

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pengolahan Air

Mengonsumsi air merupakan kebutuhan pokok bagi setiap manusia. Air yang dikonsumsi dari hasil pengolahan air sumur maupun air PAM dalam keseharian haruslah didasari dengan baku mutu air. Tabel 2.1. menunjukkan persyaratan air bersih untuk keperluan sanitasi berdasarkan peraturan menteri kesehatan nomor 32 tahun 2017.

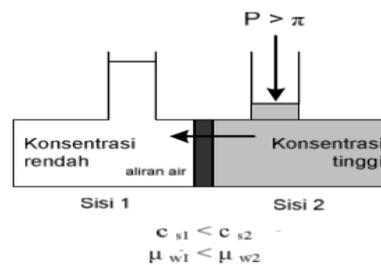
**Tabel 2.1.** Persyaratan Kualitas Air Bersih

| No.             | Parameter Wajib                               | Unit | Standar Baku Mutu<br>(kadar maksimum) |
|-----------------|---|------|---------------------------------------|
| 1.              | Kekeruhan                                     | NTU  | 25                                    |
| 2.              | Warna   | TCU  | 50                                    |
| 3.              | Zat padat terlarut<br>(Total Dissolved Solid) | mg/l | 1000                                  |
| 4.              | Suhu  | °C   | suhu udara ± 3                        |
| 5.              | Rasa  |      | tidak berasa                          |
| 6.              | Bau   |      | tidak berbau                          |
| <b>Wajib</b>    |   |      |                                       |
| 1.              | pH  | mg/l | 6,5 - 8,5                             |
| 2.              | Besi  | mg/l | 1                                     |
| 3.              | Fluorida                                      | mg/l | 1,5                                   |
| 4.              | Kesadahan (CaCO <sub>3</sub> )                | mg/l | 500                                   |
| 5.              | Mangan  | mg/l | 0,5                                   |
| 6.              | Nitrat, sebagai N                             | mg/l | 10                                    |
| 7.              | Nitrit, sebagai N                             | mg/l | 1                                     |
| 8.              | Sianida                                       | mg/l | 0,1                                   |
| 9.              | Deterjen                                      | mg/l | 0,05                                  |
| 10.             | Pestisida total                               | mg/l | 0,1                                   |
| <b>Tambahan</b> |   |      |                                       |
| 1.              | Air raksa                                     | mg/l | 0,001                                 |
| 2.              | Arsen   | mg/l | 0,05                                  |
| 3.              | Kadmium                                       | mg/l | 0,005                                 |
| 4.              | Kromium (valensi 6)                           | mg/l | 0,05                                  |
| 5.              | Selenium                                      | mg/l | 0,01                                  |
| 6.              | Seng  | mg/l | 15                                    |
| 7.              | Sulfat  | mg/l | 400                                   |
| 8.              | Timbal  | mg/l | 0,05                                  |

(Sumber : Permenkes No. 32, 2017)

Untuk mendapatkan air bersih yang sesuai dengan baku mutu di Tabel 2.1. dapat digunakan suatu teknologi penjernihan air yaitu *reverse osmosis*. *Reverse osmosis* merupakan filter yang memiliki pori-pori berukuran 0,0001 mikron. Prinsip kerja dari *reverse osmosis* adalah mengalirkan air dengan konsentrasi yang

tinggi menuju membran semi-permiabel dengan tekanan tinggi. Kondisi membran yang sangat rapat menyebabkan partikel-partikel selain air tertahan di sisi *input* dan air murni akan keluar di sisi *output*. Agar membran *reverse osmosis* tidak mudah menurun masa pakainya diakibatkan beban kerja yang tinggi, maka di tambahkan filter 0,1 dan 0,05 mikron serta karbon filter.



