%.
- b. Saringan karbon aktif yang berasal dari batubara atau arang batok kelapa berfungsi menyerap bau, rasa, warna, sisa chlor dan bahan organik.
- c. Saringan lainnya yang berfungsi sebagai saringan halus berukuran 10 mikron.

Sistem pencucian terbalik (*back washing*) adalah cara pembersihan tabung filter dengan cara mengalirkan air tekanan tinggi secara terbalik sehingga kotoran atau residu yang selama ini tersaring dapat terbuang keluar. Untuk DAM yang tidak menggunakan sistem *back washing* maka harus memiliki jadwal penggantian tabung mikro filter secara rutin.

## 3. Desinfeksi

Desinfeksi dilakukan untuk membunuh kuman patogen yang tidak tersaring pada proses sebelumnya dengan menggunakan Ozon ( $\text{O}_3$ ) atau dengan penyinaran Ultra Violet (UV) dengan panjang gelombang 254 nm atau kekuatan  $2537^0\text{A}$  dengan intensitas minimum 10.000 mw detik per  $\text{cm}^2$ . Alat

sterilisasi/desinfeksi yang digunakan harus berfungsi dan digunakan secara benar, contohnya jika kemampuan peralatan tersebut 8 GPM (*gallon per minute*) berarti kran pengisian depot digunakan untuk mengisi maksimal 1,5 botol galon per menit nya.

#### 4. Pembilasan, pencucian dan sterilisasi wadah

Wadah yang digunakan adalah wadah yang terbuat dari bahan tara pangan (*food grade*) dan bersih. Depot Air Minum (DAM) wajib memeriksa wadah yang dibawa konsumen dan menolak wadah yang dianggap tidak layak sebagai tempat air minum. Wadah yang akan diisi harus dibersihkan dengan air minum produk atau bila harus dicuci dengan deterjen harus digunakan deterjen untuk alat makan (*food grade*) kemudian membilasnya dengan air minum produk sampai bersih. Bila pembersihan menggunakan mesin sikat harus berhati-hati dan hanya sekitar 30 detik. Hal ini untuk menghindari tergoresnya bagian dalam botol/galon.

#### 5. Pengisian

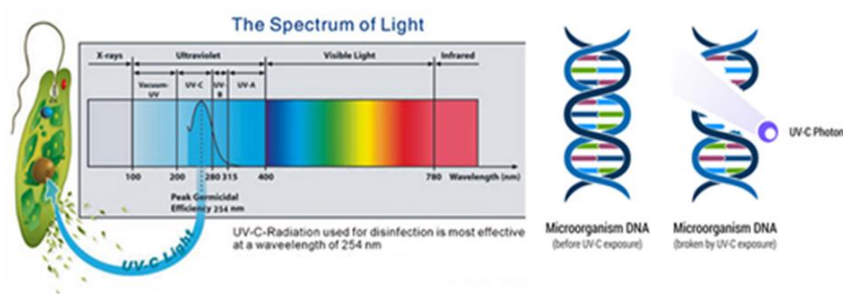
Pengisian wadah air minum dilakukan dengan menggunakan alat dan mesin serta dilakukan dalam tempat pengisian yang higienis dan tertutup.

### **E. Sinar Ultraviolet**

Sinar ultraviolet adalah sinar yang tidak dapat dilihat oleh mata dan merupakan radiasi elektromagnetik yang berada pada kisaran panjang gelombang 100-400 nm. Sinar ultraviolet ditemukan sejak tahun 1677 dan pertama kali dimanfaatkan oleh Niels Ryberg Finsen, seorang peneliti Denmark untuk



membunuh organisme patogen. Sinar ultraviolet dibedakan menjadi UV-A, UV-B, UV-C dan UV vakum yang didasarkan pada perbedaan karakteristik panjang gelombang (315-380 nm, 280-315 nm, 200-280 nm, 100-200 nm). Sinar ultraviolet yang paling efektif menginaktivkan mikroorganisme adalah sinar UV-C dengan puncak daya bunuh mikroorganisme ada pada panjang gelombang 264 nm.



Gambar 1. Spektrum cahaya  
 Sumber : [www.emperoquatic.com](http://www.emperoquatic.com)

Sinar ultraviolet menjadi sangat penting karena akan sangat mempengaruhi kemampuan deaktifasi mikroorganisme patogen. Secara keseluruhan kemampuan deaktifasi ini berkaitan dengan dosis sinar ultraviolet yang dihasilkan. Dosis yang dimaksudkan (D) adalah proporsi dosis radiasi per unit area (intensitas) sinar ultraviolet (I) dan waktu exposure (t), sehingga muncul persamaan :

$$D = It$$

Ket. :

