

Rancang Bangun Sistem Pengolahan Air Umpan Boiler Untuk Pengembangan Praktikum Sistem Pembangkit II

Yiyin Klistafani^{1*}, Rezki Arsal², Rahmawati²

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*yiyin_klistafani@poliupg.ac.id

Abstract: *This study aims to provide boiler feed water treatment system facilities (water treatment) in accordance with the PLTU system in the Energy Conversion Laboratory. The design steps begin with field surveys, literature studies, design and assembly of the boiler feed water treatment system. Data collection was carried out by testing the raw water and boiler feed water and then testing the silica sand filter, while data analysis was carried out by comparing the test results data with existing boiler feed water standards. The results obtained are the availability of a boiler feed water treatment system using a silica sand filter and a water softener unit that is able to change the nature of raw water from hard to soft. Based on the test results of the boiler feed water treatment system, the characteristics of the processed water already meet the boiler feed water standards, except for the pH parameter.*

Keywords: *boiler feed water; water softener units; filters; silica sand*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menyediakan fasilitas sistem pengolahan air umpan boiler (water treatment) yang sesuai dengan sistem PLTU di Laboratorium Konversi Energi. Adapun langkah-langkah rancang bangun ini diawali dengan survey lapangan, studi literatur, desain kemudian perakitan sistem pengolahan air umpan boiler. Pengumpulan data dilakukan dengan pengujian pada air baku dan air umpan boiler kemudian pengujian filter pasir silika, sedangkan analisa data dilakukan dengan membandingkan data hasil pengujian dengan standar air umpan boiler yang ada. Hasil yang diperoleh yaitu tersedianya sistem pengolahan air umpan boiler dengan menggunakan filter pasir silika dan unit pelunak air yang mampu mengubah sifat air baku dari sadah menjadi lunak. Berdasarkan hasil pengujian sistem pengolahan air umpan boiler, karakteristik air hasil olahan sudah memenuhi standar air umpan boiler, kecuali pada parameter pH.

Kata kunci: Air Umpan Boiler, Unit Pelunak Air, Filter, Pasir Silika.

I. PENDAHULUAN

Sejak awal ditemukannya, boiler telah menjadi alat yang sangat penting di dalam dunia industri khususnya industri proses. Boiler merupakan bejana bertekanan yang didesain untuk menghasilkan uap panas atau steam. Selain untuk keperluan industri proses, uap dari boiler dimanfaatkan pula untuk membangkitkan energi listrik.

Oleh karena pentingnya alat tersebut, berbagai upaya pengembangan terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari boiler salah satunya yaitu pengolahan air umpan boiler. Pengolahan air umpan boiler yang baik dapat mempertahankan usia pemakaian dari boiler. Selain itu secara tidak langsung dengan adanya pengolahan air umpan boiler dapat memaksimalkan efisiensi boiler.

Dalam Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 248 Tahun 2016 tentang penetapan SKKNI (Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia) kategori industri pengolahan golongan pokok industri barang logam, bukan mesin dan peralatannya bidang operasi boiler, pengolahan air umpan boiler merupakan salah satu poin yang harus dipenuhi untuk dapat dikatakan kompeten dalam setiap unit kompetensi [1].

Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai salah satu perguruan tinggi vokasi diharapkan dapat menghasilkan lulusan yang kompeten tak terkecuali pada bidang pengolahan air umpan boiler. Namun pada kenyataannya, pada laboratorium konversi energi yang dimiliki oleh Jurusan Teknik Mesin dan digunakan untuk praktikum oleh mahasiswa program studi D-III Konversi Energi maupun D-4 Pembangkit Energi belum terdapat fasilitas yang memungkinkan untuk mengakomodir unit kompetensi tersebut, salah satunya adalah belum tersedianya fasilitas pengolahan air umpan boiler.

A. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler adalah air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi uap. Sedangkan sistem pengolahan air umpan boiler merupakan sistem yang mengolah air baku agar sesuai dengan standar air umpan boiler [2]. Adapun tujuan pengolahan air boiler antara lain :

- Mencegah terjadinya karat (korosi) pada *boiler* maupun pipa uap kondensat.
- Mencegah terbentuknya kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*) yang dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pada pipa dan *overheating*.
- Mencegah terjadinya *Carry - Over* dimana air terikut dengan uap. *Carry- Over* terjadi antara lain disebabkan oleh faktor mekanikal seperti fluktuasi beban mendadak & besar. Operasi diatas kapasitas (*Over Load*), permukaan air *boiler* terlalu tinggi, alat pemisah *steam* yang kurang baik sedangkan faktor kimiawi seperti kandungan zat padat tersuspensi terlalu tinggi, zat padat terlalu tinggi, *alkalinity* terlalu tinggi, silika terlalu tinggi dan adanya bahan organik seperti minyak dan lain-lain.
- Menyempurnakan efisiensi *boiler* secara maksimal dan menghemat bahan bakar.

