

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Sumur Bor

Sumur bor merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air. Pada dasarnya persediaan air di setiap daerah itu sendiri tidak sama satu dengan yang lainnya. Dalam hal ini, ketersediaan air ditentukan oleh letak geografis titik sumber air tanah pada suatu daerah. Sumur merupakan sebuah konstruksi yang berfungsi sebagai sumber air untuk memenuhi kebutuhan air (Effendi, 2013)

Pemanfaatan sumur bor merupakan salah satu cara untuk mendapatkan air bersih. Kebutuhan akan air bersih di Pontianak memaksa sebagian masyarakatnya menggunakan opsi lain dari air PAM yang ada, salah satunya menggunakan air yang berasal dari sumur bor. Jenis tanah di Pontianak merupakan tanah gambut yang tentunya akan berpengaruh terhadap kualitas air sumur bor. Berdasarkan keterangan warga, air sumur bor yang ada di Pontianak pada umumnya berwarna kemerah-merahan atau coklat, hal tersebut yang membedakan air sumur bor di luar Pontianak. Kualitas air sumur tersebut tentunya jauh dari standar kualitas yang ditentukan (Manurung, 2017)

2.2 Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Sumur Bor

Besi yang masuk ke dalam air disebabkan oleh reaksi biologis pada kondisi reduksi atau anaerobik (tanpa oksigen). Jika air yang mengandung besi dibiarkan terkena udara atau oksigen maka reaksi oksidasi besi akan timbul dengan lambat dan membentuk endapan atau gumpalan koloid dari oksida besi yang tidak diharapkan. Endapan koloid ini akan menempel atau tertinggal dalam sistem perpipaan, menyebabkan noda pada cucian pakaian, serta dapat menyebabkan masalah pada sistem pipa distribusi disebabkan karena dapat menyokong tumbuhnya mikroorganisme seperti *crenothrix* dan *clonothrix* yang dapat menyumbat perpipaan serta dapat menimbulkan warna dan bau yang tidak enak. Pada konsentrasi besi yang rendah, air sumur dapat menimbulkan rasa atau bau logam pada air minum (Hartini, 2012).

Menurut Joko (2010), penyebab utama tingginya kadar besi dalam air diantaranya :

a. Rendahnya pH air

Potential Hydrogen atau pH air normal yang tidak menyebabkan masalah adalah ≥ 7 . Air yang mempunyai $\text{pH} \leq 7$ dapat melarutkan logam termasuk besi.

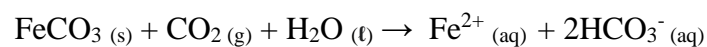
b. Temperatur air

Kenaikan temperatur akan menyebabkan meningkatnya derajat korosif.

c. Gas-gas terlarut dalam air

Adanya gas-gas terlarut diantaranya adalah O_2 , CO_2 dan H_2S . Beberapa gas terlarut dalam air tersebut akan bersifat korosif.

Air sumur bor biasanya memiliki karbondioksida yang relatif banyak, dicirikan dengan rendahnya pH, dan biasanya disertai dengan kadar oksigen terlarut yang rendah atau bahkan terbentuk suasana anaerob. Pada kondisi ini, sejumlah ferri karbonat akan larut sehingga terjadi peningkatan kadar besi ferro (Fe^{2+}) di perairan. Menurut Effendi (2003), kelarutan ferri karbonat ditunjukkan dalam persamaan reaksi:



Reaksi tersebut juga terjadi pada perairan anaerob. Dengan kata lain ferro (Fe^{2+}) hanya ditemukan pada perairan yang bersifat anaerob, akibat proses dekomposisi bahan organik yang berlebihan. Hal tersebut menunjukkan kadar ferro (Fe^{2+}) yang tinggi di perairan berkolerasi dengan kadar bahan organik yang tinggi atau kadar besi yang tinggi terdapat pada air yang berasal dari air tanah dalam yang bersuasana anaerob atau dari lapisan dasar perairan yang sudah tidak mengandung oksigen (Effendi, 2003).