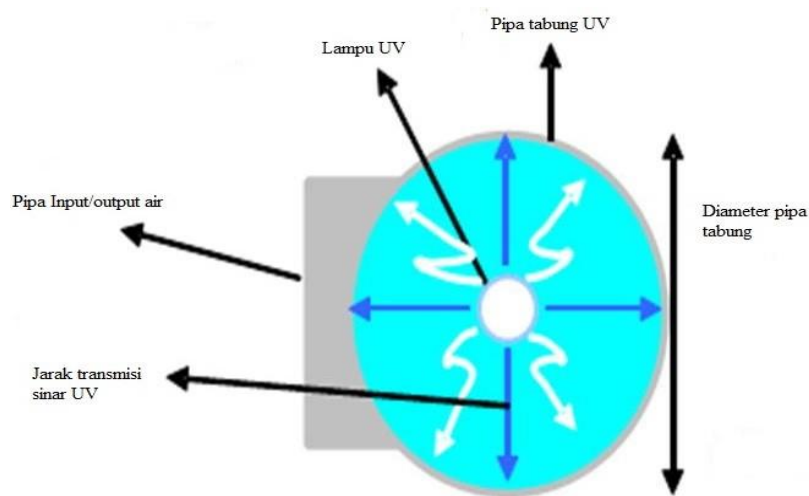
D : Dosis

I : Intensitas sinar UV

t : waktu terkena sinar UV

Satuan dosis yang digunakan berdasarkan persamaan di atas adalah  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  (microwatt-detik per sentimeter persegi) atau intensitas radiasi per satuan luas.

Efektivitas sinar ultraviolet sangat tergantung pada daya (watt) lampu, usia pakai lampu, panjang lampu, kebersihan permukaan lampu, jarak antara permukaan lampu dengan target, jenis organisme, waktu interaksi antara sinar dengan mikroorganisme, dan kejernihan air.



Gambar 2. Posisi lampu UV di dalam chamber (pipa)

Dari persamaan di atas kemudian lebih diuraikan menjadi sebuah persamaan yang dapat diaplikasikan dalam menghitung dosis sinar ultraviolet pada alat air minum isi ulang. Persamaan tersebut menjadi :

$$D = P/ST_0 L_t$$

Ket. :

D : Dosis radiasi ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ )

P : Efek radiasi (W)

S : Luas permukaan yang teradiasi (cm<sup>2</sup>)

L : Ketebalan lapisan air yang diradiasi (cm)

T : waktu terkena sinar UV

Selain faktor di atas ada beberapa factor yang mempengaruhi kemampuan deaktivasi sinar ultraviolet yaitu Kepadatan, pH dan kandungan Besi dalam air (Lekang, 2007).

#### **F. Pemeriksaan kualitas mikrobiologi air minum metode tabung ganda**

Pemeriksaan kualitas air secara mikrobiologi ditunjukkan dengan kehadiran bakteri jenis coli (*Coliform*) sebagai indikator cemaran. (Ramona dkk, 2007). Ciri ciri bakteri jenis coli bentuk batang, gram negatif, tidak membentuk spora, aerobik atau an aerobik fakultatif yang memfermentasikan laktosa dengan menghasilkan asam dan gas dalam waktu 2 x 24 jam pada suhu 37°C (Pelczar dan Chan, 2006). Adanya bakteri dalam air bersih dan air minum menunjukkan adanya mikroba yang bersifat *enteropatogenik* yang berbahaya bagi kesehatan (Dwijoseputro, 2005).

Pemeriksaan air minum secara mikrobiologis menggunakan tabung ganda terdiri dari 3 tahap yaitu :

##### **1. *Presumptive test* (Pengujian Perkiraan)**

Pada uji perkiraan menggunakan multi tabung fermentasi atau membrane filtrasi. Sampel air pada penggunaan multi tabung fermentasi diisikan dengan volume 10 ml, 1 ml, dan 0,1 ml. Hal ini untuk menginokulasi *Lauryl tryptose*

*broth*. Tabung yang menghasilkan gas dinyatakan positif dan dilanjutkan uji penegasan.

## 2. *Confirmed test* (Pengujian Penegasan)

Pada uji ini digunakan *Brilliant Green Lactose Bile (BGLB) broth*. Medium ini mengandung *lactose* dan *oxgall* yang digunakan untuk menyeleksi *coliform*. Prosedur ini selain menggunakan tabung *lauryl tryptose* juga digunakan tabung durham kecil. Tabung *Brilliant Green* diinokulasi oleh koloni *coliform* dengan piring pada teknik filtrasi membrane atau tabung positif pada fermentasi multi tabung. Tabung durham yang memproduksi gas dinyatakan positif. Jika tabung *Brilliant Green* yang positif dari tabung *lauryl tryptose* kemudian ditentukan dengan nilai MPN.

## 3. *Completed Test* (Pengujian Lengkap)

Pengujian ini memeriksa spot yang dihasilkan. Setiap hasil sampel positif tabung *Brilliant Green* ditanamkan bergaris pada piring *MacConkey agar* atau *LES Endo agar* dan diinkubasi pada suhu 35<sup>0</sup>C selama 24 jam. Koloni yang terisolasi dipilih baik *coliform* tipikal dan non tipikal ditanamkan bergaris di atas tabung *lauryl tryptose* dan *nutrient agar slants*. Hal ini bertujuan memperoleh membersihkan isolasi. *Nutrient agar slants* digunakan untuk pewarnaan Gram mikroorganisme yang menunjukkan bakteri batang gram negative. Hal ini sebagai ciri kelompok bakteri coli (Burlage, 2012).