Penggunaan air umpan *boiler* yang tidak memenuhi persyaratan akan menimbulkan beberapa masalah [3], antara lain :

➤ Pembentukan kerak

Kerak pada *boiler* dapat terjadi karena pengendapan (*precipitation*) dari zat pengotor pada permukaan perpindahan panas atau karena pengendapan zat tersuspensi dalam air yang kemudian melekat pada logam dan menjadi keras. Kerak dapat mengakibatkan terjadinya pemanasan lanjut setempat (*local overheating*) dan *boiler* gagal berfungsi (*failure*).

➤ Terjadinya korosi

Pengertian korosi secara sederhana adalah perubahan kembali logam menjadi bentuk bijihnya. Proses korosi sebenarnya merupakan proses elektrokimia yang rumit dan kompleks. Korosi dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada permukaan logam. Penyebab utama timbulnya korosi, antara lain :

- pH air yang rendah,
- Gas-gas yang terlarut dalam air seperti : O_2 , CO_2 , dan lain-lain,
- Garam-garam terlarut dan padatan tersuspensi.

Alkalinitas yang rendah dan adanya garam-garam dan padatan terlarut dalam air dapat membantu terjadinya korosi.

➤ Pembentukan busa.

Pembentukan busa (*foaming*) adalah peristiwa pembentukan gelembung gelembung di atas permukaan air dalam drum *boiler*. Penyebab timbulnya busa adalah adanya kontaminasi oleh zat-zat organik atau zat-zat kimia yang ada dalam air *boiler* tidak terkontrol dengan baik. Busa dapat mempersempit ruang pelepasan uap-panas (*steam-release space*) dan dapat menyebabkan terbawanya air serta kotoran-kotoran bersama-sama uap air. Kerugian yang dapat ditimbulkan oleh hal ini adalah terjadinya endapan dan korosi pada logam-logam dalam sistem *boiler*.

B. Pengolahan Air Umpan Boiler

Ada dua jenis pengolahan air umpan *boiler* yaitu: pengolahan air internal dan pengolahan air eksternal [4]. Pengolahan air internal adalah penambahan bahan kimia ke *boiler* untuk mencegah pembentukan kerak. Senyawa pembentuk kerak diubah menjadi lumpur yang mengalir bebas, yang dapat dibuang dengan *blowdown*. Metode ini terbatas pada *boiler* dimana air umpan mengandung garam sadah yang rendah, dengan tekanan rendah, kandungan TDS tinggi dalam *boiler* dapat ditoleransi, dan jika jumlah airnya sedikit. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka laju *blowdown* yang tinggi diperlukan untuk membuang lumpur.

Pengolahan eksternal digunakan untuk membuang padatan tersuspensi, padatan terlarut (terutama ion kalsium dan magnesium yang merupakan penyebab utama pembentukan kerak) dan gas-gas terlarut (oksigen dan karbondioksida).

Ada 3 proses perlakuan eksternal yang ada antara lain : pertukaran ion, penghilangan mineral / demineralisasi, dan Deaerasi [2]. Dilain pihak, ada 4 proses perlakuan eksternal [5] yang ada antara lain : pertukaran ion, deaerasi (mekanis dan kimia), osmosis balik dan penghilangan mineral / demineralisasi.

Sebelum digunakan cara diatas, perlu untuk membuang padatan dan warna dari bahan baku air, sebab bahan tersebut dapat mengotori resin yang digunakan pada bagian pengolahan selanjutnya (pertukaran ion). Pengolahan yang dilakukan sebelum memasuki proses pertukaran ion yaitu proses penjernihan dan proses penyaringan.