2.3 Dampak Adanya Besi di atas Standar Baku Mutu

Kadar besi yang terdapat di dalam air dapat menyebabkan air berwarna coklat kemerahan, menimbulkan bau amis, dan membentuk lapisan seperti minyak (Achmad, 2004). Dampak dari kadar Fe yang melebihi ambang batas menyebabkan berbagai masalah. Pertama, dari segi teknis menyebabkan korosi pada jaringan perpipaan. Kedua, dari segi estetika menyebabkan air menjadi berbau, berasa dan berwarna kuning kecoklatan serta menimbulkan bercak-bercak pada pakaian.

Ketiga, dari segi kesehatan menyebabkan gangguan kesehatan yaitu bersifat toksis terhadap organ manusia, misalnya kerusakan dinding usus dan berkurangnya fungsi paru-paru (Slamet, 2004). Jika kita memanfaatkan sebagai sumber air termasuk mandi, mencuci, masak dan minum maka akan terdistribusi ke bagian tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasikan. Jika keadaan ini berlangsung terus menerus dalam jangka waktu lama, maka dapat mencapai jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia (Supriyanto *et al.*, 2007). Untuk menghindari akibat buruk yang tidak diinginkan, maka perlu dilakukan pengolahan untuk menurunkan kadar Fe hingga batas yang diperbolehkan atau dipersyaratkan. Salah satu cara penurunan kadar besi dalam air adalah dengan aerasi dan filtrasi.

Konsentrasi Fe yang berlebih dapat menyebabkan penyakit apabila terkonsumsi manusia dalam jumlah besar dan akan mengakibatkan timbunan di dalam hati dan ginjal. Masalah zat besi di dalam air bersih lebih sering terjadi jika sumber air baku yang digunakan berasal dari air tanah. Kadar Fe yang tinggi di dalam air juga akan menimbulkan noda-noda pada peralatan dan pakaian yang berwarna putih, serta Fe dapat pula menimbulkan bau dan warna pada air minum, dan warna koloid pada air (Mubarak 2015).

2.4 Standar Baku Mutu Konsentrasi Besi (Fe) dalam Air Sumur Bor

Menurut PERMENKES Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus per Aqua*, dan Pemandian Umum, parameter kimia dalam standar baku mutu kesehatan lingkungan untuk media air untuk keperluan higiene sanitasi dapat dilihat dari **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1. Standar Baku Mutu Parameter Kimia

No	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)
Wajib			
1.	pH	-	6,5 - 8,5
2.	Besi	mg/l	1
3.	Fluorida	mg/l	1,5

No	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)
4.	Kesadahan	mg/l	500
5.	Mangan	mg/l	0,5
6.	Nitrat	mg/l	10
7.	Nitrit	mg/l	1
8.	Sianida	mg/l	0,1
9.	Deterjen	mg/l	0,05
10.	Pestisida Total	mg/l	0,1

Sumber : Peraturan Menteri Kesehatan No. 32 Tahun 2017

2.5 Metode Penurunan Kadar Besi (Fe) dalam Air Sumur Bor

Masalah kadar besi di dalam air bersih lebih sering terjadi jika sumber air baku yang digunakan berasal dari air tanah. Untuk air permukaan, masalah kadar besi umumnya terjadi jika sumber air yang digunakan berasal dari danau yang kedalamannya cukup dalam atau danau yang telah mengalami eutropikasi dimana terjadi kondisi reduksi atau anaerobik di bagian bawah atau dasar danau. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan endapan besi yang ada di dasar danau terlarut kembali. Masalah seperti ini hanya terjadi pada musim atau periode tertentu (Said, 2005).