## **G. Standar Baku Air Minum Isi Ulang**

Standar mutu air minum atau air untuk kebutuhan rumah tangga ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan Kualitas Air Minum. Standar baku air minum tersebut disesuaikan dengan Standar Internasional yang dikeluarkan WHO.

Standar kualitas air tersebut bertujuan untuk memelihara, melindungi dan mempertinggi derajat kesehatan masyarakat, terutama dalam pengolahan air atau kegiatan usaha mengolah dan mendistribusikan air minum untuk masyarakat umum. Dengan adanya standarisasi tersebut, dapat dinilai kelayakan pendistribusian sumber air untuk keperluan rumah tangga. (Kusnaedi, 2010)

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor : 492/Menkes/Per/IV/2010 Tanggal : 19 April 2010 tentang PERSYARATAN KUALITAS AIR MINUM

## I. PARAMETER WAJIB

Pada parameter wajib mencakup parameter yang berhubungan langsung dan tidak langsung dengan kesehatan.

### A. Parameter yang langsung berhubungan dengan kesehatan

Adapun parameter ini terbagi menjadi 2 kategori:

#### 1. Parameter Mikrobiologi

a. *Eschericia coli* : 0 jumlah per 100 ml sampel

b. Total Bakteri *Coliform* : 0 jumlah per 100 ml sampel

#### 2. Parameter Kimia Anorganik

a. Arsen :  $\leq 0,01$  mg/L

- b. Fluorida :  $\leq 1,5$  mg/L
- c. Total Kromium :  $\leq 0,05$  mg/L
- d. Kadmium :  $0,003$  mg/L
- e. Nitrit (sebagai  $\text{NO}_2^-$ ) :  $\leq 3$  mg/L
- f. Nitrat (sebagai  $\text{NO}_3^-$ ) :  $\leq 50$  mg/L
- g. Sianida :  $\leq 0,07$  mg/L
- h. Selenium :  $\leq 0,01$  mg/L

**B. Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan**

Untuk parameter ini terbagi atas 2 kategori:

**1. Parameter Fisik**

- a. Bau : tidak berbau
- b. Warna  $\leq 15$  TCU
- c. Total zat padat terlarut (TDS) :  $\leq 500$  mg/L
- d. Kekerusuhan (turbidity) :  $\leq 5$  NTU
- e. Rasa : tidak berasa
- f. Suhu : suhu udara  $\pm 3^{\circ}\text{C}$

**2. Parameter Kimiawi**

- a. Aluminium :  $\leq 0,2$  mg/L
- b. Besi :  $\leq 0,3$  mg/L
- c. Kesadahan (hardness) :  $\leq 500$  mg/L
- d. Klorida :  $\leq 250$  mg/L
- e. Mangan :  $\leq 0,4$  mg/L

- f. pH : 6,5 – 8,5
- g. Seng :  $\leq 3$  mg/L
- h. Sulfat :  $\leq 250$  mg/L
- i. Tembaga :  $\leq 2$  mg/L
- j. Amonia :  $\leq 1,5$  mg/L

## II. PARAMETER TAMBAHAN

Pada peraturan ini disebutkan juga persyaratan lain terkait dengan senyawa-senyawa kimia yang berbahaya bagi kesehatan sebagai parameter tambahan. Hal ini diatur dalam 2 jenis, kimiawi dan radioaktifitas.

### A. Kimiawi

Adapun parameter ini terbagi menjadi 2 kategori:

#### 1. Bahan Anorganik

- a. Air Raksa :  $\leq 0,001$  mg/L
- b. Antimon :  $\leq 0,02$  mg/L
- c. Barium :  $\leq 0,7$  mg/L
- d. Boron :  $\leq 0,5$  mg/L
- e. Molybdenum :  $\leq 0,07$  mg/L
- f. Nikel :  $\leq 0,07$  mg/L
- g. Sodium :  $\leq 200$  mg/L
- h. Timbal :  $\leq 0,01$  mg/L
- i. Uranium :  $\leq 0,015$  mg/L

#### 2. Bahan Organik

- a. Zat Organik (KmnO<sub>4</sub>) : ≤ 10 mg/L
- b. Deterjen : ≤ 0,05 mg/L
- c. Chlorinated alkanes
  - 1) Carbon tetrachloride : ≤ 0,004 mg/L
  - 2) Dichloromethane : ≤ 0,02 mg/L
  - 3) 1,2-Dichloroethane : ≤ 0,05 mg/L
- d. Chlorinated ethenes
  - 1) 1,2-Dichloroethene : ≤ 0,05 mg/L
  - 2) Trichloroethene : ≤ 0,02 mg/L
  - 3) Tetrachloroethene : ≤ 0,04 mg/L
- e. Aromatic hydrocarbons
  - 1) Benzene : ≤ 0,01 mg/L
  - 2) Toluene : ≤ 0,7 mg/L
  - 3) Xylenes : ≤ 0,5 mg/L
  - 4) Ethylbenzene : ≤ 0,3 mg/L
  - 5) Styrene : ≤ 0,02 mg/L
- f. Chlorinated benzenes
  - 1) 1,2-Dichlorobenzene (1,2-DCB) : ≤ 1 mg/L
  - 2) 1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB) : ≤ 0,3 mg/L
- g. Lain-lain
  - 1) Di(2-ethylhexyl)phthalate : ≤ 0,008 mg/L
  - 2) Acrylamide : ≤ 0,0005 mg/L