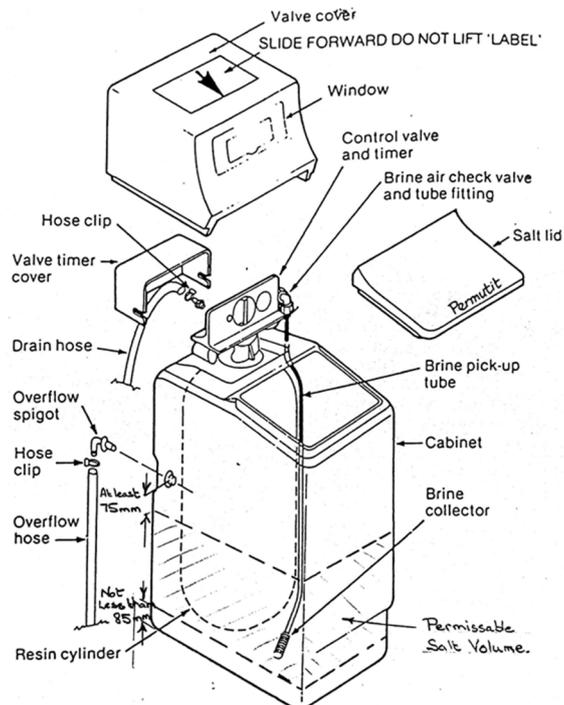
1. Proses Penyaringan

Air yang dipersiapkan sebagai bahan baku untuk proses pertukaran ion (*ion exchanger*) termasuk proses pelunakan air (*water softener*) harus disaring untuk mencegah *fouling* di penukar ion yang disebabkan oleh kotoran yang terbawa. Sejumlah kotoran yang terbawa dikoagulasikan pada proses penjernihan. Bahan-bahan pengotor akan dihilangkan termasuk bahan organik, warna dan bakteri. Selama operasi dari *filter*, kotoran yang masih terbawa pada air setelah mengalami proses penjernihan akan terlepas oleh *filter* dan terkumpul pada permukaan *bed*. Filtrasi adalah suatu proses pemisahan zat padat dari fluida (cair maupun gas) yang membawanya menggunakan suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid [6].

2. Proses Ion Exchange (Water Softener)

Ion exchange (pertukaran ion) adalah sebuah proses fisika-kimia. Pada proses tersebut senyawa yang tidak larut, dalam hal ini resin, menerima ion positif atau negatif tertentu dari larutan dan melepaskan ion lain ke dalam larutan tersebut dalam jumlah ekuivalen yang sama [3].

Pada proses pertukaran ion, kesadahan dihilangkan dengan melewati air pada *bed* zeolite alam atau resin sintetik dan tanpa pembentukan endapan. Jenis paling sederhana adalah “pertukaran basa” dimana ion kalsium dan magnesium ditukar dengan ion sodium. Setelah jenuh, dilakukan regenerasi dengan sodium klorida. Garam sodium mudah larut, tidak membentuk kerak dalam *boiler*. Dikarenakan penukar basa hanya menggantikan kalsium dan magnesium dengan sodium, maka tidak mengurangi kandungan TDS, dan besarnya *blowdown*. Penukar basa ini jika tidak menurunkan alkalinya.



Gambar 1. Unit Pelunak Air [7]

a. Unit Pelunak Air

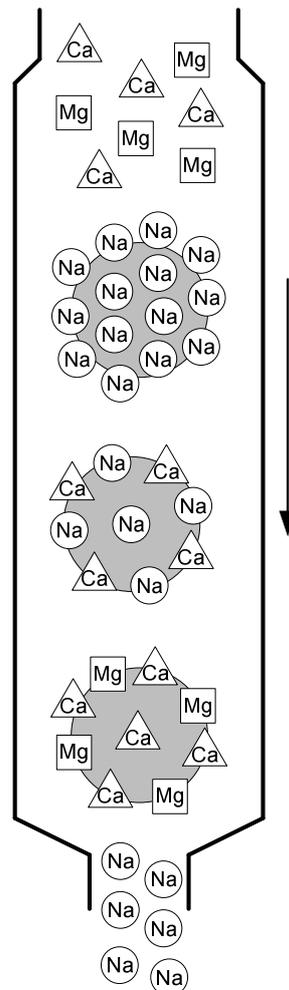
Unit pelunak air ada untuk mengatasi masalah yang timbul dari penggunaan air sadah/keras dengan cara menghilangkan garam kalsium dan magnesium yang menyebabkan kekerasan. Proses ini dikenal sebagai pelunakan air, dan metode yang digunakan untuk melakukan ini, adalah pertukaran ion. Dalam hal ini air sadah dilewatkan melalui unggun resin pertukaran ion yang terdapat dalam bejana silinder vertical [8].

b. Resin Penukar Ion

Resin adalah senyawa hidrokarbon terpolimerisasi sampai tingkat yang tinggi yang mengandung ikatan-ikatan hubung silang (*cross-linking*) serta gugusan yang mengandung ion-ion yang dapat dipertukarkan [8].