Kadar besi dalam air dapat dihilangkan dengan cara oksidasi yang diikuti proses pemisahan padatan (*suspended solids*). Mangan lebih sulit dioksidasi dari pada besi. Hal ini disebabkan karena kecepatan oksidasi mangan lebih rendah dibanding dengan kecepatan oksidasi besi. Ada beberapa cara oksidasi besi atau mangan yang paling sering digunakan di dalam industri pengolahan air minum antara lain yakni proses aerasi-filtrasi (Said, 2005).

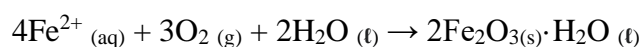
Proses aerasi-filtrasi biasanya terdiri dari aerator, bak pengendap serta filter atau penyaring. Aerator adalah alat untuk mengontakkan oksigen dari udara dengan air agar zat besi yang ada di dalam air baku bereaksi dengan oksigen membentuk senyawa ferri (Fe valensi 3) serta mangan oksida yang relatif tidak larut di dalam

air. Kecepatan oksidasi besi atau mangan dipengaruhi oleh pH air. Umumnya makin tinggi pH air kecepatan reaksi oksidasinya makin cepat. Kadang-kadang perlu waktu tinggal sampai beberapa jam setelah proses aerasi agar reaksi berjalan tergantung dari karakteristik air bakunya (Said, 2005).

2.6 Aerasi

Aerasi merupakan salah satu proses yang paling penting dalam pengolahan air minum. Dengan adanya proses aerasi, maka kandungan mineral berlebih yang terdapat di dalam air baku untuk pengolahan air minum dapat diturunkan. Salah satu contoh dari kadar mineral yang dapat diturunkan adalah besi (Lutfihani, 2015).

Bentuk senyawa dengan larutan ion, besi dapat terlarut apabila besi memiliki bilangan oksidasi +2 (Fe^{2+}). Ketika mengalami kontak dengan oksigen, Fe akan teroksidasi dan menghasilkan valensi yang lebih tinggi dengan bentuk ion kompleks baru yang tidak larut dalam jumlah yang cukup besar, sehingga konsentrasi Fe dapat diturunkan. Reaksi dari hasil kontak antara Fe dalam air dengan oksigen dapat ditulis sebagai berikut (Lutfihani, 2015):



2.7 *Packed Tower Aerator*

Salah satu metode pengolahan air bersih yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar besi (Fe) yang dapat diterapkan di dalam rumah tangga adalah pengolahan air dengan metode aerasi menggunakan *Packed Tower Aerator*. *Packed Tower Aerator* digunakan untuk pengolahan dan penurunan parameter *Volatile Organic Chemicals* (VOC) atau *Synthetic Organic Chemicals* (SOC) yang mencemari air tanah atau permukaan. Penerapan *Packed Tower Aerator* bisa memakan banyak biaya, kecuali jika didesain dengan pertimbangan yang matang (El-Behilil, 2012). Oleh karena itu, PTA memiliki perhitungan desain yang presisi, selain untuk menekan biaya juga bisa untuk membuat alat yang efektif dalam pengolahannya. Tanpa perhitungan desain alat, PTA akan menghabiskan banyak alat dan bahan sehingga membuat alat lebih mahal dalam pembuatannya maupun dalam operasionalnya.

PTA merupakan tower atau menara yang dengan sistem aerasi berlawanan arah. Air turun ke bawah oleh gravitasi dan udara dipompa ke atas secara berlawanan arah. Air yang diolah biasanya dialirkan di bagian atas PTA dengan cara disemprotkan. PTA menghasilkan kontak antara air dengan gas secara terus menerus dan menyeluruh (Trussel, 2015).

