



TUGAS AKHIR - RE141581

POTENSI AIR BUANGAN *AIR CONDITIONING* UNTUK AIR MINUM

**SITI ROHMAH
NRP 3311 100 054**

**DOSEN PEMBIMBING
Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT- RE141581

**POTENTIAL OF AIR CONDITIONING
WASTEWATER FOR DRINKING WATER**

**SITI ROHMAH
NRP 3311 100 054**

**SUPERVISOR
Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

Potensi Air Buangan *Air Conditioning* untuk Air Minum

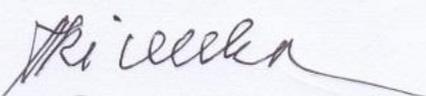
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

SITI ROHMAH
NRP. 3311100054

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:


Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng
NIP. 195207071981031005



SURABAYA
JULI, 2015

POTENSI AIR BUANGAN AIR CONDITIONING UNTUK AIR MINUM

Nama Mahasiswa : Siti Rohmah
NRP : 3311 100 054
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP-ITS
Pembimbing : Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng.

ABSTRAK

Air buangan *Air Conditioning* (AC) memiliki kuantitas yang cukup banyak, tetapi biasanya air buangan AC langsung dibuang ke lingkungan sekitar melalui pipa saluran air buangan AC. Tujuan penelitian adalah (1) menentukan kuantitas air buangan AC yang dihasilkan per jam, (2) menganalisis kualitas air buangan AC, dan (3) menganalisis nilai ekonomi air buangan AC untuk air minum.

Penelitian dilakukan dengan menganalisis kuantitas dan kualitas air buangan AC. Variasi yang digunakan adalah merk AC yaitu Panasonic, Daikin, dan LG dengan variasi daya yaitu 1 PK, 1,5 PK, dan 2 PK. Parameter yang dianalisis meliputi warna, TDS, kekeruhan, besi, kesadahan, klorida, pH, sulfat, ammonia, timbal, zat organik, dan total bakteri *Coliform*.

Rata-rata kuantitas air buangan AC yang dihasilkan oleh AC daya 1 PK, 1,5 PK, dan 2 PK adalah 1,1 L/jam, 1,6 L/jam, dan 2,7 L/jam. Kualitas air buangan AC berdasarkan parameter fisik memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan, sedangkan parameter kimia dan mikrobiologi melebihi baku mutu yang dipersyaratkan. Parameter kimia yang melebihi baku mutu yang dipersyaratkan adalah ammonia dan zat organik, sedangkan parameter mikrobiologi adalah adanya bakteri *Coliform nonfecal*. Pemanfaatan air buangan AC sebagai air minum dapat memberikan penghematan sebesar Rp 1.316.220.371 selama 6 bulan.

Kata kunci : AC, air buangan, merk AC, daya AC

POTENTIAL OF AIR CONDITIONING WASTEWATER FOR DRINKING WATER

Name of Student : Siti Rohmah
NRP : 3311 100 054
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng.

ABSTRACT

Air conditioning (AC) wastewater has a considerable quantity, however AC wastewater directly discharged into the environment through the AC wastewater pipe. The purposes of research is (1) to determine the quantity of AC wastewater produced per hour, (2) to analyze the quality of AC wastewater, and (3) to analyze the economic value of AC wastewater utilization for drinking water.

The research was conducted by analyzing the quantity and quality of AC wastewater. The variation used was brand AC, i.e., Panasonic, Daikin, and LG with power variation, i.e., 1 PK, 1,5 PK, and 2 PK. The analytical parameters were color, TDS, turbidity, iron, hardness, chloride, pH, sulfate, ammonia, lead, organic matter, and total coliform bacteria.

The average quantity of AC wastewater produced by AC 1 PK, 1,5 PK, and 2 PK is 1,1 L/hour, 1,6 L/hour, dan 2,7 L/hour. The quality of AC wastewater based on physical parameters was fill up the quality standard, chemical and microbiological parameters was exceed the quality standard, i.e., ammonia, organic matter, and coliform bacteria nonfecal. The utilization of AC wastewater as drinking water can savings of Rp 1.316.220.371 for 6 months.

Keywords : AC, brand AC, power AC, wastewater,

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir penelitian yang berjudul "Potensi Air Buangan AC untuk Air Minum". Penulis menyampaikan terima kasih dan rasa hormat atas segala bimbingan dan bantuan yang telah diberikan kepada :

1. Bapak Ir. Hariwiko Indarjanto, M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ilmu, masukan dan pengarahan dalam proses pembimbingan.
2. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D, Bapak Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T, dan Bapak Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM selaku dosen penguji yang memberikan masukan dan saran terhadap perbaikan tugas akhir.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc selaku dosen wali atas dukungannya.
4. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, S.T., MT., M.phil., PhD selaku Koordinator Tugas Akhir S1 Teknik Lingkungan atas dukungannya.
5. Orang tua dan keluarga yang selalu memberi semangat, doa, dan dukungannya.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS 2011 atas kerja sama dan dukungannya.

Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Juni 2015
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Air Conditioner (AC)</i>	5
2.1.1 Dasar-Dasar Psikrometri	5
2.1.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	6
2.1.3 Evaporator dan Air Buangan AC	8
2.2 Kualitas Udara dalam Ruangan	10
2.3 Definisi Air Minum	13
2.3.1 Persyaratan Fisika	13
2.3.2 Persyaratan Kimia	14
2.3.3 Persyaratan Mikrobiologi	17
2.4 Adsorpsi	18
2.5 Kuesioner	20
2.6 Penelitian Terdahulu	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Kerangka Penelitian	23
3.2 Tahapan Penelitian	25
3.2.1 Ide Penelitian	25
3.2.2 Studi literatur	25
3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan	26
3.2.4 Pengumpulan Data	26
3.2.5 Analisis dan Pembahasan	29
3.2.6 Kesimpulan dan Saran	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Kuantitas Air Buangan AC	31

4.2	Kualitas Air Buangan AC	36
4.2.1	Parameter Fisik	36
4.2.2	Parameter Kimia	39
4.2.3	Parameter Mikrobiologi	48
4.3	Hasil Kuesioner Ketersediaan Mengonsumsi Air Buangan AC sebagai Air Minum	50
4.4	Nilai Ekonomi dari Pemanfaatan Air Buangan AC ..	51
4.4.1	Analisis Air Buangan AC untuk Kebutuhan Air Minum	51
4.4.2	Analisis Pengolahan Air Buangan AC untuk Air Minum	53
4.4.3	Analisis Penghematan dari Pemanfaatan Air Buangan AC sebagai Air Minum	57
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA.....		63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3.1 Variasi Sampel Penelitian	27
Tabel 3.2 Metode Analisis Parameter Kualitas Air	27
Tabel 3.3 Jumlah Mahasiswa, Dosen, dan Karyawan di ITS Surabaya	28
Tabel 4.1 Hasil Kuantitas Air Buangan AC	31
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan L/jam/PK/RH dan L/jam/PK/RH/merk AC	36
Tabel 4.3 Hasil Analisis Parameter Fisik Air Buangan AC	37
Tabel 4.4 Hasil Analisis Parameter Kimia Air Buangan AC	40
Tabel 4.5 Responden yang Bersedia Mengonsumsi Air Buangan AC sebagai Air Minum	51
Tabel 4.6 Biaya Listrik Penggunaan AC	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Psikrometri.....	6
Gambar 2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	7
Gambar 2.3 Evaporator AC	9
Gambar 2.4 Skema Proses Pendinginan Udara di dalam Evaporator.....	10
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	24
Gambar 4.1 Hubungan antara Kelembaban Relatif dan Kuantitas Air Buangan AC per Jam	32
Gambar 4.2 Hubungan antara Perbedaan Suhu Udara dan Suhu Titik Embun dengan Kuantitas Air Buangan AC per Jam	33
Gambar 4.3 Kuantitas Air Buangan AC per Jam.....	34
Gambar 4.4 Hasil Analisis Warna Air Buangan AC	37
Gambar 4.5 Hasil Analisis Kekeruhan Air Buangan AC.....	38
Gambar 4.6 Hasil Analisis TDS Air Buangan AC	39
Gambar 4.7 Hasil Analisis Besi Air Buangan AC	40
Gambar 4.8 Hasil Analisis Klorida Air Buangan AC	41
Gambar 4.9 Hasil Analisis Kesadahan Air Buangan AC.....	42
Gambar 4.10 Hasil Analisis pH Air Buangan AC.....	42
Gambar 4.11 Hasil Analisis Sulfat Air Buangan AC	44
Gambar 4.12 Hasil Analisis Ammonia Air Buangan AC	45
Gambar 4.13 Hasil Analisis Zat Organik Air Buangan AC	46
Gambar 4.14 Hasil Analisis Total Bakteri <i>Coliform</i> Air Buangan AC	48
Gambar 4.15 (a) Lumut di Bagian Luar Ujung Pipa Saluran Air Buangan AC, dan (b) Pipa Saluran Air Buangan AC yang Tidak Terdapat Lumut.....	50
Gambar 4.16 Karbon Aktif (Granular)	56

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim menyebabkan suhu udara semakin meningkat dan udara semakin terasa panas. Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang memiliki suhu udara rata-rata sebesar $28,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relatif rata-rata sebesar 76%. Udara semakin terasa panas sering terjadi pada bulan Oktober yaitu dengan kisaran suhu $30,2^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban relatif sebesar 64% (Badan Pusat Statistik, 2014). Udara yang terasa panas dapat menyebabkan terganggunya aktifitas manusia terutama aktifitas yang berada di dalam ruangan. Manusia umumnya merasa lebih nyaman dalam melakukan berbagai aktifitas di dalam ruangan jika udara terasa sejuk. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendingin udara yang mampu menghasilkan udara dengan suhu ruangan yang diinginkan.

Air Conditioning (AC) merupakan mesin pendingin yang dirancang untuk mengubah udara panas di suatu tempat melalui siklus pendinginan sehingga menghasilkan udara dengan suhu dan kelembaban yang diinginkan. AC telah menjadi kebutuhan khusus dalam setiap bangunan komersial dan perumahan. Jumlah kebutuhan AC semakin meningkat baik dalam bidang industri, perkantoran, bahkan pada lingkup kecil seperti rumah tangga. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya merupakan salah satu institusi dengan jumlah penggunaan AC yang cukup banyak. ITS memiliki 5 Fakultas dengan 27 jurusan yang sebagian besar ruangnya terdapat AC yaitu ruang dosen, sekretariat, kelas, dan laboratorium. Pemilihan AC disesuaikan dengan bentuk dan kapasitas besarnya ruangan yang akan menggunakan pendingin ruangan tersebut. Jenis AC yang banyak digunakan di ITS adalah AC Split.

Penggunaan AC dalam jumlah banyak pasti memerlukan biaya yang besar. Biaya yang dibutuhkan adalah biaya pemakaian energi listrik dari sebuah bangunan atau fasilitas. Listrik yang digunakan untuk menyalakan AC di perumahan

sebesar 36,8% dan bangunan komersial sebesar 31,3% dari total listrik yang digunakan (Dongmei *et al.*, 2013). Peningkatan energi listrik berhubungan dengan suhu udara ambien saat AC dinyalakan. Setiap kenaikan suhu udara ambien sebesar 1°C terjadi peningkatan penggunaan energi listrik sebesar 12-20% untuk perumahan dan bangunan komersial sebesar 9,4-15% (Scott *et al.*, 2005 dalam Chua *et al.*, 2013). Pengaturan suhu AC juga mempengaruhi penggunaan energi listrik. Setiap peningkatan 1°C pada suhu AC dalam ruangan dapat menghemat energi listrik sebesar 6% (Zhuang *et al.*, 2014).

Kondensasi uap air di atmosfer terjadi ketika suhu udara mencapai suhu titik embun. Lekouch *et al.* (2010) menggunakan kondensor untuk mengembunkan udara ambien. Air embun yang dihasilkan memiliki pH 6,71, Cl⁻ 23,7 mg/L, SO₄²⁻ 3,88 mg/L, Na⁺ 13,18 mg/L, K⁺ 2,3 mg/L, dan NO³⁻ 0,71 mg/L. Penelitian yang dilakukan oleh Lekouch *et al.* (2011), air embun memiliki pH 7,4, Pb 0,005 mg/L, SO₄²⁻ 18,34 mg/L, Na⁺ 99,27 mg/L, K⁺ 9,5 mg/L, NO³⁻ 14,9 mg/L dan konduktivitas 730 μS/cm yang menunjukkan bahwa kandungan mineralnya rendah yaitu 560 mg/L.