(Sumber: D. Ariyanti, 2011)

**Gambar 2.1** Skema Fenomena Reverse Osmosis

## 2.2 Air Panas

Peralatan *Reverse Osmosis* akan memproduksi air siap minum (*permeate*) dan air buangan (*concentrate water*). Air buangan RO biasanya di alirkan ke saluran pembuangan meskipun kondisi air ini masih terlihat bersih dan jernih. Air buangan RO yang lebih banyak empat kali lipat dibandingkan dengan air siap minum yang dihasilkan menjadikan pemanfaatan air buangan RO sebagai hal yang sangat penting. Salah satu hal yang dapat dilakukan ialah pemanfaatan air buangan RO menjadi air untuk keperluan mandi.

Hermantoro dan Renjani (2014) menyatakan bahwa air buangan RO lebih baik dibandingkan dengan air hasil pengolahan *sand filter* dengan pH sebesar 7,3, TDS sebesar 224 ppm, *Hardness* sebesar 0,3 ppm, dan turbidity sebesar 1,39 NTU. Air buangan RO yang masih memenuhi kategori untuk air mandi disebabkan oleh proses penyaringan dengan *microfiltration* sehingga *suspended solid* yang ada didalam air telah tersaring.

Berdasarkan sifat koligatif larutan, semakin banyak zat yang terlarut maka titik didih larutan tersebut akan meningkat. Zat terlarut yang sulit menguap akan menurunkan tekanan uap dari larutan sehingga titik didih larutan lebih tinggi dari titik didih pelarut. Jadi, air dengan *Total Dissolved Solid* (TDS) yang tinggi akan sulit mengalami kenaikan suhu.

Air buangan RO yang akan digunakan untuk keperluan mandi air panas haruslah sesuai dengan SNI-03-7065-2005 yaitu air dengan temperature 40-45 °C. Tabel 2.3 menunjukkan standar penggunaan air untuk keperluan rumah tangga.

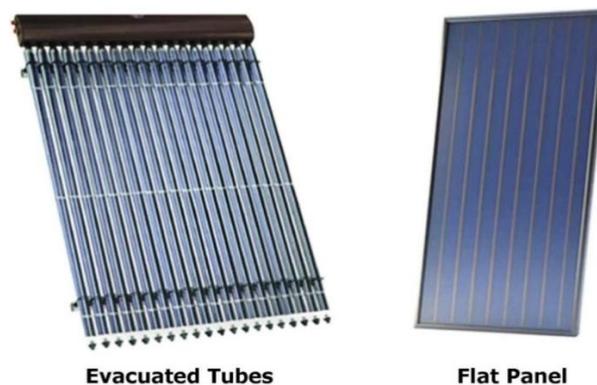
**Tabel 2.2** Temperatur Standar Air Panas

| No | Jenis pemakaiannya                      | Temperatur (°C) |
|----|---|-----------------|
| 1  | Minum Bak                               | 50- 55          |
| 2  | Mandi : Dewasa                          | 42 - 45         |
|    | Anak                                    | 40 - 42         |
| 3  | Pancuran mandi                          | 40 - 43         |
| 4  | Cuci muka dan cuci tangan               | 40 - 42         |
| 5  | Cuci tangan untuk kepeeluan pengobatan  | 43              |
| 6  | Bercukur                                | 46 - 52         |
| 7  | Dapur ; * macam-macam keperluan         | 45              |
|    | * proses pencucian                      | 45 - 60         |
|    | * proses pembilasan                     | 70 - 80         |
| 8  | Cuci panakian ; * macam-macam keperluan | 60              |
|    | * bahyan sutera dan wol                 | 33 - 49         |
|    | * bahan linen dan katun                 | 49 - 60         |
| 9  | Kolam renang                            | 21 - 27         |
| 10 | Cuci mobil (di bengkel)                 | 24 -30          |

(Sumber : SNI-03-7065-2005)

### 2.3 Solar Water Heater

Terdapat dua jenis *solar water heater* yang sering digunakan dan banyak diproduksi di Indonesia. Jenis yang pertama ialah *solar water heater* dengan plat datar dan yang kedua dengan *evacuated tube (ET)*. Gambar kolektor surya jenis ET dan plat datar dapat dilihat pada Gambar 2.2. SWH dengan jenis ET memiliki efisiensi yang lebih tinggi namun lebih mahal jika dibandingkan dengan SWH tipe plat datar.