- 3) Epichlorohydrin :  $\leq 0,0004$  mg/L
- 4) Hexachlorobutadiene :  $\leq 0,0006$  mg/L
- 5) Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) :  $\leq 0,6$  mg/L
- 6) Nitrilotriacetic acid (NTA) :  $\leq 0,2$  mg/L

### 3. Pestisida

- a. Alachlor :  $\leq 0,02$  mg/L
- b. Aldicarb :  $\leq 0,01$  mg/L
- c. Aldrin dan dieldrin :  $\leq 0,00003$  mg/L
- d. Atrazine :  $\leq 0,002$  mg/L
- e. Carbofuran :  $\leq 0,007$  mg/L
- f. Chlordane :  $\leq 0,0002$  mg/L
- g. Chlorotoluron :  $\leq 0,03$  mg/L
- h. DDT :  $\leq 0,001$  mg/L
- i. 1,2-Dibromo-3-chloropropane (DBCP) :  $\leq 0,001$  mg/L
- j. 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) :  $\leq 0,03$  mg/L
- k. 1,2-Dichloropropane :  $\leq 0,04$  mg/L
- l. Isoproturon :  $\leq 0,009$  mg/L
- m. Lindane :  $\leq 0,002$  mg/L
- n. MCPA :  $\leq 0,002$  mg/L
- o. Methoxychlor :  $\leq 0,02$  mg/L
- p. Metolachlor :  $\leq 0,01$  mg/L
- q. Molinate :  $\leq 0,006$  mg/L

- r. Pendimethalin :  $\leq 0,02$  mg/L
- s. Pentachlorophenol (PCP) :  $\leq 0,009$  mg/L
- t. Permethrin :  $\leq 0,3$  mg/L
- u. Simazine :  $\leq 0,002$  mg/L
- v. Trifluralin :  $\leq 0,02$  mg/L
- w. Chlorophenoxy herbicides selain 2,4 D- dan MCPA
  - 1) 2,4-DB :  $\leq 0,09$  mg/L
  - 2) Dichlorprop :  $\leq 0,1$  mg/L
  - 3) Fenoprop :  $\leq 0,009$  mg/L
  - 4) Mecoprop :  $\leq 0,001$  mg/L
  - 5) 2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid :  $\leq 0,009$  mg/L

#### 4. Desinfektan dan Hasil Sampingannya

##### a. Desinfektan

Chlorine :  $\leq 5$  mg/L

##### b. Hasil Sampingan

1) Bromate :  $\leq 0,01$  mg/L

2) Chlorate :  $\leq 0,7$  mg/L

3) Chlorite :  $\leq 0,7$  mg/L

##### c. Chlorophenols

1) 2,4,6-Trichlorophenol (2,4,6-TCP) :  $\leq 0,2$  mg/L

2) Bromoform :  $\leq 0,1$  mg/L

3) Dibromochloromethane (DBCM) :  $\leq 0,1$  mg/L

- 4) Bromodichloromethane (BDCM) :  $\leq 0,06$  mg/L
- 5) Chloroform :  $\leq 0,3$  mg/L
- d. Chlorinated acetic acids
  - 1) Dichloroacetic acid :  $\leq 0,05$  mg/L
  - 2) Trichloroacetic acid :  $\leq 0,02$  mg/L
- e. Halogenated acetonitrilies
  - 1) Dichloroacetonitrile :  $\leq 0,02$  mg/L
  - 2) Dibromoacetonitrile :  $\leq 0,07$  mg/L
- f. Cyanogen chloride (sebagai CN) :  $\leq 0,07$  mg/L

#### B. Radioaktivitas

Meliputi 2 kategori:

- 1. Gross alpha activity :  $\leq 0,1$  Bq/L
- 2. Gross beta activity :  $\leq 1$  Bq/L

#### G. Bakteri *Coliform*

Bakteri *Coliform* adalah golongan bakteri intestinal, yaitu hidup dalam saluran pencernaan manusia. Bakteri *Coliform* adalah bakteri indikator keberadaan bakteri patogenik lain. Lebih tepatnya, sebenarnya, bakteri *Coliform* fekal adalah bakteri indikator adanya pencemaran bakteri patogen. Penentuan *Coliform* fekal menjadi indikator pencemaran dikarenakan jumlah koloninya pasti berkorelasi positif dengan keberadaan bakteri patogen. Selain itu, mendeteksi *Coliform* jauh lebih murah, cepat, dan sederhana daripada mendeteksi bakteri patogenik lain. Contoh bakteri *Coliform* adalah, *Esherichia*