Kondensasi udara pada sistem AC terjadi di dalam evaporator. Proses pengembunan uap air yang terkandung dalam udara terjadi ketika udara melewati koil pendingin yang terdapat di dalam evaporator. Penelitian yang dilakukan oleh Lesmana (2014) menunjukkan bahwa air buangan AC memiliki total zat padat terlarut (TDS) sebesar 14 mg/L, kesadahan total sebesar 20,82 mg/L, dan zat organik sebesar 2,52 mg/L. Penelitian yang dilakukan oleh Falah (2009), air buangan AC yang diambil dari pabrik CocaCola di Ungaran, Semarang memiliki TDS sebesar 39,1 ppm, Pb sebesar 0,03 ppm dan pH sebesar 5,8, sedangkan air buangan AC di studio foto Walet di Setiabudi, Semarang memiliki TDS sebesar 37,1 ppm, pH sebesar 5,2, dan tidak mengandung Pb.

Air buangan AC biasanya langsung dialirkan melalui pipa dan dibuang langsung dengan meneteskan ke lingkungan sekitar misalnya dibuang ke tanah atau drainase tanpa digunakan kembali. Air buangan AC seharusnya bisa dimanfaatkan kembali karena kuantitas air buangan yang dihasilkan cukup banyak. Diharapkan dari air buangan AC ini nantinya didapatkan nilai ekonomi dari pemanfaatannya. Oleh karena itu, perlu dilakukan

studi mengenai potensi air buangan AC untuk air minum dengan menganalisis kuantitas dan kualitas air buangan AC.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

- a. Berapa kuantitas air buangan AC yang dihasilkan per jam?
- b. Bagaimana kualitas air buangan AC ditinjau dari parameter fisika, kimia, dan mikrobiologis?
- c. Bagaimana analisis nilai ekonomi air buangan AC untuk air minum?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

- a. Menentukan kuantitas air buangan AC yang dihasilkan per jam.
- b. Menganalisis kualitas air buangan AC ditinjau dari parameter fisika, kimia, dan mikrobiologis.
- c. Menganalisis nilai ekonomi air buangan AC untuk air minum.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi:

- a. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan ITS untuk parameter fisika dan kimia, parameter mikrobiologis dilakukan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Padat dan B3 Jurusan Teknik Lingkungan ITS, sedangkan parameter timbal (Pb) dilakukan di LPPM ITS.
- b. Waktu penelitian yaitu bulan Maret-Mei.
- c. Variabel yang digunakan adalah merk AC yaitu LG, Daikin, dan Panasonic dengan variasi daya AC yaitu 1, 1,5, dan 2 PK.
- d. Parameter yang dianalisis meliputi warna, TDS, kekeruhan, besi, kesadahan, klorida, pH, sulfat, ammonia, timbal, zat organik, dan total bakteri *Coliform*.

- e. Baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan pertimbangan dalam hal pemanfaatan kembali air buangan AC sebagai air minum sehingga didapatkan nilai ekonomi dari pemanfaatannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Air Conditioner (AC)*

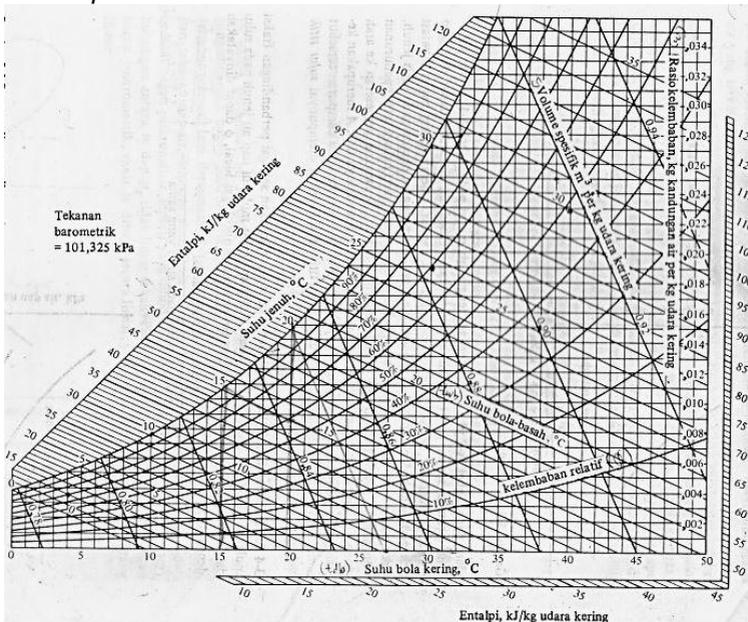
2.1.1 Dasar-Dasar Psikrometri

Psikrometri adalah kajian mengenai sifat-sifat campuran udara kering dengan uap air di dalam atmosfer. Udara kering mengandung 78,03% nitrogen, 20,99% oksigen, dan selebihnya karbondioksida, argon, dan lain-lain (Kulshrestha, 1989). Grafik psikrometri ditampilkan pada Gambar 2.1.

Beberapa istilah yang digunakan dalam psikrometrik menurut Arora (2000), antara lain:

- Kelembaban relatif (*relative humidity* atau RH) adalah perbandingan fraksi molekul uap air di dalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh pada suhu dan tekanan sama. Kelembaban relatif sama dengan tekanan parsial uap air dalam udara dibandingkan dengan tekanan jenuh uap air murni pada suhu yang sama. Kelembaban relatif dikatakan sebagai kemampuan udara untuk menerima kandungan uap air, sehingga semakin besar RH maka semakin kecil kemampuan udara untuk menyerap uap air.
- Suhu bola kering (*dry bulb temperature*) adalah suhu yang terbaca pada termometer dalam kondisi udara terbuka (suhu udara kering) yang ditunjukkan oleh termometer biasa.
- Suhu bola basah (*wet bulb temperature*) adalah suhu udara basah saat menghilangkan radiasi panas. Suhu bola basah didapatkan dari bola termometer dibalut dengan kapas atau kain yang dibasahi dengan air hasil penyulingan.
- Suhu titik embun (*dew point temperature*) adalah suhu uap air di dalam udara mulai mengembun ketika campuran udara dan uap air didinginkan. Menurut Kulshrestha (1989), jika udara jenuh dengan uap air didinginkan maka tekanan uap air akan turun sehingga kemampuan untuk menyerap kandungan uap air akan berkurang. Akibatnya uap air akan mengembun dan membentuk tetesan air. Pada saat saturasi

kondisi *dew point temperature* sama dengan *dry bulb temperature*.



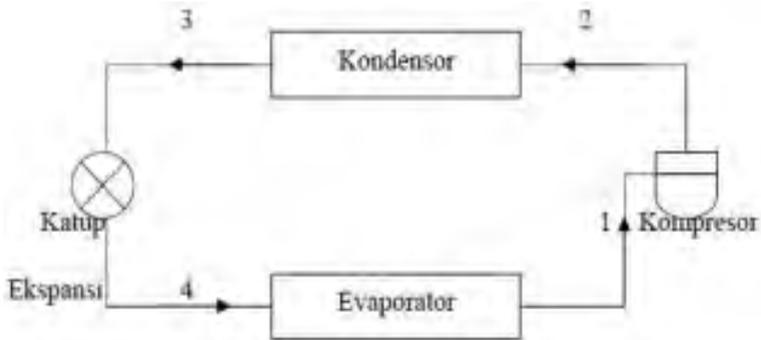
Gambar 2.1 Grafik Psikrometri
(Stoecker dan Jones, 1989)

2.1.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Air conditioner (AC) adalah suatu sistem yang dirancang untuk mengubah udara panas di suatu daerah melalui siklus pendinginan sehingga menghasilkan kesejukan dengan suhu dan kelembaban yang sesuai. Salah satu fungsi utama sistem pengkondisian udara atau AC adalah menurunkan suhu udara yang secara bersamaan menurunkan kelembaban relatif.

Pada dasarnya, prinsip kerja sistem AC menggunakan refrigerasi. Refrigerasi adalah suatu proses penarikan kalor dari suatu benda atau ruangan sekitar sehingga suhu benda atau ruangan tersebut menjadi lebih rendah dari suhu lingkungannya. Kalor diserap di evaporator dan dibuang ke kondensor. Jenis

sistem refrigerasi yang banyak digunakan adalah refrigerasi dengan sistem kompresi uap (Gambar 2.2). Komponen utama dari sistem kompresi uap adalah kompresor, kondensor, evaporator, dan katup ekspansi.



Gambar 2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap
(Stoecker dan Jones, 1989)

Menurut Stoecker dan Jones (1989), proses-proses yang terjadi pada siklus kompresi uap pada Gambar 2.2 adalah sebagai berikut.

1. Proses kompresi (1-2)
Proses ini terjadi di dalam kompresor dengan refrigeran berfase uap jenuh dengan suhu dan tekanan rendah dikompresi sehingga suhu dan tekanan menjadi tinggi.
2. Proses kondensasi (2-3)
Proses ini terjadi di dalam kondensor. Refrigeran yang memiliki suhu dan tekanan tinggi akan mengalami pertukaran kalor antara refrigeran dengan lingkungan sekitar. Panas refrigeran berpindah ke udara pendingin sehingga terjadi perubahan fase menjadi cair akibat dari pengembunan uap refrigeran.
3. Proses ekspansi (3-4)
Pada proses ekspansi terjadi proses penurunan tekanan yang terjadi pada katup ekspansi yang berbentuk pipa kapiler atau orifice. Pipa kapiler berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigeran dan menurunkan tekanan.
4. Proses evaporasi (4-1)

Proses ini berlangsung secara isobar isothermal (tekanan dan suhu konstan) yang terjadi di dalam evaporator. Panas dari lingkungan diserap oleh refrigeran cair bertekanan rendah dalam evaporator sehingga terjadi perubahan fase menjadi uap bertekanan rendah. Refrigeran mendidih di dalam pipa dan mendinginkan fluida yang lewat di luar pipa tersebut. Evaporator yang mendidihkan refrigeran di dalam pipa biasa disebut evaporator ekspansi langsung. Refrigeran kembali masuk ke dalam kompresor dan bersirkulasi lagi sampai kondisi yang diinginkan tercapai.

2.1.3 Evaporator dan Air Buangan AC

Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor dan menguapkan refrigeran dalam sistem sebelum dikompresi di dalam kompresor. Evaporator terdapat pada unit *indoor*, sedangkan kompresor berada pada unit *outdoor* AC. Refrigeran adalah fluida pendingin atau media penukar panas yang digunakan untuk menyerap dan melepaskan kalor udara pada sistem AC. Refrigeran yang digunakan pada AC adalah golongan chlorofluorocarbon (CFC), namun penggunaannya sekarang sudah dilarang karena berpotensi untuk merusak lapisan ozon. Refrigeran yang paling ramah lingkungan dan memiliki angka *ozon depleting potential* (ODP) sama dengan 0 adalah golongan hidrokarbon (Asmawi dan Shofyan, 2011) seperti propane (R-290), isobutana (R-600a), dan n-butana (R-600). Namun, penggunaan jenis refrigeran yang masih beredar di pasaran saat ini adalah R-22 dan R-340. Refrigeran dapat berubah fase dari gas menjadi cair atau cair menjadi gas. Refrigeran yang terdapat di dalam evaporator terdapat dalam fase uap. Hal ini terjadi karena di dalam evaporator, refrigeran cair menyerap kalor udara dari dalam ruangan sehingga refrigeran mendidih dan berubah fase menjadi uap. Udara di dalam ruangan diserap evaporator dan diturunkan suhu udaranya sehingga menghasilkan udara dengan suhu yang

lebih rendah (Stoecker dan Jones, 1989). Gambar evaporator ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Evaporator AC
(Asmawi dan Shofyan, 2011)

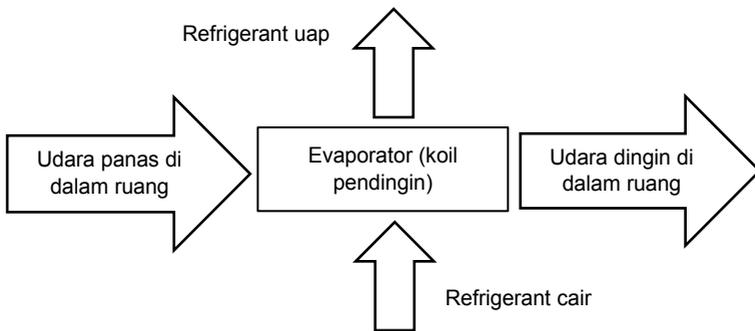
Pada sistem AC konvensional, udara didinginkan menggunakan koil pendingin hingga mencapai suhu yang diinginkan. Menurut ASHRAE (2009) dalam Kurniawan (2012), penurunan suhu udara melalui koil pendingin hingga mencapai suhu titik embun sehingga terjadi pengembunan dan penurunan kandungan kelembaban pada udara dengan adanya *reheating*. *Reheating* adalah pemanasan kembali udara yang telah mencapai suhu titik embun untuk menjaga agar suhu tetap sekaligus menaikkan kelembaban relatif.