(Sumber : [www.adelaidehydronicheating.com.au](http://www.adelaidehydronicheating.com.au), diakses 2 April 2019)

**Gambar 2.2.** Kolektor Jenis *Evacuated Tube* dan Plat Datar

Prinsip kerja *solar water heater* adalah memanaskan air dengan energi surya. Air dialirkan ke pipa-pipa, kemudian pipa dicat warna hitam untuk memaksimalkan penyerapan energi surya. Air yang telah mencapai suhu yang diinginkan disimpan ke sebuah tangki sebagai tempat penyimpanan yang diinsulasi untuk mengurangi pelepasan panas. *Solar water heater* juga dilengkapi beberapa sensor untuk menjaga suhu air yang diinginkan serta dapat memanaskan air menggunakan listrik jika cuaca hujan/mendung dengan adanya *back-up heater*.

Dalam menentukan kualitas dari kolektor surya diperlukan analisa energi. Analisis energi pada plat datar dapat ditentukan dengan kesetimbangan energi. Kesetimbangan energi ini menunjukkan adanya energi matahari yang diterima menjadi energi yang dimanfaatkan serta energi yang hilang. Energi yang dimanfaatkan ( $Q_u$ ) sama dengan energi yang diserap ( $Q_i$ ) dikurangi dengan rugi-rugi sekeliling  $Q_o$  dan dirumuskan dengan <sup>[2]</sup>;

$$Q_u = Q_i - Q_o \quad \dots\dots\dots(1)$$

Energi panas yang diserap sebanding dengan perkalian radiasi matahari yang diserap kolektor ( $S$ ), dengan luas kolektor ( $A$ ) <sup>[2]</sup>;

$$Q_i = S \cdot A \quad \dots\dots\dots(2)$$

Radiasi matahari yang diserap sebanding dengan perkalian antara nilai koefisien penyerapan transmisi rata-rata (*transmission absorption coefficient*)  $\tau\alpha$  dengan radiasi matahari yang datang sebesar  $I$  <sup>[2]</sup>;

$$S = \tau\alpha \cdot I \quad \dots\dots\dots(3)$$

Energi termal yang hilang dari kolektor ke sekeliling dengan konduksi, konveksi, dan radiasi dapat diwakilkan dengan koefisien kehilangan panas  $U_L$ , dan perbedaan antara temperatur rata-rata plat absorber ( $t_c$ ), dan temperatur lingkungan ( $t_a$ ). Persamaan rugi-rugi termal didefinisikan sebagai berikut <sup>[14]</sup> ;

$$Q_o = U_L \cdot A (t_c - t_a) \quad \dots\dots\dots(4)$$

Maka didapatkan besarnya energi yang dimanfaatkan ( $Q_u$ ) ;

$$\begin{aligned} Q_u = Q_i - Q_o &= I \cdot \tau\alpha \cdot A - U_L \cdot A (t_c - t_a) \\ &= A [I \cdot \tau\alpha - U_L (t_c - t_a)] \quad \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Secara umum, dalam kondisi tunak, panas yang dimanfaatkan oleh kolektor surya sama dengan energi yang diserap oleh cairan. Sehingga energi yang dikumpulkan dari kolektor dapat diperoleh dari rumus berikut :

$$Q_u = A [I \cdot \tau\alpha - U_L (t_c - t_a)] = m \cdot C_p (t_o - t_i) \quad \dots\dots\dots(6)$$

Daya yang diberikan kolektor surya ke air dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_u = m \cdot C_p (t_o - t_i) \quad \dots\dots\dots(7)$$

Karena massa jenis air berubah saat terjadi perubahan suhu, persamaan 7 ditulis;

$$Q_u = V \cdot C_p (t_o - t_i) \cdot \rho_{H_2O} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dimana ;