*coli* dan *Entereobacter aerogenes*. Jadi, *Coliform* adalah indikator kualitas air. Makin sedikit kandungan *coliform*, artinya, kualitas air semakin baik. Terdapatnya bakteri *Coliform* dalam air dapat menjadi indikasi kemungkinan besar adanya organisme patogen lainnya. Bakteri *Coliform* dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu faecal *Coliform* dan non-faecal *coliform*. *E. coli* adalah bagian dari faecal *coliform*. Keberadaan *E. coli* dalam air dapat menjadi indikator adanya pencemaran air oleh tinja. *E. coli* digunakan sebagai indikator pemeriksaan kualitas bakteriologis secara universal dalam analisis dengan alasan;

1. *E. coli* secara normal hanya ditemukan di saluran pencernaan manusia (sebagai flora normal) atau hewan mamalia, atau bahan yang telah terkontaminasi dengan tinja manusia atau hewan; jarang sekali ditemukan dalam air dengan kualitas kebersihan yang tinggi.
2. *E. coli* mudah diperiksa di laboratorium dan sensitivitasnya tinggi jika pemeriksaan dilakukan dengan benar.
3. Bila dalam air tersebut ditemukan *E. coli*, maka air tersebut dianggap berbahaya bagi penggunaan domestic.
4. Ada kemungkinan bakteri enterik patogen yang lain dapat ditemukan bersama-sama dengan *E. coli* dalam air tersebut. (Pelczar,2006)

Adanya hubungan antara tinja dengan *Coliform*, maka bakteri ini dijadikan indikator alami kehadiran materi fekal. Sehingga, jika pada suatu substrat atau benda didapatkan bakteri ini maka langsung ataupun tidak langsung substrat atau benda tersebut sudah dicemari oleh materi fekal. Kehadiran bakteri *Coliform*

dalam jumlah tertentu di dalam substrat ataupun benda, misalnya air dan bahan makanan, juga merupakan indikator kehadiran bakteri penyakit lainnya.

#### **H. Mekanisme proses desinfeksi sinar UV pada bakteri**

Mekanisme pada proses desinfeksi menggunakan sinar UV adalah dengan cara merusak DNA pada inti sel. Sinar UV yang digunakan untuk proses desinfeksi adalah sinar UV tak tampak dengan panjang gelombang 100-400 nm. Dampak dari sinar ultraviolet adalah :

1. Sinar ultraviolet menyebabkan rantai DNA putus pada ikatan Hidrogen yaitu pada basa nitrogen sehingga terjadi modifikasi-modifikasi kimia dari nucleoprotein serta menimbulkan hubungan silang antara moleku-molekul timin yang berdekatan dengan berikatan secara kovalen yang menyebabkan salah baca kode genetic pada proses sintesis protein sehingga terjadi mutasi gen yang mengakibatkan rusak atau lemahnya fungsi organ-organ vital bakteri yang kemudian menjadikan bakteri mati.
2. Sinar ultraviolet mengganggu proses replikasi pada bakteri karena terbentuk ikatan rangkap 2 pada molekul pirimidin yang menyebabkan hilangnya sifat patogenitas dan kerusakan membrane sel.
3. Pirimidin sangat kuat menyerap sinar ultraviolet pada panjang gelombang 254 nm yang menyebabkan timin reaktif dan membentuk dimer timin sehingga mengganggu rantai helix DNA yang akhirnya menghambat proses replikasi bakteri secara akurat.

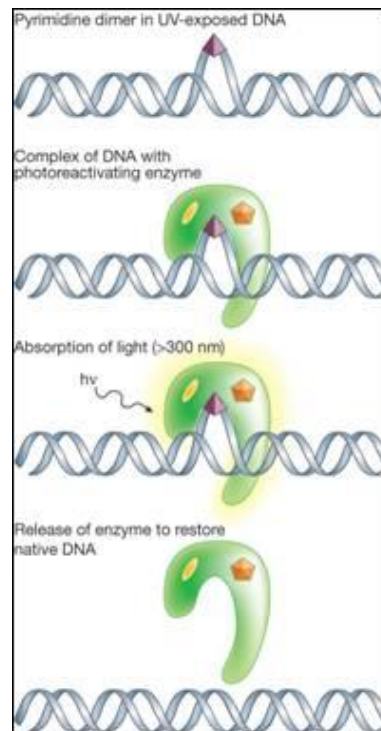
Namun, bakteri memiliki kemampuan seluler untuk memperbaiki bagian DNA yang rusak dengan tujuan meminimalisir instabilitas genetik. Kemampuan ini disebut *DNA Repair*. Menurut Kusnadi, dkk (2013), *DNA repair* merupakan suatu mekanisme perbaikan DNA yang mengalami kerusakan atau kesalahan yang diakibatkan oleh proses metabolisme yang tidak normal, radiasi dengan sinar UV, radiasi ion, radiasi dengan bahan kimia, atau karena adanya kesalahan dalam replikasi. Kusnadi, dkk (2013) juga menyebutkan bahwa proses *fotoreaktivasi* terjadi karena dibantu oleh cahaya tampak dalam rentang 320-370 nm. Sedangkan menurut Said, NI (2007), *fotoreaktivasi* dapat terjadi pada mikroba yang telah terpapar UV oleh gelombang cahaya tampak antara 300 nm dan 500 nm.