Menurut Stoecker dan Jones (1989), air buangan AC dihasilkan dari proses dasar yang terjadi pada udara ketika mengalami pendinginan dan penurunan kelembaban. Pendinginan dan penurunan kelembaban dapat menurunkan suhu udara dalam ruangan dan rasio kelembaban yang terjadi pada koil pendingin atau alat penurun kelembaban di evaporator. Pada AC jenis split, koil pendingin diatur agar suhu lebih rendah dari suhu titik embun sehingga refrigeran yang dingin dapat melewati koil pendingin.

Menurut Asmawi dan Shofyan (2011), ketika udara melewati koil pendingin, suhu udara berkurang dan udara mengalami pengembunan karena udara didinginkan di bawah suhu titik embun. Udara akan diubah menjadi partikel embun dan kandungan uap air berkurang pada saat mencapai suhu titik embun, sehingga tingkat kelembaban relatif berkurang dan menghasilkan tetesan air buangan AC.

Menurut Al-Farayedhi *et al.* (2014), udara di dalam ruangan diserap oleh evaporator. Kondensasi udara di dalam evaporator terjadi pada permukaan koil pendingin. Ketika suhu permukaan koil pendingin lebih rendah dibandingkan dengan suhu titik embun udara masuk, maka udara akan terkondensasi sehingga suhu dan kelembaban udara akan menurun dan menghasilkan uap air yang mengalir menuju saluran pipa.

Berdasarkan penjelasan tersebut, maka disimpulkan proses yang terjadi di dalam evaporator disajikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Proses Pendinginan Udara di dalam Evaporator (Stoecker dan Jones, 1989; Asmawi dan Shofyan, 2011; Al-Farayedhi *et al.*, 2014)

2.2 Kualitas Udara dalam Ruangan

Kualitas udara dalam ruangan sangat mempengaruhi kesehatan manusia karena 90% manusia beraktifitas di dalam ruangan (Wulandari, 2013). Polutan di dalam ruangan terbagi menjadi tiga (Knoppel dan Wolkoff, 1992), yaitu gas dan uap, bahan-bahan partikulat dan asap rokok, serta kontaminasi biologi di udara. Sumber polutan organik di dalam ruangan dapat berasal dari bangunan, aktifitas manusia, dan sumber polutan dari luar ruangan (Levin, 1989 dan Wallace, 1987 dalam Knoppel dan Wolkoff, 1992). Menurut *National Institute of Occupational Safety*

and Health (NIOSH) dalam Wulandari (2013), kualitas udara di dalam ruangan disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

- a. Ventilasi udara yang kurang baik (52%)
- b. Kontaminan dari dalam ruangan (16%)
- c. Kontaminan dari luar ruangan (10%)
- d. Kontaminan biologi (5%)
- e. Kontaminan dari bahan material bangunan (4%)
- f. Kontaminan lainnya (13%)

Menurut Aditama (1992), sumber-sumber pencemar di dalam ruangan yaitu:

- a. Pencemaran dari dalam gedung seperti asap rokok, penggunaan insektisida, penggunaan aerosol seperti pengharum ruangan, serta bahan-bahan pembersih ruangan.
- b. Pencemaran dari luar gedung seperti masuknya polutan ambien, gas buangan kendaraan bermotor, gas dari aktivitas dapur yang terletak di dekat gedung, yang diakibatkan karena frekuensi keluar masuk ruangan yang tinggi serta penempatan lokasi lubang udara yang tidak tepat.
- c. Pencemaran dari bahan bangunan seperti pencemaran formaldehid, lem, asbes, dan bahan-bahan lain yang merupakan komponen pembentuk gedung tersebut.
- d. Pencemaran akibat mikroba berupa bakteri, jamur, protozoa, dan mikroba lainnya yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin beserta seluruh sistemnya.
- e. Gangguan ventilasi udara karena kurangnya udara segar yang masuk, sirkulasi udara yang buruk dan kurangnya perawatan sistem ventilasi udara.

Polutan yang dihasilkan dari material dalam ruangan misalnya *volatile organic compounds* (VOCs). Menurut Knoppel dan Wolkoff (1995) dalam Jarnstrom (2008), beberapa material bangunan dan jenis VOCs yang dihasilkan antara lain:

- a. Produk kayu dapat menghasilkan senyawa aldehid.
- b. Karpet dari karet dapat menghasilkan senyawa alkil aromatik, acetophenon, dan styrena.
- c. Bahan perekat menghasilkan senyawa alkana, toluen, dan styrena.

- d. Cat menghasilkan senyawa alkana, glikol, glikolester, dan texanol.
- e. Partikel papan kayu menghasilkan senyawa alkana, aldehid, keton, butanol, dan formaldehid.

Beberapa jenis kontaminan yang terdapat di dalam ruangan yaitu:

- a. Karbon dioksida (CO₂)

Konsentrasi CO₂ di dalam ruangan harus <1.000 ppm. Kadar CO₂ yang melebihi batas tersebut mengindikasikan bahwa jumlah udara segar yang dialirkan melalui sistem ventilasi tidak mencukupi. Penelitian yang dilakukan oleh McGill *et al.* (2015) menunjukkan bahwa konsentrasi CO₂ di dalam ruangan tertutup lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi CO₂ di ruangan terbuka. Konsentrasi CO₂ di dalam ruangan tertutup mampu mencapai 2558 ppm.

- b. VOCs dan formaldehid

Kandungan VOCs di dalam ruangan dihasilkan dari emisi material bangunan (Knoppel dan Wolkoff, 1992). Total VOCs yang dihasilkan dari produk lantai keramik yang dilapisi *gypsum* sebesar 534 µg/m³, sedangkan perabotan kayu menghasilkan emisi total sebesar <200 µg/m³ (Senitkova *et al.*, 2014). VOCs di dalam ruangan terdapat dalam beberapa senyawa, misalnya styrena, toluena, aldehid, dan formaldehid. Formaldehid di dalam ruangan biasanya dihasilkan dari bahan-bahan bangunan di dalam ruangan, seperti *polywood*, karpet, dan perabotan rumah tangga. Menurut McGill *et al.* (2015), konsentrasi formaldehid di dalam ruangan sebesar 0,03 ppm (di ruangan terbuka) dan 0,07 ppm (di ruangan tertutup). Menurut Jarnstrom (2008), konsentrasi formaldehid total di dalam ruangan mencapai 30 µg/m³ dengan laju emisi formaldehid dari produk kayu sebesar 5-10 µg/m².hari, sedangkan dari lapisan cat dinding sebesar 5-8 µg/m².hari.

- c. Ozon (O₃)

Menurut Arjani (2011), ozon di dalam ruangan dihasilkan dari peralatan yang menggunakan sinar ultraviolet (UV). Peralatan kerja yang dapat mengeluarkan ozon antara lain printer laser, lampu UV, dan mesin *photocopy*.

- d. Mikrobiologi

Menurut Wulandari (2013), mikrobiologi yang berasal di dalam ruangan misalnya bakteri dan jamur. Mikrobiologi yang tersebar di dalam ruangan dikenal dengan istilah bioaerosol. Bioaerosol di dalam ruangan dapat berasal dari dalam ruangan atau dari luar ruangan. Bakteri udara yang terdapat di dalam ruangan ber-AC antara lain *Aspergillus fumigatus*, *Scopulariopsis candida*, *Fusarium verticilloides*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Staphylococcus capitis*, dan *Bacillus subtilis* (Fitria, 2008).

2.3 Definisi Air Minum

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Kualitas air minum biasanya ditunjukkan oleh kandungan berbagai komponen yang terkandung dalam air. Air minum yang akan dikonsumsi harus sesuai dengan persyaratan kualitas air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010. Air minum aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, kimiawi, dan mikrobiologi yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan.

2.3.1 Persyaratan Fisika

Parameter wajib yang harus dipenuhi sebagai persyaratan fisika menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 antara lain:

1. Warna

Warna di dalam air biasanya disebabkan oleh adanya senyawa-senyawa organik yang mudah larut dan beberapa ion logam seperti besi dan mangan. Warna pada air dibedakan menjadi dua yaitu warna sejati (*true color*) dan warna semu (*apparent color*). Warna sejati adalah warna air yang sebenarnya tanpa adanya kekeruhan, sedangkan warna semu adalah warna yang ditimbulkan oleh senyawa-senyawa organik atau adanya bahan tersuspensi (Sawyer *et al.*, 2003). Kadar maksimum warna yang diperbolehkan untuk air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 15 TCU.

2. Total Zat Padat Terlarut (TDS)

Total zat padat terlarut adalah konsentrasi mineral terlarut dalam air umumnya terdiri dari karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, magnesium, natrium, kalsium, kalium, dan dalam jumlah kecil merupakan unsur besi, mangan serta unsur lainnya (Sawyer *et al.*, 2003). Kadar maksimum TDS yang diperbolehkan untuk air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 500 mg/L.

3. Kekeruhan

Kekeruhan adalah karakteristik fisik utama yang ada dalam air. Analisa kekeruhan yang biasa dilakukan menggunakan metode nefelometrik. Metode nefelometrik adalah metode yang membandingkan intensitas cahaya dari larutan standar dengan intensitas cahaya yang dihamburkan dari sampel air (Alaert dan Sumestri, 1978 dalam Primadani 2011). Kekeruhan disebabkan oleh materi tersuspensi mencakup tanah liat, lumpur, kotoran halus yang berasal dari bahan anorganik dan bahan organik, senyawa berwarna organik terlarut, dan plankton serta organisme mikroskopis lainnya (Sawyer *et al.*, 2003). Kadar maksimum kekeruhan yang diperbolehkan untuk air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 5 NTU.

2.3.2 Persyaratan Kimia

Parameter wajib yang harus dipenuhi sebagai persyaratan kimia menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 terbagi menjadi dua yaitu parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan (arsen, fluorida, total kromium, kadmium, nitrit, nitrat, sianida, selenium) dan parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan (aluminium, besi, kesadahan, klorida, mangan, pH, seng, sulfat, tembaga, ammonia). Di bawah ini adalah beberapa penjelasan mengenai parameter wajib sebagai persyaratan kimia, diantaranya:

1. Besi

Besi adalah salah satu elemen kimiawi yang dapat ditemui pada setiap lapisan geologi. Umumnya, besi dalam air bersifat terlarut sebagai Fe^{2+} atau Fe^{3+} , tersuspensi sebagai koloid seperti Fe_2O_3 , FeO , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan bergabung dengan zat organik atau zat inorganik seperti tanah liat. Selain itu,

besi juga terlarut dalam bentuk ferri-oksida, besi sulfida, dan sedikit terlarut dalam bentuk FeCO_3 (Sawyer *et al.*, 2003). Besi sangat berguna untuk metabolisme tubuh. Kadar Fe dalam tubuh manusia sekitar 3-5 gram, 2/3 bagiannya terikat oleh Hb. Hb mengandung besi (Fe) sebesar 3,4 g/kg sebagai pengangkut oksigen dari paru-paru menuju sel di seluruh tubuh (Sutrisno, 2004 dalam Andhasari, 2011). Oksidasi besi (Fe^{2+}) dapat dilakukan untuk mengubahnya dari bentuk terlarut menjadi bentuk koloid seperti $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang kemudian dilakukan filtrasi (Salem *et al.*, 2012). Kadar maksimum besi yang diperbolehkan untuk air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 0,3 mg/L.

2. Kesadahan

Kesadahan air umumnya disebabkan adanya ion-ion bermuatan dua seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , dan Sr^{2+} serta ion alkalinitas (Sawyer *et al.*, 2003). Kesadahan total umumnya diakibatkan karena adanya konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion magnesium (Mg^{2+}) yang mengakibatkan terbentuknya kerak pada dinding pipa yang disebabkan oleh adanya endapan CaCO_3 (Droste, 1997). Kadar maksimum kesadahan total yang diperbolehkan menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah sebesar 500 mg/L.