- I = intensitas radiasi matahari, (Watt/m<sup>2</sup>)
- A = luas kolektor (m<sup>2</sup>)
- t<sub>i</sub> = temperatur fluida yang masuk (°C)
- t<sub>o</sub> = temperatur keluar (°C)
- Q<sub>i</sub> = energi input kolektor (Watt)
- Q<sub>u</sub> = energi yang dimanfaatkan (Watt)
- Q<sub>o</sub> = energi yang hilang (Watt)
- V = volume air (L)
- C<sub>p</sub> = kapasitas panas (kJ/kg °C)
- τ $\alpha$  = koefisien penyerapan transmisi

*Heat removal factor*/ faktor pemindahan panas, didefinisikan sebagai besaran yang menghubungkan penerimaan energi yang dimanfaatkan dari kolektor dengan penerimaan energi dimanfaatkan jika seluruh permukaan kolektor berada pada temperatur fluida masuk. Faktor pemindahan panas kolektor, F<sub>R</sub> secara matematis ditulis dengan <sup>[14]</sup>;

$$F_R = \frac{m C_p (t_o - t_i)}{A [I \tau\alpha - U_L (t_c - t_a)]} \quad \dots\dots\dots(9)$$

Penerimaan energi berguna maksimum yang ada dalam kolektor terjadi ketika seluruh kolektor berada pada temperatur fluida masuk. Energi aktual yang dihasilkan merupakan perkalian dari faktor pemindahan panas dikalikan dengan hasil perolehan energi dimanfaatkan maksimum ;

$$Q_u = F_R A [I \tau\alpha - U_L (t_c - t_a)] \quad \dots\dots\dots(10)$$

Untuk kolektor plat datar persamaannya menjadi (Duffie dan Beckman) ;

$$Q_u = F_R A [I \tau\alpha - U_L \Delta T] \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dimana ;

$F_R$  = faktor pemindah panas kolektor

$U_L$  = koefisien kehilangan panas kolektor ( $W/m^2 C$ )

$\Delta T$  = perbedaan antara temperatur rata-rata plat absorber ( $t_c$ ) dan temperatur lingkungan ( $t_a$ )

Ukuran kinerja kolektor plat datar adalah efisiensi kolektor ( $\eta$ ) yang didefinisikan sebagai rasio dari energi yang dimanfaatkan ( $Q_u$ ) terhadap radiasi matahari yang diterima oleh kolektor pada satuan luas ( $AI$ ) yang terjadi selama periode waktu tertentu <sup>[14]</sup>;

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A \int I dt} \dots\dots\dots(12)$$

Efisiensi termal sesaat kolektor adalah ;

$$\eta = \frac{Q_u}{A I} \dots\dots\dots(13)$$

Substitusi ke persamaan (10) sehingga diperoleh <sup>[11]</sup>;

$$\eta = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \left( \frac{t_c - t_a}{I} \right) \dots\dots\dots(14)$$

Jika dianggap  $F_R$ ,  $\tau\alpha$ ,  $U_L$  adalah konstan, maka efisiensi fungsi liner dari tiga parameter :

- $I$  = intensitas radiasi matahari ( $W/m^2$ )
- $t_c$  = suhu kolektor rata-rata merupakan penjumlahan dari suhu minimum dan suhu maksimum dibagi dua
- $t_a$  = suhu ambient