Perbaikan kerusakan DNA oleh sel dapat dilakukan melalui mekanisme:

1. Perbaikan bebas kesalahan, yaitu DNA yang diperbaiki persis seperti keadaan semula,
2. Perbaikan dengan fotoreaktivasi, yaitu dengan menggunakan enzim fotoreaktivasi yang dapat memutuskan ikatan kovalen basa timin-timin (dimer timin),
3. Perbaikan eksisi, yaitu DNA yang rusak dipotong pada bagian yang rusak lalu disambung kembali oleh enzim polymerase dan ligase,
4. Perbaikan rekombinasi postreplikatif, yaitu utas DNA induk yang rusak akan menghasilkan DNA tiruan yang mempunyai celah setelah duplikasi, dan

5. Perbaikan tidak bebas kesalahan, yaitu bagian DNA yang rusak diperbaiki dengan komponen yang mungkin tidak sama dengan komponen yang hilang  
Sedangkan perbaikan DNA akibat kerusakan oleh sinar UV dapat dikelompokkan menjadi :

1. *Demage Reversal*



Gambar 3. *Demage Reversal*

Sumber : [http://www.bath.ac.uk/bio-sci/oer/notes\\_DNA%20repair\\_reversal.htm](http://www.bath.ac.uk/bio-sci/oer/notes_DNA%20repair_reversal.htm)

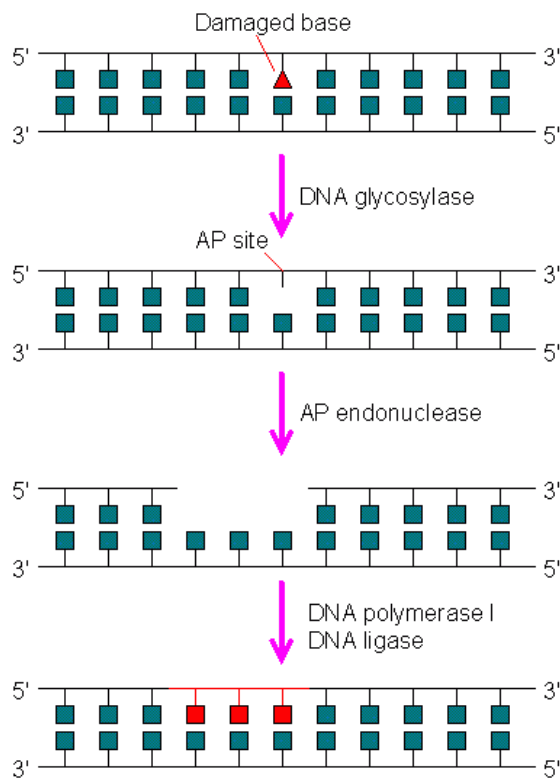
adalah penggantian secara langsung. Merupakan cara perbaikan DNA dengan melibatkan pembuangan atau pembalikan DNA yang rusak oleh sebuah enzim tunggal yang tergantung oleh cahaya. Pada bakteri *E. coli* enzim itu dikodekan oleh gen *phr*. Adanya kerusakan pada suatu segmen pirimidin (timin dan sitosin) yang telah berpasangan (dimer) pada suatu struktur DNA, akan mengaktifkan suatu proses perbaikan dimana suatu kompleks protein enzim *fotoreaktif* akan

memutuskan ikatan hydrogen tetapi tanpa memutus ikatan *fosfodiester* antar nukleotida. Perubahan urutan akan diperbaiki dengan penggantian sesama nukleotida dengan basa pirimidin, dan akan diikuti proses penangkupan kembali celah yang semula tercipta.

## 2. *Damage Removal*

Proses ini lebih kompleks karena melibatkan replacing atau penggantian dengan dipotong-potong. Terdapat tiga metode repair DNA pada kelompok ini:

### a. *Base excision repair*



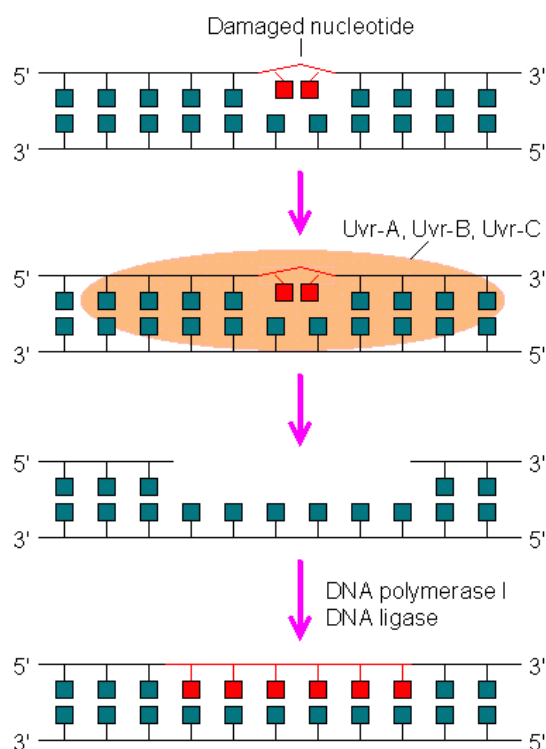
Gambar 4. *Base excision repair*

Sumber : <http://www.namrata.co/dna-damage-and-repair-a-quick-revision/base-excision-repair/>