3. Klorida

Klorida dalam air terdapat dalam konsentrasi yang bervariasi. Jumlah klorida biasanya meningkat bersamaan dengan meningkatnya kandungan mineral dalam air. Jumlah rata-rata klorida setiap orang per hari adalah 6 gram/orang/hari. Menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010, konsentrasi klorida yang diperbolehkan tidak lebih dari 250 mg/L karena konsentrasi klorida lebih dari 250 mg/L menyebabkan air terasa asin (Sawyer *et al.*, 2003).

4. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman menunjukkan besarnya ion hidrogen atau alkalinitas dari suatu cairan. Apabila ion hidrogen bertambah maka larutan akan bersifat asam, sedangkan jika ion hidrogen berkurang maka larutan akan bersifat basa. pH

memiliki range antara 0 sampai 14 dimana pH 7 pada suhu 25 °C menunjukkan pH netral (Sawyer *et al.*, 2003).

5. Sulfat

Sulfat adalah salah satu ion utama yang terdapat dalam air secara alami. Sulfat dapat dihasilkan dari oksida senyawa sulfida oleh bakteri. Keberadaan sulfat menjadi penting karena secara tidak langsung menyebabkan permasalahan yang sering dihadapi yaitu bau dan korosi. Hal ini dapat terjadi karena sulfat tereduksi menjadi hidrogen sulfida (H_2S) dalam kondisi anaerobik (Sawyer *et al.*, 2003). Kadar maksimum sulfat yang diperbolehkan untuk air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 250 mg/L.

6. Ammonia

Ammonia bersifat mudah larut dalam air. Ion ammonium adalah bentuk transisi dari ammonia. Ammonia dalam air terdapat dalam bentuk ionik (NH_4^+) dan non ionik ($NH_{3(aq)}$). Sumber ammonia dalam air adalah pemecahan nitrogen organik dan nitrogen anorganik yang terdapat dalam tanah dan air yang berasal dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba jamur yang dikenal dengan istilah amonifikasi. Ammonia bebas tidak dapat terionisasi, sedangkan ammonium (NH_4^+) dapat terionisasi. Persentase ammonia bebas meningkat dengan meningkatnya pH dan suhu air. Pada pH 7 atau kurang sebagian besar ammonia akan mengalami ionisasi. Sebaliknya pada pH lebih besar dari 7 ammonia tidak mengalami ionisasi sehingga bersifat toksik dalam jumlah yang lebih banyak (Effendi, 2003).

Penurunan kadar ammonia dalam air lebih efektif dengan menggunakan pertukaran ion misalnya dengan menggunakan zeolit alami. Zeolit alami memiliki afinitas atau kecenderungan untuk mengikat senyawa atau unsur lainnya seperti kation (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+}) sehingga dapat digunakan untuk memisahkan ion NH_4^+ dalam air (Gendel *et al.*, 2013). Kadar maksimum ammonia yang diperbolehkan untuk air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 1,5 mg/L.

7. Zat organik

Keberadaan zat organik dalam air secara berlebihan dapat terurai menjadi zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan. Senyawa organik dalam air didapatkan dari tiga sumber yaitu penguraian bahan organik secara alami di dalam air, kegiatan domestik dan komersial, serta reaksi yang terjadi antara unit pengolahan dan transmisi pengolahan air. Salah satu sumber utama keberadaan zat organik adalah adanya bahan-bahan humic dari tanaman dan alga, metabolisme mikroorganisme, serta senyawa alifatik dengan berat molekul tinggi dan hidrokarbon aromatik (Letterman, 1999). Kadar maksimum zat organik yang diperbolehkan untuk air minum menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 10 mg/L.

8. Timbal (Pb)

Timbal (Pb) dalam air secara alamiah masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan (Effendi, 2003). Dalam air minum juga dapat ditemukan senyawa Pb bila air tersebut disimpan atau dialirkan melalui pipa yang merupakan campuran dari logam Pb. Kelarutan Pb dalam air cukup rendah sehingga kadar Pb dalam air relatif sedikit. Kadar Pb dalam air minum yang diperbolehkan menurut PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 adalah 0,01 mg/L.

2.3.3 Persyaratan Mikrobiologi

Persyaratan kualitas air minum secara mikrobiologi dilihat berdasarkan parameter *E. coli* dan total *Coliform*. *Coliform* merupakan bakteri yang berbentuk batang, gram negatif, tidak membentuk spora, aerobik dan anaerobik fakultatif yang memfermentasi laktosa dengan menghasilkan asam dan gas dalam kurun waktu 48 jam pada suhu 35 °C. Bakteri *Coliform* dibedakan menjadi dua yaitu *Coliform fecal* misalnya *Escherichia coli* dan *Salmonella sp.* serta *Coliform nonfecal* misalnya *Enterobacter aerogenes* dan *Citrobacter feundii* (Fardiaz, 1993).

Air yang mengandung golongan *Coli* dianggap telah terkontaminasi dengan kotoran manusia sehingga dalam air minum yang dianalisis langsung adalah indikator bakteri golongan *Coli* atau total *Coliform* (Volk dan Wheeler, 1988). *Coliform* dapat

dihilangkan dengan proses desinfeksi menggunakan ozon atau UV namun penggunaan ozon terkadang kurang efektif karena *Coliform* lebih resisten atau tahan terhadap ozon daripada virus (Farooq, 1976 dalam Letterman, 1999).

2.4 Adsorpsi

Menurut Reynolds dan Richards (1996), adsorpsi adalah pengumpulan suatu ion atau senyawa pada permukaan adsorben yang berbentuk padatan. Adsorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik terjadi karena adanya gaya van der Waals dan terjadi secara bolak-balik. Pada adsorpsi kimia terjadi reaksi kimia antara padatan adsorben dan larutan adsorbat. Contoh adsorpsi fisik adalah karbon aktif. Karbon aktif terbuat dari banyak jenis, misalnya batubara, serbuk gergaji, biji buah, kayu, batok kelapa dan residu minyak tanah.

Karbon aktif dibentuk melalui 2 tahapan, yaitu karbonisasi padatan dan aktivasi dengan menggunakan uap panas. Laju adsorpsi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Freundlich sebagai berikut.

a. Laju adsorpsi

$$\frac{x}{m} = X = K C e^{1/n} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana : x = massa adsorbat
 m = massa adsorben
 X = rasio massa adsorbat dan adsorben
 Ce = konsentrasi adsorbat (massa/volume)
 k, n = konstanta

b. Kapasitas adsorpsi

$$GAC_{UR} = \frac{C_0 - C_e}{K C e^{1/n}} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana : GAC_{UR} = massa karbon aktif terpakai (g/L)
 C_0 = konsentrasi adsorbat awal (mg/L)

c. Massa karbon

$$M_{GAC} = EBCT X Q X \rho_{GAC} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dimana : M_{GAC} = massa karbon aktif (g)

- EBCT = waktu kontak karbon aktif (detik)
- Q = debit aliran (l/detik)
- ρ_{GAC} = berat jenis GAC (g/L)

d. Volume air yang terolah

$$V = \frac{M_{GAC}}{GAC_{UR}} \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana : V = volume air terolah (l)

e. Umur karbon aktif = $\frac{V}{Q}$ (2-5)

Mekanisme proses adsorpsi menurut Reynolds dan Richards (1996) yaitu:

- a. Penyerapan zat-zat di dalam adsorbet (*solute*) ke permukaan luar adsorben yang disebut dengan fase difusi film atau difusi eksternal.
- b. Penyerapan *solute* dari permukaan adsorben ke bagian yang lebih dalam yaitu bagian pori-pori adsorben yang disebut difusi pori.
- c. Penyerapan *solute* pada permukaan permukaan partikel adsorben.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi menurut Benefield (1982) antara lain:

- a. Karakteristik adsorben
Karakteristik adsorben meliputi ukuran partikel dan luas permukaan adsorben. Semakin kecil ukuran partikel maka tingkat adsorpsi suatu adsorben semakin meningkat, sedangkan kapasitas adsorpsi disesuaikan dengan luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan adsorben maka tingkat adsorpsi akan meningkat.
- b. pH
pH rendah mengindikasikan adanya jumlah ion H⁺ yang cukup banyak sehingga akan menetralisasi permukaan adsorben yang bermuatan negatif sehingga difusi organik akan terjadi. Pada pH tinggi, ion OH⁻ akan bertambah sehingga proses difusi bahan organik akan terhalang karena permukaan adsorben bermuatan negatif.
- c. Waktu kontak

Waktu kontak antara molekul adsorbat dan adsorben mempengaruhi tingkat adsorpsi. Adsorpsi akan berlangsung pada waktu optimum. Jika melebihi waktu optimum, adsorben akan mengalami saturasi sehingga proses adsorpsi akan menurun.

2.5 Kuesioner

Kuesioner digunakan untuk mengumpulkan data atau informasi dari suatu populasi yang diambil dari suatu sampel yang mewakili. Secara garis besar, cara pengambilan sampel dapat dilakukan secara acak (*random* atau *probability sampling*) dan bukan acak (*nonrandom* atau *nonprobability sampling*). Sampel secara acak (probabilitas sampel) terdiri dari beberapa jenis, seperti *simple random sample*, *systematic sample*, *stratified sample*, dan *cluster sample*.

Stratified sample adalah teknik pengambilan sampel dengan anggota sampel yang diambil dari setiap strata untuk menghasilkan sampel secara keseluruhan. Hasil sampel dari setiap strata diberi pembobotan dan dihitung dengan hasil sampel strata lainnya untuk mendapatkan hasil yang menyeluruh (Harinaldi, 2005). Penentuan jumlah sampel ditentukan berdasarkan rumus Slovin, yaitu:

$$n = \frac{N}{(N \times d^2) + 1} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana : n = jumlah sampel
 N = populasi
 d = tingkat kepercayaan

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai kualitas air hasil pengembunan yang telah dilakukan dirangkum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama	Kajian
1	Lesmana (2014)	Air buangan AC memiliki TDS 14 mg/L, kekeruhan 0,33 NTU, kesadahan total 20,82 mgCaCO ₃ /L, dan zat organik 2,53 mgKMNO ₄ /L. Air buangan AC memiliki nilai

jual yang ditentukan dengan Metode WTP (*Willingness to Pay* atau tawar menawar) sebesar Rp 2,36 per liter.

Tabel 2.1 Lanjutan

No.	Nama	Kajian
2	Lekouch <i>et al.</i> (2011)	Uap air di dalam atmosfer dikondensasi menggunakan 4 unit kondensor yang diletakkan di atas gedung. Kondensor yang digunakan berukuran 1 x 1 m dengan kemiringan 30° terbuat dari TiO ₂ dan BaSO ₄ . Air embun yang dihasilkan memiliki konduktivitas 730 μS/cm yang menunjukkan bahwa kandungan mineralnya rendah yaitu 560 mg/L, pH 7,4, Pb 0,005 mg/L, SO ₄ ²⁻ 18,34 mg/L, Na ⁺ 99,27 mg/L, K ⁺ 9,5 mg/L, dan NO ₃ ⁻ 14,9 mg/L.
3	Lekouch <i>et al.</i> (2010)	Pengumpulan embun dari udara ambien dengan menggunakan 1 unit kondensor ukuran 1 x 1 m dengan kemiringan 30° yang terbuat dari TiO ₂ dan BaSO ₄ . Embun dikumpulkan pada botol polyetilen secara gravitasi. Air embun yang dihasilkan memiliki pH sebesar 6,71, Cl ⁻ 23,7 mg/L, SO ₄ ²⁻ 3,88 mg/L, Na ⁺ 13,18 mg/L, K ⁺ 2,3 mg/L, dan NO ₃ ⁻ 0,71 mg/L.
4	Falah (2009)	Air buangan AC di pabrik Coca Cola Ungaran memiliki TDS sebesar 39,1 ppm, pH 5,8, serta kandungan Pb sebesar 0,03 ppm, sedangkan air buangan AC di studio foto Walet di Setiabudi memiliki TDS sebesar 37,1 ppm dan pH 5,2. Air buangan AC diolah menjadi air demineralisasi dengan menggunakan resin.