2.8 Bagian-Bagian *Packed Tower Aerator*

Packed Tower Aerator (PTA), memiliki beberapa komponen atau bagian-bagian yang tersusun menjadi satu mekanisme pengolahan air dengan cara aerasi. Beberapa bagian tersebut antara lain (Coker, 2010):

2.8.1 *Inlet*

Inlet memiliki peran penting dalam pengoperasian PTA. Salah satu bagian terpenting dari *inlet* yaitu *spray nozzle*, karena *spray nozzle* harus memperhatikan keseragaman aliran air agar mencapai efisiensi yang baik. Distribusi cairan yang kurang baik akan menurunkan efektifitas dari permukaan *packing* yang terbasahkan.

Spray nozzle memiliki lubang-lubang yang berfungsi untuk menyembrotkan air. Air yang disemprotkan bertujuan agar terjadi aerasi awal sebelum mengalami kontak dari udara yang dialirkan secara berlawanan dari bawah. Gambar *spray nozzle* dapat dilihat melalui **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. *Spray Nozzle*

Sumber : <https://www.tokopedia.com/oppaociem/sprinkler-spray-nozzle-air-irigasi-taman-brass-1-2-inch>

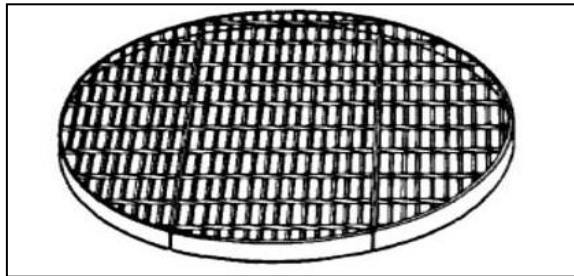
2.8.2 *Shell*

Shell pada umumnya terbuat dari bahan metal, plastik, keramik, atau kombinasi bahan yang lainnya. Umumnya penampang atau sel yang

digunakan pada pengolahan PTA berbentuk lingkaran. *Shell* merupakan tempat dimana proses penurunan kadar pencemar berlangsung. Di dalam sel terdapat beberapa bahan lain juga, yaitu *liquid distributor*, *random packing*, dan lain-lain.

2.8.3 *Packing Restrainer*

Packing Restrainer merupakan bagian dari PTA yang berfungsi untuk menahan *random packing* agar tidak keluar dan tetap terjaga posisinya apabila tiba-tiba terjadi perubahan tekanan gas yang memungkinkan untuk mengeluarkan *random packing* dari tempatnya. *Packing restrainer* dapat dilihat melalui **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2. *Packing Restrainer*

Sumber : Coker, 2010

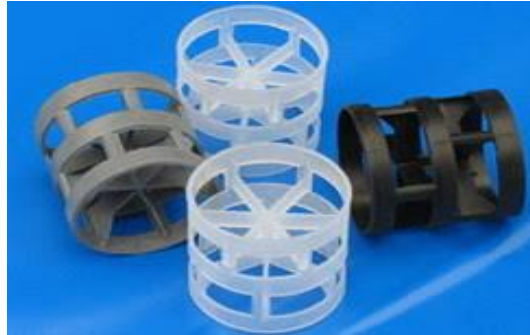
2.8.4 *Random Packing*

Random Packing adalah bahan isian yang digunakan sebagai alat kontak antar fasa. Tujuan utama *packing* adalah untuk menyediakan luas kontak yang besar antara kedua fasa. Sebagai alat kontak antar fasa, *packing* memiliki 3 (tiga) fungsi, yaitu:

1. Tempat berlangsungnya proses perpindahan
2. Tempat terbentuknya keseimbangan
3. Alat pemisah dua fasa seimbang

Bahan isian yang digunakan pada penelitian ini yaitu *pall ring*. Alasan pemilihan *pall ring* yaitu, *pall ring* mudah didapat dan lebih murah dibandingkan bahan lainnya. *Pall ring* yang digunakan berdiameter 4 cm dan memiliki tinggi 3,8 cm. PTA memiliki dua bagian *random packing*. Tujuan dibuatnya dua bagian *random packing* ini yaitu untuk memaksimalkan kontak

yang terjadi agar penurunan kadar Fe air sumur bor yang akan diolah menjadi lebih baik dalam segi kualitas. Gambar *pall ring* dapat dilihat melalui **Gambar 2.3.**