Menurut Abu Bakar, <sup>[2]</sup> untuk kolektor plat datar nilai :

$$F_R (\tau\alpha) = 0,68$$

$$F_R (U_L) = 4,90 (W/m^2 C)$$

Persamaan 14 menjadi :

$$\eta = 0,68 - 4,90 \left( \frac{t_c - t_a}{I} \right) \dots\dots\dots(15)$$

#### 2.4. Analisis Ekonomi pada *Solar Water Heater* (SWH)

Kelayakan dari suatu peralatan ditinjau secara teknik dan secara ekonomis. Suatu peralatan dengan kelayakan teknis yang baik membutuhkan biaya produksi

yang tinggi dan waktu pengembalian modal yang lama. Memproduksi suatu peralatan yang didasari oleh kelayakan ekonomis dan kelayakan teknis menjadi penting untuk menghasilkan sebuah produk yang berkualitas dan dapat bersaing dipasaran. Untuk itu, menganalisis SWH dari sisi ekonomis harus dilakukan. Adapun parameter analisis ekonomi pada SWH terdiri dari biaya siklus hidup, faktor diskonto, faktor pemulihan modal, biaya energi, dan analisa kelayakan investasi.

#### 2.4.1. Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost/LCC*)

Biaya siklus hidup suatu sistem adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem selama kehidupannya. Pada SWH, biaya siklus hidup ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya jangka panjang untuk pemeliharaan dan operasional serta biaya penggantian komponen. Biaya siklus hidup, diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut <sup>[2]</sup>;

$$LCC = C + M_{op} + M_{pk} \dots\dots\dots (16)$$

Dimana;

LCC = Biaya siklus hidup (LCC)

C = Biaya investasi awal adalah biaya awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen-komponen SWH, biaya instalasi dan biaya lainnya.

$M_{op}$  = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek

$M_{pk}$  = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek. Contoh biaya penggantian komponen

Nilai sekarang biaya tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap dihitung dengan rumus sebagai berikut <sup>[2]</sup>;

$$P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \dots\dots\dots (17)$$

Dimana;

P = Nilai sekarang biaya tahunan selama umur proyek

A = Biaya tahunan

- i = Tingkat diskonto  
n = Umur proyek

#### 2.4.2. Faktor Diskonto

Faktor diskonto adalah faktor yang menerjemahkan keuntungan finansial yang diharapkan atau biaya pada suatu tahun dimasa yang akan datang kedalam nilai sekarang, adapun rumus faktor diskonto adalah sebagai berikut <sup>[2]</sup>:

$$D_F = \frac{1}{(1+i)^n} \dots\dots\dots (18)$$

Dimana;

- $D_F$  = faktor dikonto  
i = Tingkat diskonto/tingkat bunga  
n = perido dalam tahun (jumlah tahun dari tanggal awal program atau kegiatan sampai tahun tertentu di masa depan)

#### 2.4.3. Faktor Pemulihan Modal

Nilai tahunan (A) bila diketahui nilai sekarang (Pi) tingkat suku bunga (i) dan periode (n), disebut juga pemasukan kembali modal (*capital recovery*).<sup>[2]</sup>

$$A = P_i \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = P_i \text{ CRF} \dots\dots\dots (19)$$

Faktor bungannya disebut dengan *uniform series capital recovery factor* (CRF);

$$\text{CRF} = \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \dots\dots\dots (20)$$

Dimana;

- CRF = faktor pemulihan modal

#### 2.4.4. Biaya Energi (*Cost of Energy/COE*)

Biaya energi dari SWH diperhitungkan dengan rumus seperti berikut <sup>[2]</sup>;

$$\text{COE} = \frac{\text{LCC} \times \text{CRF}}{A \text{ kWh}} \dots\dots\dots (21)$$

Dimana;

- COE = *Cost of Energy* atau biaya enrgi (Rp/kWh)  
CRF = faktor pemulihan modal  
LCC = total biaya investasi dan biaya operasi dan pemeliharaan  
A kWh = energi yang dihasilkan tahunan (kWh/tahun)

#### 2.4.5. Analisa Kelayakan Investasi

##### a. *Net Present Value*

*Net Present Value* merupakan selisih Antara nilai dari suatu proyek dan harga yang didapatkan dari proyek tersebut. Jika nilai NPV dari suatu proyek bernilai positif, maka proyek tersebut diharapkan akan menambah nilai kekayaan atau keuntungan dari pemilik modal investasi. Nilai NPV merupakan ukuran langsung dari seberapa layaknya suatu proyek dapat mencapai tujuan untuk menguntungkan pemilik modal.