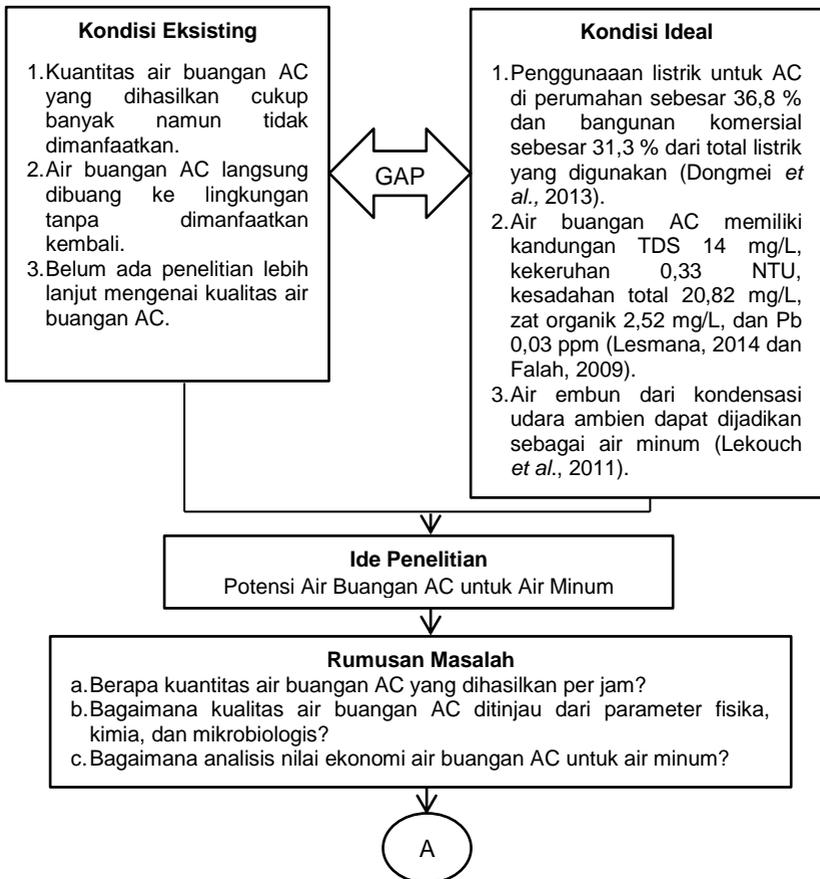
“halaman ini sengaja dikosongkan”

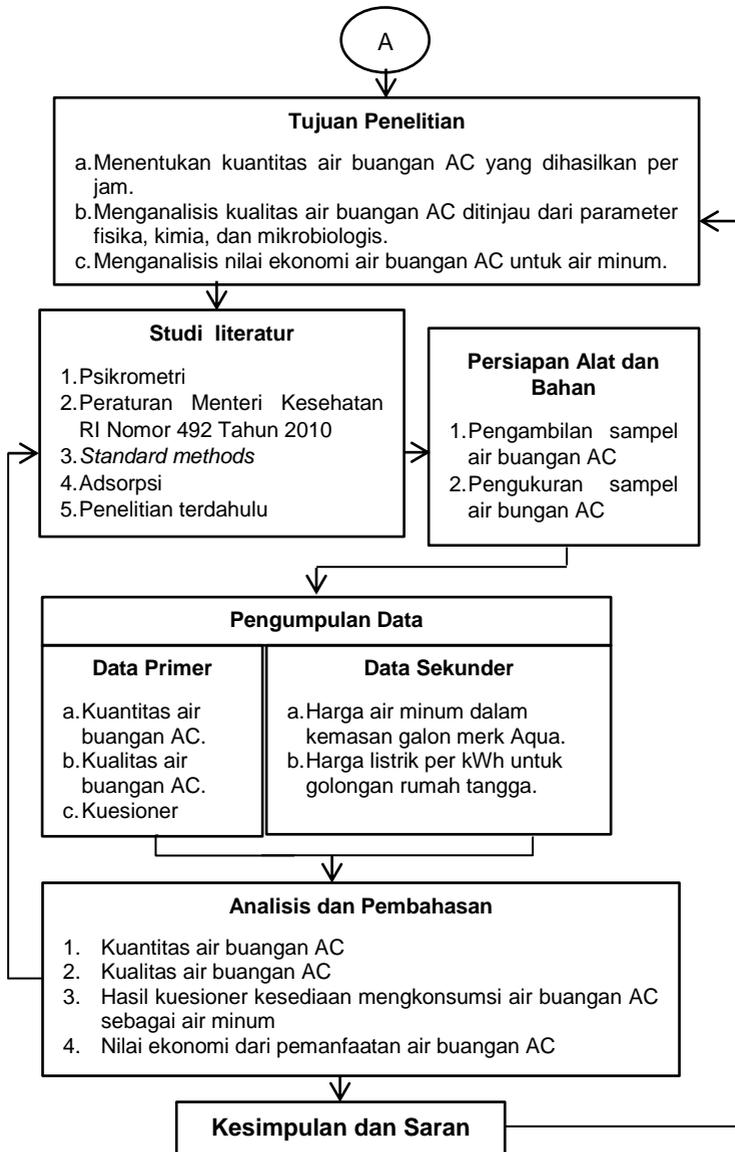
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian pada metode penelitian berisi mengenai tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada tugas akhir sehingga pelaksanaan penelitian dapat dilakukan dengan lebih sistematis. Kerangka penelitian dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian berisi tentang langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian. Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder, analisis dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian didapatkan dari banyaknya air buangan yang dihasilkan oleh *air conditioner* (AC) serta belum diketahui kualitas air buangannya. Penelitian yang akan dilakukan adalah air buangan AC yang akan dianalisis kandungannya dan dibandingkan dengan PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 untuk dapat menentukan potensi air buangan AC sebagai air minum dan nilai ekonomi yang didapatkan dari pemanfaatannya.

3.2.2 Studi literatur

Studi literatur digunakan sebagai dasar teori yang jelas untuk penelitian serta dalam pelaksanaan analisis dan pembahasan sehingga pada akhirnya diperoleh suatu kesimpulan dari hasil penelitian. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi buku-buku teks, peraturan perundangan yang berlaku di Indonesia, jurnal nasional maupun internasional, tugas akhir atau penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian. literatur yang digunakan antara lain :

1. Psikrometri

Literatur mengenai psikrometri digunakan untuk menentukan kelembaban relatif dan suhu titik embun yang diukur dari suhu bola basah dan suhu bola kering.

2. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010

Literatur mengenai parameter fisika, kimia, dan mikrobiologis pada PERMENKES RI No. 492 Tahun 2010 digunakan untuk membandingkan kualitas air buangan AC dengan baku mutu persyaratan kualitas air minum.

3. *Standard methods*

Standard methods digunakan sebagai panduan dalam melakukan analisis parameter fisika, kimia, dan mikrobiologi sampel air buangan AC.

4. Adsorpsi

Literatur adsorpsi digunakan untuk menentukan kemampuan adsorpsi dan perhitungan kebutuhan massa adsorben.

5. Penelitian terdahulu

Penelitian terdahulu meliputi penelitian yang berhubungan dengan proses kondensasi uap air.

3.2.3 Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang perlu disiapkan antara lain:

1. Ember 30 liter digunakan untuk menampung air buangan AC.
2. Botol PE 600 ml digunakan untuk pengambilan sampel analisis parameter fisika dan kimia kualitas air buangan AC.
3. Botol kaca 140 mL digunakan untuk pengambilan sampel analisis parameter timbal dan mikrobiologi air buangan AC.
4. Alat hygrothermo-anemometer digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif di dalam ruangan.
5. Spektrofotometer UV-Vis untuk analisis parameter warna, besi, sulfat, dan ammonia.
6. Turbidimeter untuk analisis kekeruhan.
7. pH ion lab untuk pengukuran TDS.
8. pH meter untuk pengukuran pH.
9. Peralatan dan reagen yang perlu disiapkan disesuaikan dengan parameter yang akan dianalisis.

3.2.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data yang dapat menunjang analisis dan pembahasan dalam penelitian. Data yang dibutuhkan dalam penelitian diperoleh dari data primer dan data sekunder. Sampel air buangan AC diperoleh dari AC yang ada di kawasan kampus ITS Surabaya dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Sampel yang dianalisis

adalah air buangan AC dengan tiga variasi merk AC (Daikin, LG, Panasonic) dan tiga variasi daya AC (1, 1 ½, 2 PK).

Air buangan AC ditampung dari AC yang dinyalakan pada suhu ruang 18°C. Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali pengulangan untuk setiap sampel. Sehingga total pengukuran yang dilakukan sebanyak 18 kali pengulangan. Variasi sampel penelitian ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Sampel Penelitian

Merk	Daya (PK)		
	1	1,5	2
Daikin	Da 1	Da 1,5	Da 2
LG	Lg 1	Lg 1,5	Lg 2
Panasonic	Pa 1	Pa 1,5	Pa 2

1. Data primer

a. Kuantitas Air Buangan AC

Data kuantitas air buangan AC didapatkan dengan melakukan pengumpulan air buangan AC selama 8 jam serta melakukan pengukuran kelembaban relatif dan suhu udara di dalam ruangan. Pengukuran kelembaban relatif dan suhu udara dilakukan pada jam ke-0, ke-4, dan ke-8. Peralatan yang digunakan adalah ember plastik kapasitas 30 liter dan alat hygrothermo-anemometer.

b. Kualitas Air Buangan AC

Analisis kualitas air buangan AC dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya. Parameter dan metode analisis yang digunakan disajikan pada Tabel 3.2. Prosedur analisis parameter dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 3.2 Metode Analisis Parameter Kualitas Air

No.	Parameter	Metode
A	Fisika	
1	Warna	Spektrofotometri
2	TDS	Gravimetri
3	Kekeruhan	Nephelometrik
B	Kimia	
1	Besi	Phenanthrolin

Tabel 3.2 Lanjutan

No.	Parameter	Metode
2	Kesadahan	Titrimetri
3	Khlorida	Argentometri
4	pH	pH meter
5	Sulfat	Spektrofotometri
6	Ammonia	Spektrofotometri
7	Zat organik (KMnO ₄)	Titrimetri
8	Timbal (Pb)	AAS
C	Mikrobiologi	
1	Total bakteri <i>Coliform</i>	<i>Most probable number</i>

c. Kuesioner

Kuesioner digunakan untuk mengetahui apakah responden bersedia untuk mengkonsumsi air buangan AC jika air buangan AC dapat dijadikan sebagai air minum. Responden terdiri dari dosen, karyawan, dan mahasiswa di ITS Surabaya. Teknik pengambilan sampel kuesioner yang digunakan adalah *disproportionate stratified random sampling*. Jumlah sampel yang diperlukan ditentukan berdasarkan rumus Slovin (2-6). Jumlah sampel dapat dihitung sesuai dengan jumlah populasi mahasiswa, dosen, dan karyawan di ITS Surabaya yang disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jumlah Mahasiswa, Dosen, dan Karyawan di ITS Surabaya

Tahun	Mahasiswa ^(a)	Dosen ^(b)	Karyawan ^(b)
2011	17702	934	703
2012	18828	908	677
2013	20489	914	608
2014	21358	900	652

Sumber : ^(a) BAAK ITS Surabaya, 2015

^(b) BAUK ITS Surabaya, 2015

Jumlah populasi yang digunakan pada penelitian adalah jumlah mahasiswa, dosen, dan karyawan tahun 2014. Maka jumlah populasi (P) adalah 22.910 orang. Tingkat kepercayaan (d) yang digunakan adalah 10%, sehingga jumlah sampel yang digunakan adalah:

$$n = \frac{22.910}{(22.910 \times 0,1^2) + 1}$$

$$= 99,56 \approx 100 \text{ orang}$$

2. Data sekunder
 - a. Harga air minum dalam kemasan didapatkan melalui survei ke Koperasi Pegawai Negeri di ITS Surabaya mengenai harga air minum dalam kemasan (galon) yang dikeluarkan dengan merk Aqua.
 - b. Tarif listrik didapatkan melalui survei ke Kantor PLN Surabaya Timur. Tarif listrik yang dibutuhkan adalah tarif listrik golongan sosial.