hanya 1 basa yang rusak dan digantikan dengan yang lain. Tempat kerusakan basa tersebut dinamakan dengan “*Abasic site*” atau “*AP site*”. Pada *E.coli* enzim *DNA glycosilase* dapat mengenal *AP site* dan membuang basanya. Kemudian *AP endonuklease* membuang *AP site* dan Nukleotida sekitarnya. Kekosongan akan diisi dengan bantuan DNA Polymerase I dan DNA Ligase. *DNA polymerase I* berperan di dalam mensintesis atau menambahkan pasangan basa yang sesuai dengan pasangannya sedangkan *DNA Ligase* berperan dalam menyambungkan pasangan basa yang telah disintesis oleh *DNA polymerase I*.

*b. Nucleotide excision repair*

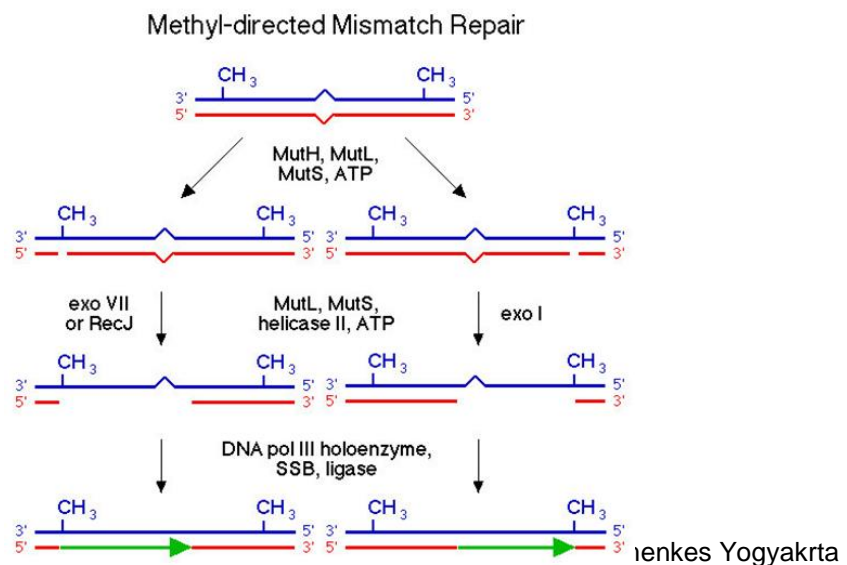


Gambar 5. *Nucleotide excision repair*

Sumber : <http://www.namrata.co/dna-damage-and-repair-a-quick-revision/nucleotide-excision-repair/>

adalah memotong pada bagian/salah satu segmen DNA, dari DNA yang mengalami kerusakan. Kerusakan nukleotida yang disebabkan oleh sinar UV, sehingga terjadi kesalahan *pirimidin dimer* (kesalahan dua basa tetangga). Pada *E. coli* terdapat protein yang terlibat dalam proses pembuangan atau pemotongan DNA yang mengalami kerusakan, protein tersebut adalah *UVrA*, *UVrB*, *UVrC*, setelah protein tersebut mengenali kesalahan, maka nukleotida yang rusak tersebut dihilangkan (dipotong) sehingga terjadi kekosongan pada segmen untai nukleotida tersebut. Selanjutnya untuk mengisi kekosongan tersebut maka *RNA polymerase I* mensintesis nukleotida yang baru untuk dipasangkan pada segmen DNA yang mengalami kekosongan tadi, tentu saja dengan bekerjasama dengan *DNA ligase* dalam proses penyambungan segmen DNA tersebut.