Berdasarkan gugus fungsionalnya, resin penukar ion terbagi menjadi dua yaitu resin penukar kation dan resin penukar anion. Resin penukar kation mengandung kation yang dapat dipertukarkan. Sedangkan resin penukar anion mengandung anion yang dapat dipertukarkan. Dalam proses *water softening* digunakan resin penukar kation dengan ion H^+ atau Na^+ yang dapat dipertukarkan.

Resin penukar kation adalah resin yang mempunyai kemampuan untuk menyerap atau menukar kation-kation seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ dan sebagainya yang terdapat dalam air. Resin ini akan mengikat kation dari garam-garam penyebab kesadahan sehingga air yang melewati resin ini telah bebas dari kation.



Gambar 2. Proses Penukaran Ion Ca dengan Na (Pelunakan) [3].

Adapun reaksi yang terjadi pada proses pertukaran kation disajikan pada reaksi (1) dan (2) di bawah ini [8]:

Reaksi pelunakan:



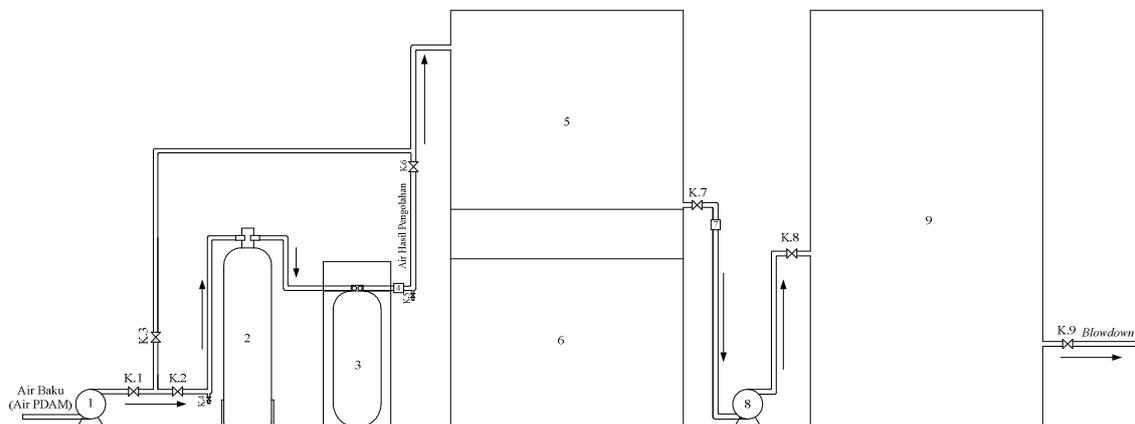
Reaksi regenerasi



Reaksi (1) menyatakan bahwa larutan yang mengandung $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ diolah dengan resin penukar kation Na_2R , dengan R menyatakan resin. Resin mempertukarkan ion Na^+ -nya dengan ion Ca^{2+} pada larutan. Secara ilustratif hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Adapun alat dan bahan yang digunakan yaitu : gelas *becker*; gelas ukur; kaca pengaduk; kertas indikator pH; tabung *Filter Nanotech*; resin kation (Resinex K-8); pasir silika; TDS meter; tablet uji (Alkalinitas P1, Alkalinitas P2, Chloride, Kekerasan); pipa PVC 3/4"; *elbow*; lem pipa PVC.



Gambar 3. Skema Instalasi Pengolahan Air Umpan Boiler (*Ion Exchange*).

Keterangan :

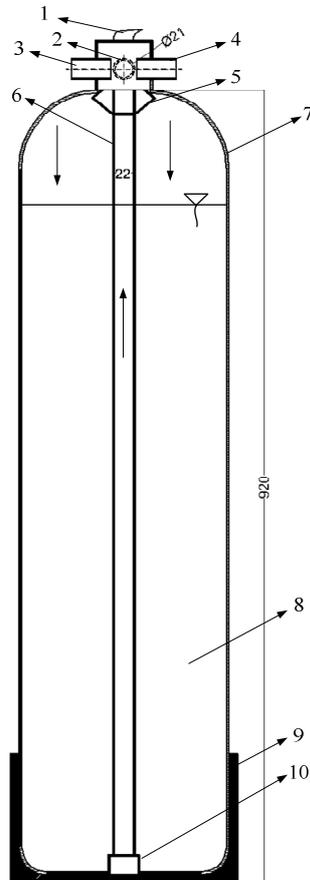
- | | |
|-----------------------------|---------------------------|
| 1. Pompa Utama Laboratorium | 6. Tangki Bahan bakar |
| 2. Tabung Filter | 7. <i>Water Meter</i> |
| 3. Unit Pelunak Air | 8. Pompa Air Umpan Boiler |
| 4. <i>Water Meter</i> | 9. Boiler |
| 5. Tangki Air Umpan Boiler | |

Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini terdiri atas beberapa tahapan yaitu : survey lapangan, tahap perancangan, tahap pembongkaran dan perakitan serta tahap pengujian.

A. Langkah-Langkah Pengujian Kualitas Air Baku dan Air Umpan Boiler

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam proses pengujian,
2. Memastikan katup *bypass* dalam keadaan tertutup.
3. Mengatur selector tabung *filter* silika pada posisi “*filter*”
4. Mengatur selector tabung *softener* pada posisi “*service*”
5. Mengaktifkan pompa penyuplai air umpan boiler,
6. Membuka penuh katup utama dan katup *outlet* serta membuka katup inlet kira-kira 1 putaran.
7. Mengambil sampel air baku (air umpan boiler) pada bagian *inlet*, sampel air baku hanya diambil sekali,
8. Mengambil sampel air hasil pengolahan (air umpan boiler) pada bagian *outlet*, sampel diambil setiap lima menit sebanyak tiga kali,

9. Mengulangi langkah 6 dan 8 dengan memvariasikan bukaan katup *inlet* (20, 60 dan 100 %)



Keterangan :

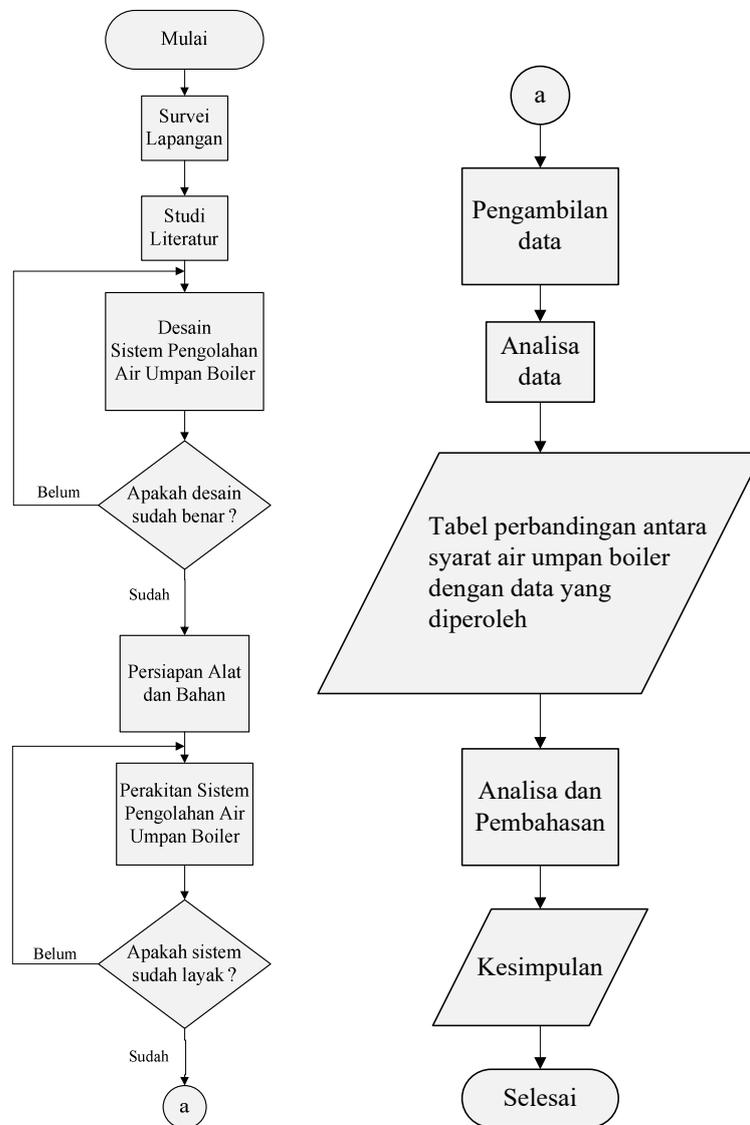
1. Katup Selektor
2. Drain Tube
3. Inlet Tube
4. Outlet Tube
5. Upper Filter
6. Distributor Tube
7. Tabung Filter
8. Media Filter (Pasir Silika)
9. Dudukan
10. Bottom Filter