Tes kriteria dari kelayakan *Net Present Value* :

1. NPV memperhitungkan nilai waktu dari harga. Hal ini terlihat dari adanya factor diskonto terhadap arus kas yang diperoleh setiap periodenya.
2. NPV memperhitungkan resiko dari penerimaan arus kas.
3. NPV memberikan informasi tentang harga yang akan dimiliki oleh penanam modal.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \left( \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \right) - c \quad \dots\dots\dots (22)$$

Dimana;

$NCF_t$  = Net Cash Flow periode tahun ke -1 sampai tahun ke -n

C = Investai awal

i = tingkat diskonto

n = periode dalam tahun (umur investasi).<sup>[2]</sup>

##### b. *Discounted Payback Period (DPP)*

*Payback Periode* merupakan lama waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh kembali modal yang telah dikeluarkan dalam suatu investasi. Suatu proyek dapat dilakukan jika periode pengembalian investasinya lebih cepat dibandingkan umur proyek tersebut. Pada metode *Discounted Payback Periode (DPP)*, seluruh arus kas masuk dihitung nilai sekarangnya (*Present Value*) berdasarkan faktor diskonto barulah dihitung berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan nilai investasi.

Tes kriteria dari kelayakan *Discounted Payback Periode* :

1. DPP memperhitungkan nilai dari faktor diskonto dari arus kas yang diperoleh.
2. DPP tidak memberikan informasi tentang pertambahan nilai bagi perusahaan dan pemiliknya.
3. DPP tidak memperhitungkan resiko dari proyek yang tercermin dari hasil yang dikehendaki.

Adapun kelebihan dan kekurangan dari metode DPP ini ialah :

Kelebihan : memperhitungkan nilai waktu dari biaya proyek, mudah dipahami, tidak menerima investasi dengan NPV negatif.

Kekurangan : memungkinkan menolak investasi dengan NPV positif, membutuhkan waktu balik modal pembeding, mengabaikan arus kas setelah tercapainya periode pengembalian investasi

$$DPP = n + \left[ \frac{a-b}{c} \right] \times 12 \text{ bulan} \dots\dots\dots (23)$$

Dimana;

- n = tahun terakhir dimana arus kas belum bisa menutup *initial investment*
- a = jumlah *initial investment* (total investasi)
- b = jumlah kumulatif arus kas bersih yang telah di kalikan df sampai tahun ke-n
- c = jumlah arus kas bersih yang telah di kalikan diskon faktor tahun ke- n+1 <sup>[2]</sup>

c. Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return/IRR*)

*Internal Rate of Return* merupakan metode alternatif dari *Net Present Value*. IRR didasarkan atas arus kas perkiraan dan tidak terikat pada tingkat suku bunga. IRR merupakan tingkat hasil yang mendapatkan nilai NPV = 0. Suatu proyek diterima menurut IRR bila IRR dari proyek tersebut lebih besar dari hasil yang diharapkan.

Tes kriteria dari kelayakan *Internal Rate of Return* :

1. IRR memperhitungkan nilai waktu dari uang. Hal ini terlihat dari adanya perhitungan diskonto terhadap arus kas yang diperoleh setiap periodenya.
2. IRR memperhitungkan resiko dari penerimaan arus kas (semakin besar resikonya, hasil yang diharapkan semakin besar).
3. IRR memberikan informasi tentang kenaikan nilai NPV

$$IRR = i_1 + \left( \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_2 - i_1) \dots\dots\dots (21)$$

Dimana;

IRR = Internal rate of return (%)

$NPV_1$  = Net Present Value dengan tingkat bunga rendah (Rp).

$NPV_2$  = Net Present Value dengan tingkat bunga tinggi (Rp).

$i_1$  = tingkat bunga pertama (%)

$i_2$  = tingkat bunga kedua (%). [2]