3.2.5 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan dilakukan setelah semua data diperoleh, baik data primer maupun sekunder. Analisis dan pembahasan dalam penelitian meliputi:

1. Kuantitas air buangan AC
Analisis kuantitas air buangan AC dilakukan berdasarkan data kuantitas air buangan AC setiap variasi merk dan daya AC dibandingkan dengan *relative humidity* dan *dew point temperature*. Sehingga didapatkan rata-rata kuantitas air buangan AC yang dihasilkan untuk setiap AC.
2. Kualitas air buangan AC
Analisis kualitas air buangan AC dilakukan berdasarkan hasil analisis laboratorium dibandingkan dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492 Tahun 2010.
3. Hasil kuesioner kesediaan mengkonsumsi air buangan AC sebagai air minum
Analisis dilakukan berdasarkan hasil kuesioner mengenai kesediaan responden sehingga didapatkan prosentase responden yang bersedia mengkonsumsi air buangan AC untuk air minum.
4. Nilai ekonomi dari pemanfaatan air buangan AC
Harga air buangan AC disesuaikan dengan harga air minum dalam kemasan galon merk Aqua dan menghitung nilai rupiah yang didapatkan dari pemanfaatan kuantitas air buangan AC. Selain itu, menghitung biaya listrik AC setiap

variasi sampel menggunakan tarif listrik untuk golongan sosial sehingga didapatkan persentase dari nilai rupiah air buangan AC untuk biaya listrik yang digunakan. Perhitungan penghematan didapatkan dari selisih biaya yang digunakan untuk membeli air minum dan biaya memanfaatkan air buangan AC sebagai air minum dengan suatu pengolahan.

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian dan analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan akan menjawab tujuan dari penelitian serta mempermudah pembaca dalam memperoleh gambaran ringkas dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Saran digunakan pada penelitian agar tidak terjadi kesalahan pada penelitian selanjutnya dan sebagai penyempurnaan dalam penelitian.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kuantitas Air Buangan AC

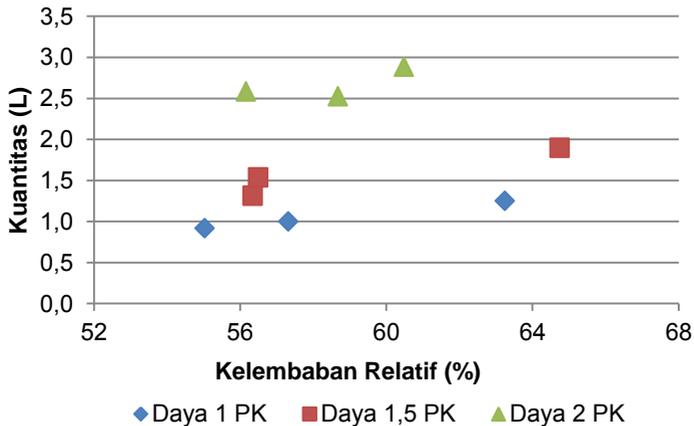
Kuantitas air buangan AC didapatkan dengan menampung air buangan AC selama 8 jam dengan suhu 18°C. Pengaturan suhu 18°C disesuaikan dengan kondisi lapangan pengaturan suhu di ruang kelas yang dijadikan sebagai sampel. Hal ini tidak sesuai dengan kebijakan internal kampus yang mewajibkan pengaturan suhu pendingin AC > 25°C yang bertujuan untuk penghematan energi listrik di ITS. Pengaturan suhu pendingin AC < 25°C dikarenakan mahasiswa menginginkan suhu yang dingin di dalam ruangan sehingga dapat memberikan kenyamanan saat belajar di dalam ruangan.

Selama penampungan air buangan AC, dilakukan pengukuran kelembaban relatif dan suhu udara di dalam ruangan menggunakan alat hygrothermo-anemometer (Lampiran F) serta membaca suhu titik embun udara dengan menggunakan grafik psikrometri. Alat hygrothermo-anemometer diletakkan di dalam ruangan dan dinyalakan selama ± 5 menit kemudian dibaca angka suhu udara dan kelembaban relatif yang tertera pada layar. Penentuan suhu titik embun menggunakan grafik psikrometri dilampirkan pada Lampiran C. Data hasil pengukuran kuantitas air buangan AC per jam ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Kuantitas Air Buangan AC

Sampel	RH (%)	Tu-Te (°C)	Kuantitas (L/jam)
Da 1	57,3	8,8	1,0
Da 1,5	56,4	9,5	1,3
Da 2	56,2	9,5	2,6
Lg 1	63,3	7,4	1,3
Lg 1,5	64,8	7,1	1,9
Lg 2	58,7	10,2	2,5
Pa 1	55,0	9,8	0,9
Pa 1,5	56,5	9,7	1,5
Pa 2	60,5	8,1	2,9

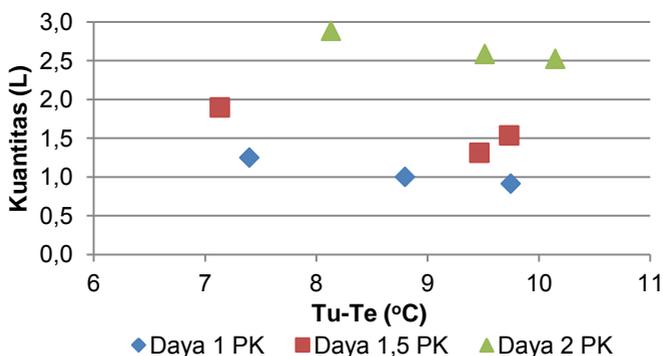
Berdasarkan Tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa kelembaban relatif, perbedaan suhu udara dan suhu titik embun, serta daya AC mempengaruhi kuantitas air buangan AC. Menurut Clus *et al.* (2008), kelembaban relatif merupakan parameter utama dalam pembentukan embun pada proses kondensasi. Proses pengembunan dimulai ketika suhu udara mencapai suhu titik embun. Udara dengan kelembaban relatif > 70% mampu menghasilkan embun dengan pendinginan mencapai suhu titik embun (Lekouch *et al.*, 2010). Pada penelitian ini, nilai RH di dalam ruangan < 70%. Menurut Kepmenkes RI No. 1404 Tahun 2002, ruangan dikategorikan nyaman apabila memiliki kelembaban sebesar 40-60%. Berdasarkan Tabel 4.1, nilai RH di dalam ruangan antara 55,0%-64,8%, sehingga ruangan tersebut dikategorikan kurang nyaman bagi penghuninya. Nilai RH < 70%, di dalam ruangan masih mampu mengembunkan udara di dalam ruangan. Hal ini dikarenakan terdapat koil pendingin di dalam evaporator yang berfungsi mendinginkan udara dan menurunkan kelembaban udara. Suhu udara yang melewati koil pendingin akan berkurang dan udara mengalami pengembunan sehingga tingkat kelembaban relatif berkurang (Stoecker dan Jones, 1989). Hubungan antara kelembaban relatif dan kuantitas air buangan AC ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hubungan antara Kelembaban Jam Relatif dan Kuantitas Air Buangan AC per Jam

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat disimpulkan bahwa kelembaban relatif yang tinggi di dalam ruangan dapat menghasilkan kuantitas air buangan AC yang lebih banyak. AC daya 1 PK menghasilkan air buangan AC sebanyak 1,3 L/jam dengan RH 63,3% pada sampel Lg 1. AC daya 1,5 PK menghasilkan air buangan AC sebanyak 1,9 L/jam dengan RH 64,8% pada sampel Lg 1,5, sedangkan AC daya 2 PK menghasilkan air buangan AC sebanyak 2,9 L/jam dengan RH 60,5% pada sampel Pa 2. Pada AC daya 2 PK, sampel Lg 2 dengan RH 58,7% menghasilkan air buangan AC lebih sedikit dibandingkan dengan sampel Da 2 dengan RH 56,2%. Air buangan AC yang dihasilkan sebesar 2,5 L/jam dan 2,6 L/jam. Hal ini dimungkinkan terjadi karena pengukuran kelembaban relatif dan suhu udara di dalam ruangan yang tidak akurat.

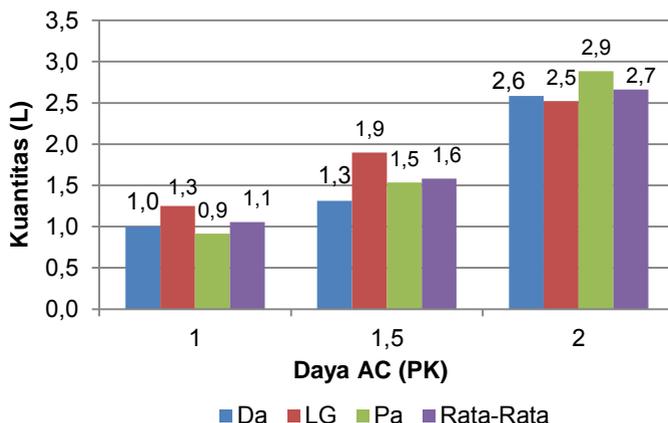
Proses pengembunan udara terjadi ketika suhu udara mencapai suhu titik embun. Penelitian yang dilakukan oleh Muselli *et al.* (2009) menunjukkan bahwa perbedaan antara suhu udara dan suhu titik embun ($T_u - T_e$) mempengaruhi jumlah embun yang dihasilkan. Semakin kecil perbedaan antara suhu udara dan suhu titik embun, maka jumlah embun yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini dikarenakan proses pengembunan udara terjadi lebih cepat, sehingga air buangan AC yang dihasilkan lebih banyak. Hubungan antara perbedaan suhu udara dan suhu titik embun dengan kuantitas air buangan AC per jam ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hubungan antara Perbedaan Suhu Udara dan Suhu Titik Embun dengan Kuantitas Air Buangan AC per Jam

Berdasarkan Gambar 4.2, AC daya 1 PK mampu menghasilkan air buangan AC sebanyak 1,3 L/jam dengan perbedaan suhu sebesar $7,4^{\circ}\text{C}$ yaitu pada sampel Lg 1. Daya 1,5 PK menghasilkan 1,9 L/jam dengan perbedaan suhu $7,1^{\circ}\text{C}$ pada sampel Lg 1,5, sedangkan daya 2 PK menghasilkan 2,9 L/jam dengan perbedaan suhu $8,1^{\circ}\text{C}$ pada sampel Pa 2. Pada AC daya 1,5 PK dengan nilai T_u-T_e sebesar $9,5^{\circ}\text{C}$ menghasilkan air buangan AC lebih sedikit dibandingkan dengan nilai T_u-T_e sebesar $9,7^{\circ}\text{C}$. Air buangan AC yang dihasilkan sebanyak 1,3 L/jam pada sampel Da 1,5 dan 1,5 L/jam pada sampel Pa 1,5. Namun, jika dilihat dari kelembaban relatif, kedua sampel ini memiliki nilai RH hampir sama yaitu 56,4% dan 56,5% (Tabel 4.1). Hasil ini tidak sesuai dengan beberapa sampel lainnya dan dimungkinkan terjadi karena pengukuran kelembaban relatif dan suhu udara di dalam ruangan tidak akurat. Hal ini dapat diakibatkan oleh beberapa hal, misalnya sebelum dilakukan pengukuran, kondisi ruangan yang sering dibuka dan ditutup atau selalu terbuka menyebabkan kelembaban relatif dan suhu udara di dalam ruangan meningkat.

Kuantitas air buangan AC juga dipengaruhi oleh daya AC. Grafik kuantitas air buangan AC per jam ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kuantitas Air Buangan AC per Jam

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya AC yang digunakan maka kuantitas air buangan AC yang dihasilkan juga semakin banyak. AC daya 2 PK menghasilkan air buangan AC yang paling banyak dibandingkan dengan AC daya 1 PK dan 1,5 PK yaitu sebesar 2,9 L/jam. Rata-rata air buangan AC yang dihasilkan oleh AC daya 1 PK sebesar 1,1 L/jam, daya 1,5 PK sebesar 1,6 L/jam, dan daya 2 PK sebesar 2,7 L/jam.

Daya AC yang digunakan berhubungan dengan luas ruangan. Semakin besar volume suatu ruangan maka daya AC yang digunakan semakin besar. Volume ruang yang lebih besar memiliki massa udara yang lebih banyak sehingga penyerapan kalor udara yang terjadi pada evaporator semakin besar (Stoecker dan Jones, 1989). Hal ini menyebabkan pelepasan uap air yang terkandung dalam udara juga semakin tinggi. Penyerapan kalor udara oleh refrigeran disebut dengan efek refrigerasi. Penelitian Hidayati (2013) menunjukkan bahwa efek refrigerasi pada AC daya 2 PK lebih besar dibandingkan dengan AC daya 1 PK. Efek refrigerasi adalah kapasitas pendinginan yang ditinjau dari udara dan konsumsi energi listrik. Semakin besar efek refrigerasi pada kinerja AC maka penyerapan kalor pada udara semakin besar. Hal ini memungkinkan air buangan AC yang dihasilkan lebih banyak pada AC daya 2 PK.