. **Gambar 2.3.** *Pall Ring*

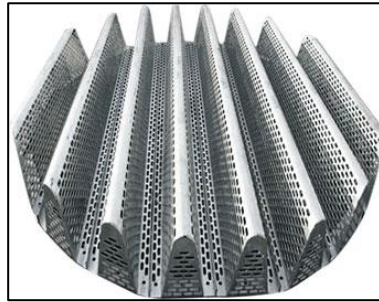
Sumber : <http://ratupallet.co.id/2018/05/13/amr-plastic-pall-ring/>

2.8.5 *Packing Support*

Packing support berfungsi untuk menahan *packed column* yang terletak di atasnya. Pada penggunaan *random packing*, *packing support* yang biasanya digunakan yaitu tipe *support grid*. *Support grid* memiliki lubang yang cukup banyak agar air tetap bisa mengalir sampai ke *outlet*.

Packing support yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketebalan 0,3 cm. Ketebalan tersebut dinilai sudah mampu menahan *pall ring* yang diletakkan di atasnya. Selain itu, ketebalan tersebut dapat mengalirkan air untuk waktu turun yang tidak terlalu lambat dan mengalami kontak dengan oksigen pada saat bersamaan setelah mengalami kontak pada bagian *random packing*.

Packing support pada penelitian ini dibuat secara manual menggunakan bahan dari plat aluminium, kemudian dilubangi menggunakan paku. Untuk lekukan yang mengarah ke atas, dibuat dengan mencetak secara manual menggunakan sebuah kayu berbentuk persegi.



Gambar 2.4. *Support Grids*
Sumber : Coker, 2010

2.8.6 *Redistributor*

Redistributor memiliki peran yang sama dengan *inlet*. Bedanya, *liquid redistributor* berada pada bagian tengah PTA. *Redistributor* berperan untuk mengarahkan zat cair yang turun menembus lapisan *packing* agar tersebar rata di atas permukaan *packing*.



Gambar 2.5. *Liquid Redistributor*

Sumber : <https://www.machengineering.com/liquid-distributors/>

2.8.7 *Oxygen Distributor*

Unit ini berfungsi untuk memasukkan oksigen atau udara yang terletak pada bagian bawah dari PTA. *Inlet* oksigen yang digunakan mengikuti ukuran pipa berdiameter 2” karena ukuran *outlet blower* yang memiliki diameter 2”.

2.8.8 *Blower*

Blower berfungsi sebagai alat untuk memompa oksigen. *Blower* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *blower* keong. *Blower* keong mengumpulkan udara di dalam “keong” kemudian mengeluarkannya keluar dari lubang yang sudah dihubungkan menggunakan selang ke dalam alat *Packed Tower Aerator*.



Gambar 2.6. *Blower* keong
Sumber: <https://www.bukalapak.com/>

2.8.9 *Outlet*

Unit *outlet* pada PTA dirancang menggunakan kran berdiameter 1/2". Pemilihan kran berdiameter 1/2" dinilai sudah cukup untuk mengeluarkan air hasil olahan PTA untuk ditampung dan diuji di laboratorium.

2.9 Rumus Perhitungan Desain Alat

Langkah pertama dalam perhitungan untuk menemukan desain ideal yaitu dengan cara menghitung konstanta Henry parameter pencemar (tak berdimensi) menggunakan persamaan sebagai berikut (Mines, 2014) :

$$H = (H_A^x) \left(\frac{1 \text{ mol} \cdot \text{K}}{R \text{ atm} \cdot \text{L}} \right) \left(\frac{1}{T \cdot \text{K}} \right) \left(\frac{L}{55,6 \text{ mol}} \right) = \frac{H_A^x}{R \cdot T(55,6)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