Gambar 4. Desain Tabung *Filter*

10. Melakukan pengujian terhadap sampel-sampel yang telah diambil, pengujian tersebut berupa pengujian :
- a. pH air
 - Mengisi tabung kaca dengan air sampel sebanyak 10 ml.
 - Mengambil 1 lembar kertas tes pH kemudian dicelupkan ke dalam air sampel tersebut.
 - Membandingkan warna kertas yang sudah dicelupkan dengan diagram.
 - b. Pengujian Alkalinitas P1
 - Mengisi gelas becker dengan air sebanyak 100 ml
 - Menambahkan 1 tablet uji ke dalam air tersebut lalu kocok
 - Mengulangi sampai warna air berubah menjadi warna kuning
 - Nilai alkalinitas = (jumlah tablet x 40) – 20. [ppm CaCO₃]
 - c. Pengujian Alkalinitas P2 (BaCl₂)
 - Mengisi gelas becker dengan air sebanyak 100 ml
 - Menambahkan 1 tablet uji ke dalam air tersebut lalu kocok
 - Mengulangi sampai warna air berubah menjadi warna kuning
 - Nilai alkalinitas = (jumlah tablet x 40) – 20. [ppm CaCO₃]
 - d. Pengujian chloride
 - Mengisi tabung gelas dengan air sebanyak 10 ml
 - Menambahkan 1 tablet uji ke dalam air tersebut lalu kocok

- Mengulangi sampai warna air berubah menjadi warna coklat
 - Nilai chlorida = $\{(jumlah\ tablet \times 100) - 100\} \times 1,6$ [mg/l NaCl]
- e. Pengujian kekerasan
- Mengisi tabung gelas dengan air sebanyak 10 ml
 - Menambahkan 1 tablet uji ke dalam air tersebut lalu kocok
 - Mengamati perubahan warna air tersebut
 - Warna hijau menunjukkan sifat air lunak, sedangkan warna merah menunjukkan sifat keras/sadiah.
11. Memasukkan data hasil pengujian ke dalam Tabel,
 12. Membandingkan data hasil pengujian dengan standar air umpan boiler,
 13. Apabila air hasil pengujian belum memenuhi standar, maka dilakukan kajian ulang terhadap sistem yang dibuat.

B. Diagram Alir Rancang Bangun Sistem Pengolahan Air Umpan Boiler



Gambar 5. Diagram Alir Sistem Pengolahan Air Umpan Boiler

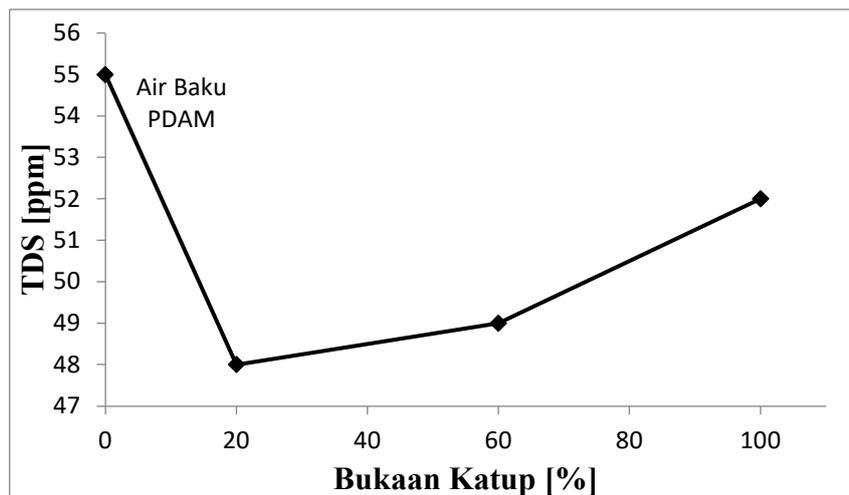
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Air Baku dan Air Umpam Boiler dengan Variasi Bukaannya Katup Inlet