Kuantitas air buangan AC yang dihasilkan oleh setiap sampel AC berhubungan dengan daya AC yang digunakan dan RH di dalam ruangan. Berdasarkan hal tersebut, maka didapatkan hubungan antara kuantitas (L/jam), daya AC, dan RH dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$L/\text{jam}/\text{PK}/\text{RH} = \frac{L/\text{jam}}{\text{daya AC} \times \% \text{RH}}$$

Berdasarkan rumus perhitungan L/jam/PK/RH, maka didapatkan besarnya satuan L/jam/PK/RH untuk setiap sampel AC dan setiap merk AC yang ditampilkan pada Tabel 4.2. Satuan L/jam/PK/RH digunakan untuk menghitung kuantitas air buangan AC dari penggunaan daya AC (PK) dengan RH di dalam suatu ruangan. Contoh perhitungan L/jam/PK/RH untuk sampel Da 1 adalah:

$$L/\text{jam}/\text{PK}/\text{RH} = \frac{1,0 \text{ L/jam}}{1 \text{ PK} \times 57,3\%} = 0,0174 \text{ L/jam}/\text{PK}/\text{RH}$$

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan L/jam/PK/RH dan L/jam/PK/RH/merk AC

Merk	Daya (PK)	L/jam / PK / RH	L/jam / PK / RH / Merk
Da	1	0,0174	
	1,5	0,0155	0,0187
	2	0,0230	
Lg	1	0,0198	
	1,5	0,0195	0,0203
	2	0,0215	
Pa	1	0,0166	
	1,5	0,0181	0,0195
	2	0,0238	
Rata-rata		0,0195	

Berdasarkan Tabel 4.2, didapatkan bahwa pada masing-masing sampel AC mampu menghasilkan air buangan AC rata-rata sebanyak 0,0195 L/jam/PK/RH. Pada setiap merk AC didapatkan bahwa AC dengan merk Lg mampu menghasilkan air buangan AC lebih banyak dibandingkan dengan 2 merk lainnya. Rata-rata air buangan AC yang dihasilkan sebanyak 0,0203 L/jam/PK/RH untuk AC merk Lg, 0,0195 L/jam/PK/RH untuk AC merk Pa, dan 0,0187 L/jam/PK/RH untuk AC merk Da.

4.2 Kualitas Air Buangan AC

4.2.1 Parameter Fisik

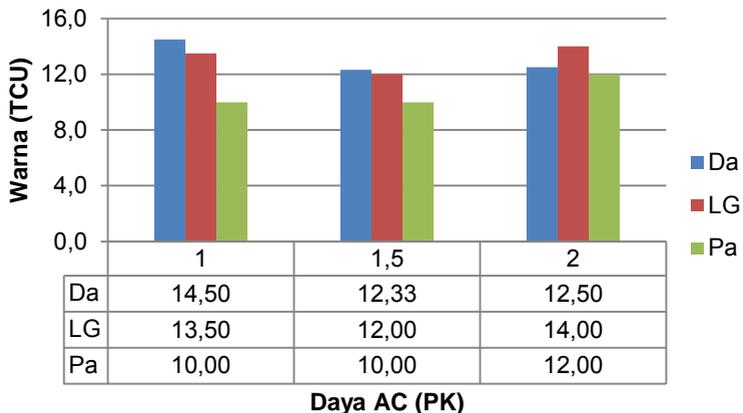
Parameter fisik air buangan AC yang dianalisis adalah warna, kekeruhan, dan TDS. Analisis warna menggunakan spektrofotometer UV-Vis merk Optima tipe SP-300, kekeruhan menggunakan turbidimeter merk Hanna tipe HI88703, dan TDS menggunakan alat pH ion lab merk Waterproof tipe EC 10 (Lampiran F). Hasil analisis warna, kekeruhan, dan TDS ditampilkan pada Tabel 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Parameter Fisik Air Buangan AC

Sampel	Warna (TCU)	Kekeruhan (NTU)	TDS (mg/L)
*Baku mutu	15	5	500
Da 1	14,50	0,30	30,05
Da 1,5	12,33	0,57	28,50
Da 2	12,50	0,90	31,15
LG 1	13,50	0,53	23,70
LG 1,5	12,00	0,33	19,90
LG 2	14,00	0,45	20,40
Pa 1	10,00	0,38	20,10
Pa 1,5	10,00	0,78	29,45
Pa 2	12,00	0,37	19,50

Sumber : *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010

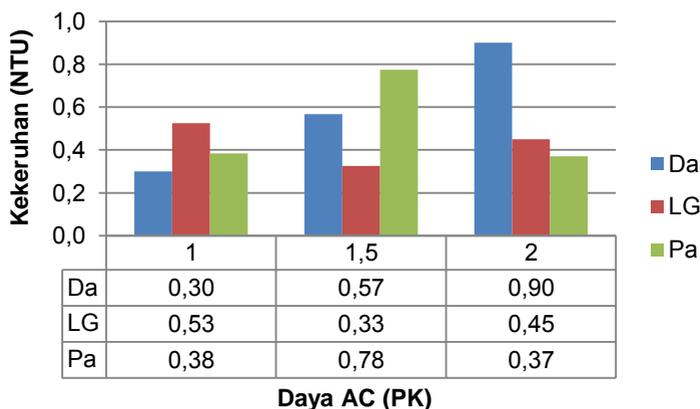
Berdasarkan Tabel 4.3, air buangan AC memiliki konsentrasi di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan untuk parameter warna, kekeruhan, dan TDS sehingga dapat dijadikan sebagai air minum jika ditinjau dari parameter fisik air minum.



Gambar 4.4 Hasil Analisis Warna Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.4, semua sampel air buangan AC memiliki kandungan warna yang masih berada dibawah nilai baku

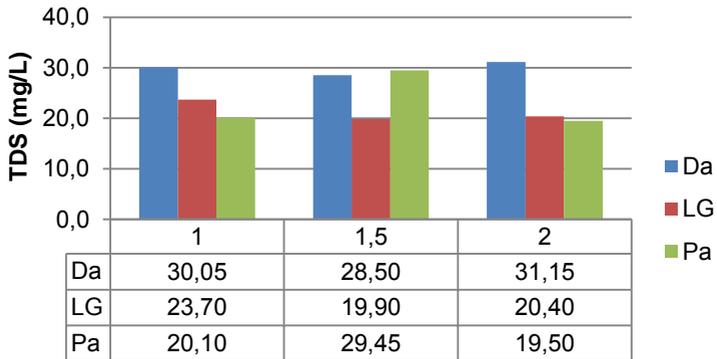
mutu yang dipersyaratkan. Kandungan warna pada air buangan AC antara 10 TCU dan 14,5 TCU. Warna disebabkan karena adanya partikel tersuspensi, kekeruhan, senyawa organik dan kandungan ion logam seperti logam Fe^{2+} dan Mn^{2+} (Sawyer *et al.*, 2003). Secara visual, air buangan AC memang tidak memiliki warna atau jernih, sehingga sangat memungkinkan konsentrasi warna pada air buangan AC di bawah baku mutu yang dipersyaratkan.



Gambar 4.5 Hasil Analisis Kekeruhan Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.5, air buangan AC memiliki nilai kekeruhan yang rendah yaitu antara 0,3 NTU dan 0,9 NTU. Nilai kekeruhan yang rendah menghasilkan warna air buangan AC dengan konsentrasi yang rendah. Nilai kekeruhan yang rendah pada air buangan AC disebabkan karena proses yang terjadi selama pengembunan udara di dalam evaporator. Selama proses pengembunan, uap air yang terkandung di dalam udara mengalami kondensasi pada permukaan pendingin atau koil pendingin sehingga menghasilkan tetesan air (Stoecker dan Jones, 1989). Tetesan air kemudian mengalir menuju pipa saluran air buangan AC. Hal ini memungkinkan air buangan AC yang dihasilkan tidak mengandung partikel tersuspensi, sehingga konsentrasi kekeruhan yang dihasilkan lebih rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Al-Farayedhi *et al.* (2014) menunjukkan bahwa air buangan AC memiliki kekeruhan sebesar 2,01 NTU.

Menurut Mahvi *et al.* (2013), kekeruhan yang rendah pada air yaitu mendekati 0 menunjukkan bahwa air tersebut merupakan air murni.



Daya AC (PK)

Gambar 4.6 Hasil Analisis TDS Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.6, air buangan AC memiliki TDS yang rendah yaitu 19,5 mg/L sampai 31,15 mg/L. Kandungan TDS menunjukkan kandungan logam terlarut di dalam air (Sawyer *et al.*, 2003). Penelitian yang dilakukan oleh Al-Farayedhi *et al.* (2014) menunjukkan bahwa air buangan AC memiliki kandungan TDS sebesar 27 mg/L. Konsentrasi TDS yang rendah menunjukkan bahwa kandungan logam atau ion terlarut pada air buangan AC juga kecil. Hal ini ditunjukkan pada konsentrasi Cl^- , Fe^{2+} , SO_4^{2-} , dan $CaCO_3$ pada air buangan AC yang memiliki konsentrasi rendah.

4.2.2 Parameter Kimia

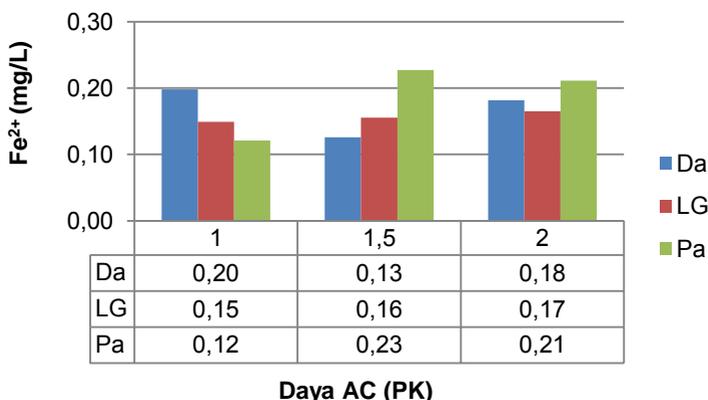
Parameter kimia yang dianalisis meliputi besi, kesadahan, klorida, pH, sulfat, timbal, ammonia, dan zat organik. Analisis dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air dan LPPM ITS. Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 4.4, Gambar 4,7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Parameter Kimia Air Buangan AC

Sampel	pH	Kesadahan (mg CaCO ₃ /L)	Fe ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₃	KMnO ₄	Pb ²⁺
			(mg/L)					
Baku mutu	6,5-8,5	500	0,3	500	250	1,5	10	0,01
Da 1	7,54	6,07	0,20	20,22	3,25	17,26	14,85	0,00
Da 1,5	7,13	8,42	0,13	16,18	0,00	17,23	20,79	0,00
Da 2	7,16	5,12	0,18	9,77	0,00	12,24	10,72	0,00
LG 1	7,39	8,13	0,15	9,99	3,44	10,81	17,57	0,00
LG 1,5	7,28	8,13	0,16	6,28	0,98	16,55	20,14	0,00
LG 2	7,28	5,00	0,17	12,89	0,75	7,21	4,42	0,00
Pa 1	7,37	9,82	0,12	6,66	0,00	7,61	6,40	0,00
Pa 1,5	7,30	4,85	0,23	13,37	0,00	12,80	15,29	0,00
Pa 2	7,19	5,07	0,21	2,93	0,98	8,52	7,82	0,00

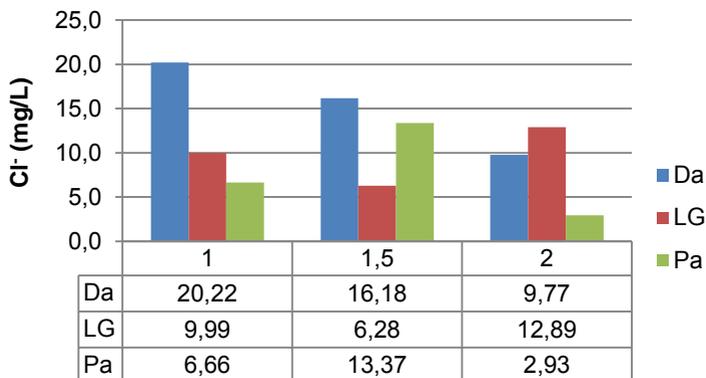
Sumber : * Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat disimpulkan bahwa sampel air buangan AC memiliki konsentrasi di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan. Parameter yang memenuhi baku mutu antara lain besi, kesadahan, klorida, pH, sulfat, dan timbal. Namun, kandungan ammonia dan zat organik pada sampel air buangan AC memiliki konsentrasi melebihi batas maksimum yang dipersyaratkan untuk air minum.