c. *Mismatch repair*

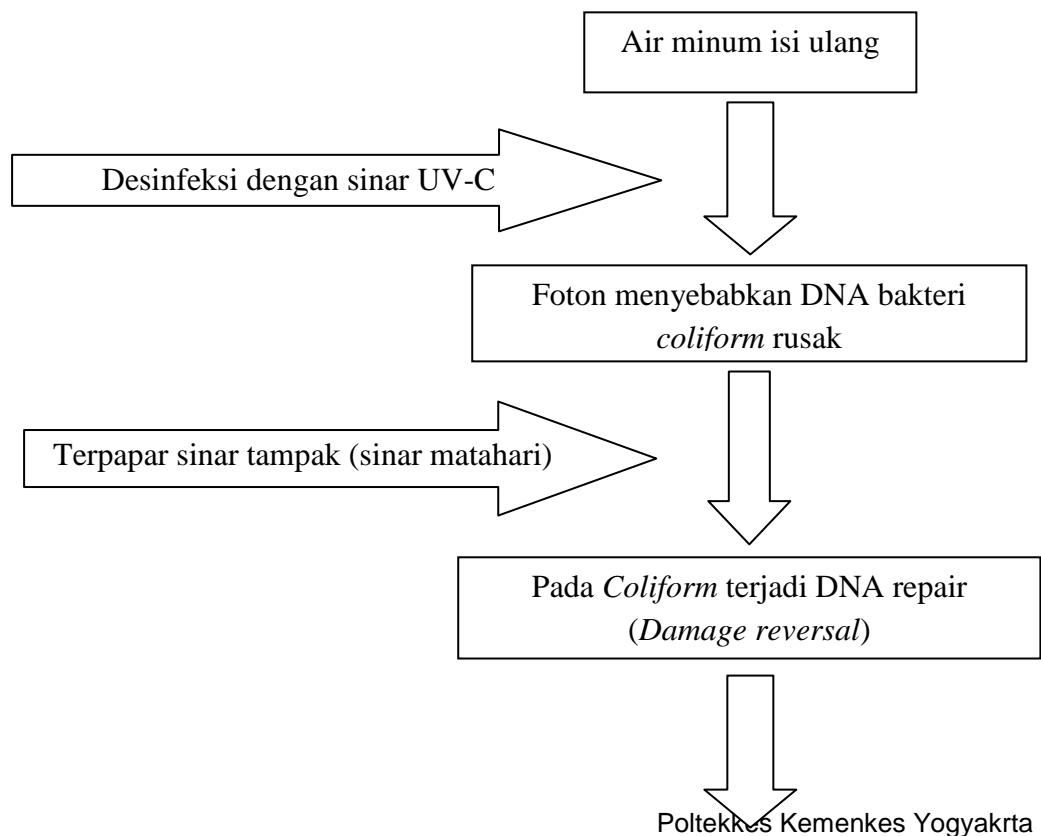


Gambar 6. *Mismatch repair*

Sumber : <http://oregonstate.edu/instruction/bb331/lecture08/MismatchRepair.html>

Pada tahap ini yaitu memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi ketika DNA disalin. Selama replikasi DNA, *DNA polymerase* sendirilah yang melakukan perbaikan salah pasang. *Polymerase* ini mengoreksi setiap nukleotida terhadap cetakannya begitu nukleotida ditambahkan pada untai. Dalam rangka mencari nukleotida yang pasangannya tidak benar, *polymerase* memindahkan nukleotida tersebut kemudian melanjutkan kembali sintesis. Protein-protein lain selain *DNA polymerase* juga melakukan perbaikan salah pasang.

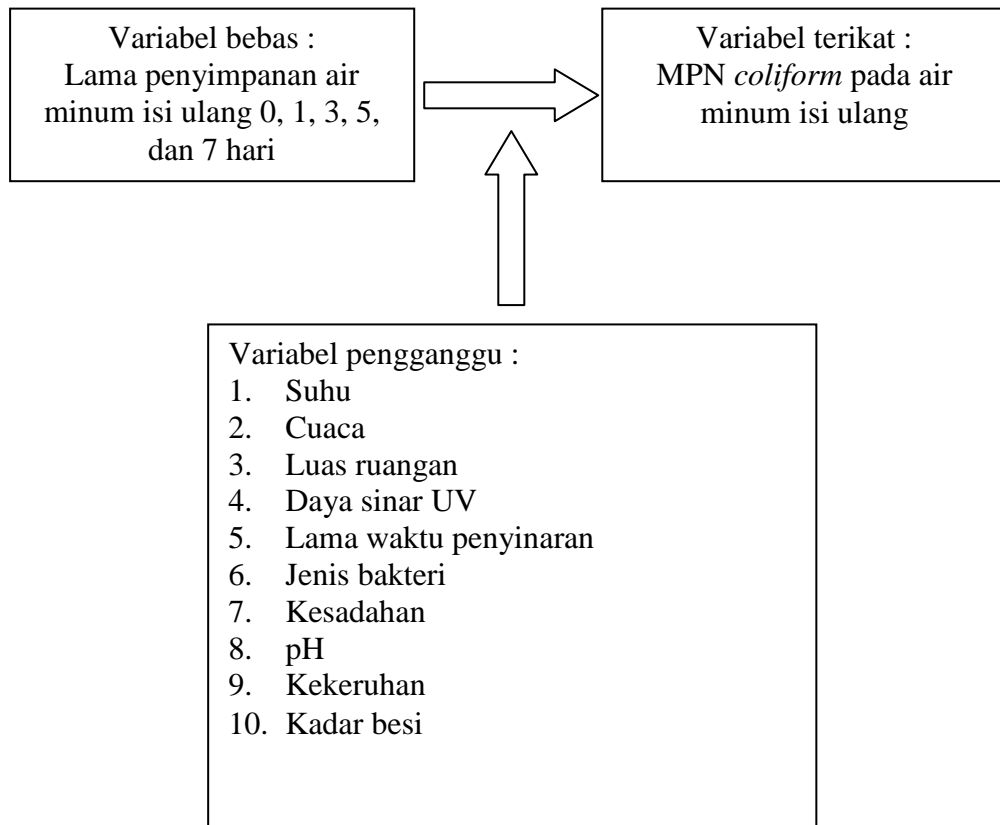
## H. Kerangka Teori



*Coliform* tumbuh lagi

Gambar 7. Kerangka Teori Penelitian

### I. Kerangka Konsep



Gambar 8. Kerangka konsep

### J. Hipotesis

Sinar ultraviolet efektif membunuh bakteri *Coliform* pada air minum isi ulang.