Parameter sampel yang diuji yaitu pH, TDS, kekerasan, alkalinitas P1, alkalinitas P2 dan Chloride. Nilai pH dari sampel diperoleh dari pengujian dengan kertas indikator pH, sedangkan nilai TDS diukur menggunakan TDS meter. Untuk parameter kekerasan, alkalinitas P1, alkalinitas P2 dan chloride diuji dengan tablet ujinya masing-masing. Acuan dari metode pengujian dengan tablet uji ini adalah perubahan warna yang terjadi pada sampel setelah dicampurkan dengan tablet uji. Sampel dicampur dengan tablet uji sampai berubah menjadi warna tertentu. Jumlah tablet yang digunakan tersebut disubstitusikan kedalam rumus untuk memperoleh nilainya.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi perubahan sifat dari air baku (air PDAM) yang semula bersifat keras/sadiah menjadi lunak setelah melewati sistem. Hal ini menunjukkan bahwa unit pelunak air (*softener unit*) bekerja dengan baik. Parameter lain yang diuji seperti pH, Alkalinitas dan Chloride tidak menunjukkan perubahan. Hal ini disebabkan oleh sistem yang hanya diperuntukkan untuk merubah sifat kekerasan dari air baku saja.

TDS dari air baku PDAM pada awalnya memiliki nilai TDS 55 ppm, setelah melewati sistem pengolahan air umpam *boiler* nilai TDS mengalami penurunan. Dari variasi bukannya katup *inlet* dapat dilihat nilai TDS meningkat seiring dengan meningkatnya bukannya katup (meningkatnya debit). Hal ini disebabkan karena debit yang besar akan mengurangi waktu kontak air baku dengan pasir silika. Hubungan antara bukannya katup *inlet* (besarnya debit) terhadap nilai TDS air umpam *boiler* ditunjukkan oleh Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik hubungan antara bukannya katup *inlet* (besarnya debit) terhadap nilai TDS pada sistem pengolahan air umpam *boiler*.

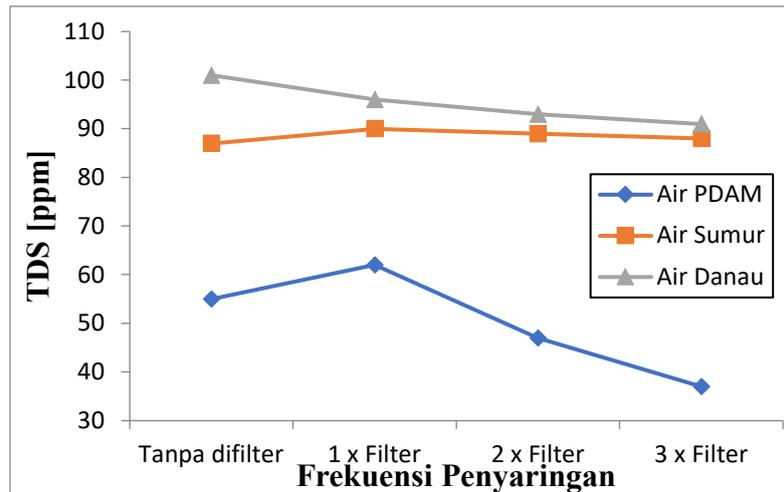
Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa pada kondisi awal air baku PDAM memiliki nilai TDS 55 ppm. Ketika diolah dalam sistem pengolahan air umpam *boiler* dengan bukannya katup *inlet* 20 %, nilai TDS nya menurun menjadi 48 ppm. Ketika diolah dengan bukannya katup *inlet* 60 % dan 100%, nilai TDS nya meningkat dengan nilai masing-masing 49 dan 52 ppm. Sehingga disimpulkan bahwa semakin besar debit yang mengalir pada sistem maka semakin besar nilai TDS yang dihasilkan. Hal ini karena waktu kontak antara air dengan pasir silika menjadi semakin singkat. Oleh karena itu direkomendasikan mengoperasikan sistem dengan debit yang kecil agar waktu kontak antara air dengan pasir silika lebih lama dan efektif.