H : Konstanta Henry, tak berdimensi

H_A^x : Konstanta Henry berdasarkan konsentrasi padat-cair, atm

R : Ketentuan konstanta gas 0.08206 atm.(L/mol.K)

T : Suhu, K

Langkah kedua dalam perhitungan desain PTA yaitu menentukan *stripping factor* (S) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{(Q_a/Q_l)}{(Q_a/Q_l)_{min}} = \frac{(Q_a/Q_l)}{(1/H)} = H \frac{Q_a}{Q_l} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

S : *stripping factor*, tak berdimensi

Q_a : laju aliran udara rata-rata, m³/s

Q_l : laju aliran air rata-rata, m³/s

H : konstanta Henry, tak berdimensi

Langkah ketiga dalam perhitungan desain PTA yaitu menghitung tinggi unit transfer PTA. Sebelum itu, dicari terlebih dahulu luas penampang PTA dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$HTU = \frac{Q}{A \cdot K_L a} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

HTU : *Height Transfer Unit* (ketinggian transfer unit)

Q₁ : debit air, m³/hari

A : luas penampang, m²

K_La : koefisien transfer massa dari padatan atau gas spesifik, S⁻¹

Langkah keempat perhitungan desain PTA yaitu menghitung *Number of Transfer Units* (NTU) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$NTU = \left[\frac{S}{S-1} \right] \ln \left[\frac{(C_0/C_e)(S-1)+1}{S} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

NTU : *Number Transfer Unit*, m

S : *stripping factor*, tak berdimensi

C₀ : konsentrasi influen, g/m³

C_e : konsentrasi efluen, g/m³

Langkah berikutnya yaitu menentukan ketinggian *packed column* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Z = HTU \times NTU \dots\dots\dots (2.6)$$

Ketinggian *packed column* ideal didapat dengan cara menambahkan 20% dari hasil ketinggian *packed column* di atas.

2.10 Hukum Henry

Jumlah gas terlarut sebanding dengan tekanan parsial dalam fase gas. Faktor proporsionalitas tersebut disebut dengan konstanta hukum Henry (Henry's Law). Dalam kimia atmosfer, konstanta ini diperlukan untuk mendeskripsikan distribusi antara udara dan partikel aerosol. Di bidang penelitian lingkungan lainnya, konstanta ini diperlukan untuk menghitung penguapan bahan kimia dari sungai dan pengolahan air limbah (Sander, 2015).

Sebuah kompilasi besar konstanta hukum Henry dari beberapa nilai yang dipilih, ditampilkan dalam **Tabel 2.2** (Sander, 2015).

Tabel 2.2. Konstanta Hukum Henry yang Sering Digunakan

Parameter	Persamaan			
	$K_H^{pc} = \frac{P}{C_{aq}}$	$H^{cp} = \frac{C_{aq}}{P}$	$K_H^{px} = \frac{P}{x}$	$H^{cc} = \frac{C_{aq}}{C_{gas}}$
	Satuan			
	$\frac{L \cdot atm}{mol}$	$\frac{mol}{L \cdot atm}$	atm	tak berdimensi
O ₂	770	$1,3 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^4$	$3,2 \times 10^{-2}$
H ₂	1300	$7,8 \times 10^{-4}$	$7,1 \times 10^4$	$1,9 \times 10^{-2}$
CO ₂	29	$3,4 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^3$	$8,3 \times 10^{-1}$
N ₂	1600	$6,1 \times 10^{-4}$	$9,1 \times 10^4$	$1,5 \times 10^{-2}$
He	2700	$3,7 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^5$	$9,1 \times 10^{-3}$
Ne	2200	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^5$	$1,1 \times 10^{-2}$
Ar	710	$1,4 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^4$	$3,4 \times 10^{-2}$
CO	1100	$9,5 \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^4$	$2,3 \times 10^{-2}$

Sumber : Sander, 2015