B. Pengujian Filter Pasir Silika dengan Variasi Frekuensi Penyaringan

Pengujian dilakukan dengan melewati air baku pada pipa yang telah diisi dengan pasir silika dan dibuat sedemikian rupa untuk mendukung pengujian filtrasi pasir silika. Sampel yang digunakan ada

tiga macam yaitu : air PDAM, air sumur dan air danau. Yang ingin dilihat adalah perbandingan hasil dari filtrasi pasir silika dengan 1x, 2x dan 3x filter.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai Alkalinitas P1, Alkalinitas P2, Total Alkalinitas, pH dan kekerasan dari ketiga jenis sampel sama. Yang berbeda adalah nilai Chloride dan TDS dimana Air PDAM tidak mengandung Chloride sedangkan Air Sumur dan Air Danau mengandung Chloride sebanyak 200 mg/l Cl. Untuk nilai TDS, air danau memiliki nilai TDS tertinggi sebesar 101 ppm sedangkan air PDAM memiliki nilai TDS terendah sebesar 55 ppm. Hubungan antara frekuensi penyaringan dengan nilai TDS pada filtrasi pasir silika ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik hubungan antara frekuensi penyaringan dengan nilai TDS pada filtrasi pasir silika.

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa untuk pengujian menggunakan air PDAM sebelum dilakukan filtrasi nilai TDS air PDAM sebesar 55 ppm. Setelah dilakukan filtrasi sebanyak 1x, nilai TDS meningkat menjadi 62 ppm. Setelah dilakukan filtrasi sebanyak 2x dan 3x, nilai TDS mengalami penurunan masing-masing menjadi 47 kemudian 37 ppm. Pada pengujian dengan sampel air sumur maupun air danau juga diperoleh grafik yang serupa dengan nilai yang berbeda.

Adanya peningkatan nilai TDS yang terjadi pada pengujian menggunakan air PDAM dan air sumur dapat disebabkan oleh adanya zat pengotor pada pasir silika pada awal-awal pengujian. Tetapi secara keseluruhan dapat dilihat hasil dari proses filtrasi dimana dengan adanya proses filtrasi dapat menurunkan nilai TDS dari air baku. Semakin banyak pasir yang digunakan maka semakin besar pula penurunan nilai TDS yang dihasilkan. Dari tabel juga dapat dilihat bahwa filtrasi pasir silika tidak mengubah parameter-parameter seperti : alkalinitas P1, alkalinitas P2, chloride, pH dan kekerasan dari air baku yang diuji.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Tersedia sistem pengolahan air umpan boiler dengan menggunakan filter pasir silika dan *softener* unit yang mampu mengubah sifat air baku dari sadah menjadi lunak dimana berdasarkan hasil uji coba sistem pengolahan air umpan boiler, karakteristik air hasil olahan sudah memenuhi standar air umpan boiler, kecuali pada parameter pH.

Dari hasil pengujian filtrasi pasir silika diketahui bahwa penggunaan pasir silika dapat menurunkan nilai TDS dimana semakin banyak pasir yang digunakan maka semakin besar pula penurunan nilai TDSnya. Dilain sisi, berdasarkan hasil uji coba sistem pengolahan air umpan boiler semakin besar bukaan katup inlet (debit) maka nilai TDS pada air umpan boiler juga semakin besar.

B. Saran

- Menggunakan metode pengujian sampel yang sesuai dengan SNI.
- Untuk pengembangan kedepannya diharapkan adanya penambahan proses pengolahan sehingga diperoleh nilai pH yang sesuai dengan standar air umpam *boiler*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, “Keputusan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 248 Tahun 2016 Tentang Penetapan SKKNI Kategori Industri Pengolahan Golongan Pokok Industri Barang Logam, Bukan Mesin Dan Peralatannya Bidang Operasi Boiler,” 2016.
- [2] F. Y. Lontounaung, “PEMELIHARAAN BOILER DI HOTEL NOVOTEL MANADO.” *Politeknik Negeri Manado*, 2016.
- [2] Setiadi, Tjandra, “Pengolahan dan Penyediaan Air. Fakultas Teknologi Industri,” *Institut Teknologi Bandung*, Bandung, Bahan Ajar, 2007.
- [3] Rabiah, “Pemanfaatan Kualitas Air dan Uap Sistem Internal Treatment pada PLTU Barru,” *Laporan Tugas Akhir*. Makassar: Jurusan Teknik Kimia Poloteknik Negeri Ujung Pandang, 2014
- [4] UNEP. 2006. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia. 2006.
- [5] Williams, Michael E., “A Brief Review of Reverse Osmosis Membrane Technology,” *EET Corporation and Williams Engineering Services Company*, 2003.
- [6] Cussons, G. Instruction Manual “Water Treatment Set Type P7633”. Manchecter. 1987.
- [7] D. E. Lestari and S. B. Utomo, “Karakteristik Kinerja Resin Penukar Ion Pada Sistem Air Bebas Mineral (GCA 01) RSG–Gas,” *Pus. Reakt. Serba Guna Batan, Banten*, 2007.