Gambar 4.7 Hasil Analisis Besi Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.7, kandungan Fe^{2+} dalam sampel air buangan AC berada di bawah baku mutu yang dipersyaratkan antara 0,12 mg/L dan 0,23 mg/L. Kandungan Fe^{2+} berhubungan dengan kandungan warna pada sampel air buangan AC. Konsentrasi Fe^{2+} yang rendah tidak merubah warna air buangan AC yang dihasilkan sehingga air buangan AC tidak berwarna.

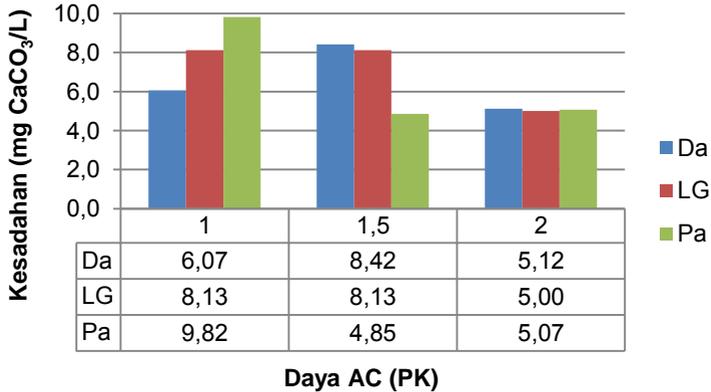


Daya AC (PK)

Gambar 4.8 Hasil Analisis Klorida Air Buangan AC

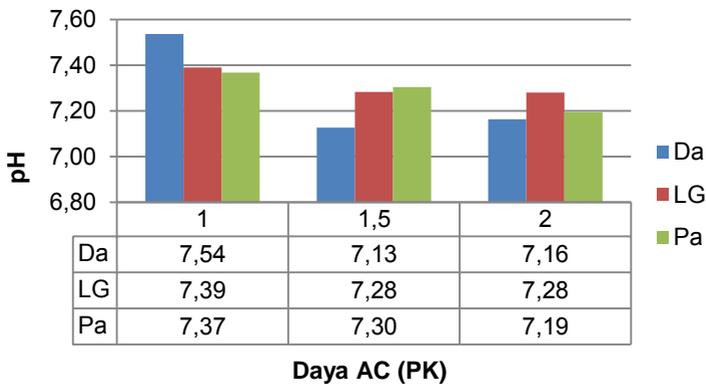
Berdasarkan Gambar 4.8, konsentrasi Cl^- pada sampel air buangan AC memiliki konsentrasi yang rendah yaitu antara 2,93 mg/L dan 20,22 mg/L. Keberadaan Cl^- pada air embun berasal dari kandungan garam terlarut di udara (Mulawa *et al.*, 1986; Foster *et al.*, 1990; Lekouch *et al.*, 2010). Lekouch *et al.* (2010) menyatakan bahwa kontribusi ion-ion yang berasal dari laut tidak terlalu besar sehingga konsentrasi Cl^- pada air embun yang dihasilkan juga rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Al-Farayehdi *et al.* (2014) menunjukkan bahwa air buangan AC memiliki konsentrasi Cl^- sebesar 0,7 mg/L. Menurut Viana *et al.* (2015), konsentrasi Cl^- yang berada di dalam ruangan dan di luar ruangan tidak memiliki perbedaan yang jauh yaitu sebesar 0,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan 0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini sesuai dengan hasil analisis Cl^- pada air buangan AC yang berada jauh di bawah baku mutu persyaratan air minum. Keberadaan Cl^- di dalam ruangan disebabkan karena terjadinya aktivitas manusia yang keluar

masuk ruangan sehingga memungkinkan masuknya Cl^- dari udara ambien ke dalam ruangan.



Gambar 4.9 Hasil Analisis Kesadahan Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.9, konsentrasi kesadahan total pada air buangan AC tergolong sangat rendah yaitu antara 4,85 mg CaCO₃/L dan 9,82 mg CaCO₃/L. Konsentrasi kesadahan air buangan AC termasuk ke dalam tingkat kesadahan yang lunak. Air lunak memiliki konsentrasi kesadahan sebesar 0-75 mg CaCO₃/L (Sawyer *et al.*, 2003), sedangkan menurut Droste (1997), air lunak memiliki konsentrasi kesadahan sebesar 0-50 mg CaCO₃/L.

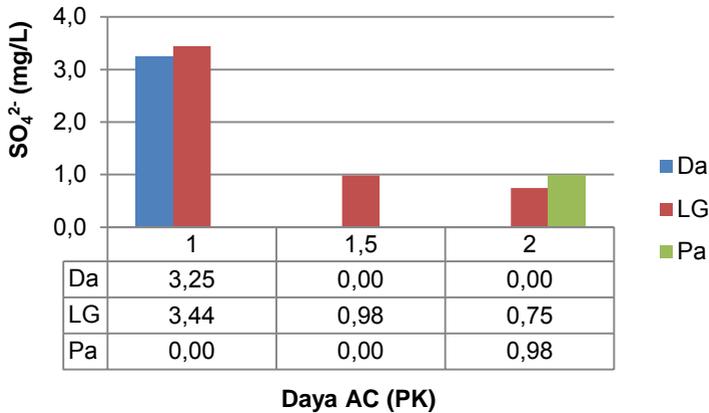


Gambar 4.10 Hasil Analisis pH Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.10, konsentrasi pH air buangan AC tergolong kategori netral yaitu antara 7,13 dan 7,54. Penelitian yang dilakukan oleh Al-Farayedhi *et al.* (2014) menunjukkan bahwa air buangan AC memiliki pH sebesar 6,52. Embun yang dihasilkan dari kondensasi uap air memiliki pH sebesar 7,49 (Muskala *et al.*, 2015), 6,26-7,4 (Lekouch *et al.*, 2011), dan 5,53-7,78 (Lekouch *et al.*, 2010). Analisis pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter merk Trans type BP3001. Menurut Mulawa *et al.* (1986), kandungan pH pada embun yang dihasilkan tergantung pada penyerapan gas CO₂ serta pelarutan gas SO_x dan NO_x di udara selama pengembunan. Lekouch *et al.* (2011) menyatakan bahwa selama proses kondensasi, uap air memiliki waktu kontak yang singkat dengan udara sehingga penyerapan gas CO₂, SO₂ dan NO₂ sangat terbatas. Hal ini menyebabkan pH air yang dihasilkan menjadi netral.

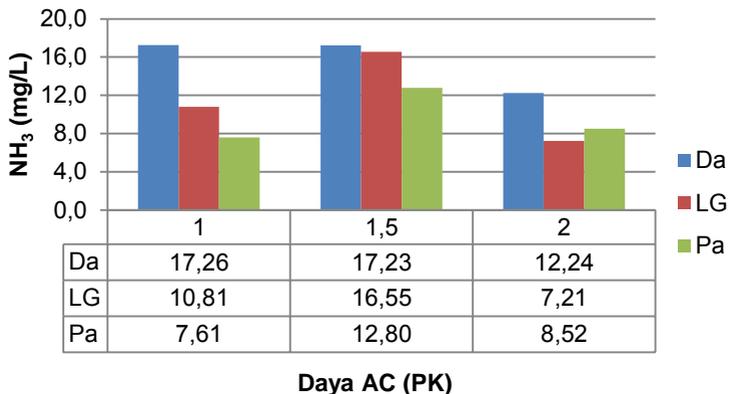
Kelarutan gas CO₂ pada air sebagai asiditas atau alkalinitas. Asiditas adalah kondisi pH dengan keasaman yang disebabkan karena keasaman mineral asam terlarut seperti HCl, H₂SO₄, dan HNO₃. Alkalinitas dalam air biasanya dikarenakan keberadaan bikarbonat (HCO₃⁻), NH₃, dan OH⁻. Penyerapan gas CO₂ dalam air menghasilkan HCO₃⁻ dan H⁺ yang nantinya akan membentuk H₂CO₃ sehingga menghasilkan pH pada kisaran 4-8,4 (Droste, 1997). pH netral pada air buangan AC dimungkinkan karena penyerapan gas CO₂. Gas CO₂ di dalam ruangan berasal dari sistem pernapasan manusia. Ruangan ber-AC yang dijadikan sebagai sampel digunakan untuk kegiatan belajar dan terdapat banyak orang di dalam ruangan. Hal ini memungkinkan banyaknya gas CO₂ di dalam ruangan dan dapat terlarut pada air buangan AC yang dihasilkan.

Menurut Benner *et al.* (1985) dalam Foster *et al.* (1990), sumber utama asiditas embun diakibatkan oleh konsentrasi sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂), sedangkan ammonia (NH₃) dapat menetralisasi asam. Hal ini menunjukkan bahwa pH netral pada air buangan AC disebabkan oleh kehadiran NH₃ pada air buangan AC yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi sulfat (SO₄²⁻). Konsentrasi SO₄²⁻ dan NH₃ pada air buangan AC ditampilkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Hasil Analisis Sulfat Air Buangan AC

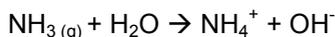
Berdasarkan Gambar 4.11, kandungan SO_4^{2-} pada air buangan AC hanya terdapat pada 5 sampel air buangan AC dengan konsentrasi antara 0,75 mg/L dan 3,44 mg/L. Kehadiran SO_x di udara berpengaruh terhadap adanya kandungan SO_4^{2-} pada embun yang dihasilkan yaitu karena terjadinya deposisi SO_2 dan partikulat SO_4^{2-} (Mulawa *et al.*, 1986 dan Foster *et al.*, 1990). Sumber partikulat SO_4^{2-} di dalam ruangan dimungkinkan berasal dari infiltrasi udara di luar ruangan. Frekuensi pintu ruangan yang sering terbuka memungkinkan masuknya gas SO_2 dan partikulat SO_4^{2-} ke dalam ruangan. Viana *et al.* (2015) menyatakan bahwa konsentrasi partikulat SO_4^{2-} di dalam ruangan mengalami penurunan dibandingkan dengan konsentrasi partikulat SO_4^{2-} di luar ruangan. Hal ini dimungkinkan sebagai penyebab adanya konsentrasi SO_4^{2-} pada air buangan AC dengan konsentrasi yang rendah dan tidak terdapat pada semua sampel. Perbedaan konsentrasi SO_4^{2-} pada masing-masing sampel disebabkan karena frekuensi ruangan yang terbuka di setiap ruangan sampel AC tidak sama. Ketika pengambilan sampel, tidak dilakukan pengamatan seberapa banyak frekuensi pintu dibuka dan ditutup sehingga tidak dapat dianalisis perbedaan konsentrasi SO_4^{2-} pada masing-masing sampel AC. Namun, konsentrasi SO_4^{2-} pada masing-masing sampel tidak menunjukkan perbedaan yang jauh.



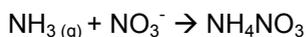
Gambar 4.12 Hasil Analisis Ammonia Air Buangan AC

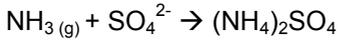
Berdasarkan Gambar 4.12, konsentrasi NH_3 pada air buangan AC cukup tinggi yaitu antara 7,21 mg/L dan 17,26 mg/L. Nilai ini melebihi baku mutu yang dipersyaratkan untuk air minum. NH_3 bersifat sangat larut dalam air dan terdapat dalam bentuk NH_4^+ sehingga analisis ammonia pada sampel air buangan AC dilakukan dengan menganalisis konsentrasi ammonium. Menurut Foster *et al.* (1990), penyerapan gas NH_3 di udara menyebabkan terbentuknya NH_4^+ dalam air embun yang dihasilkan. Mulawa *et al.* (1986) menyatakan bahwa konsentrasi ammonia yang tinggi pada air hasil kondensasi disebabkan karena adanya penyerapan gas NH_3 dan partikulat NH_4^+ .

Berdasarkan penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa NH_4^+ pada air buangan AC dimungkinkan berasal dari NH_3 dan partikulat NH_4^+ di dalam ruangan maupun infiltrasi dari luar ruangan. Reaksi yang terjadi antara gas NH_3 dan uap air di udara adalah:

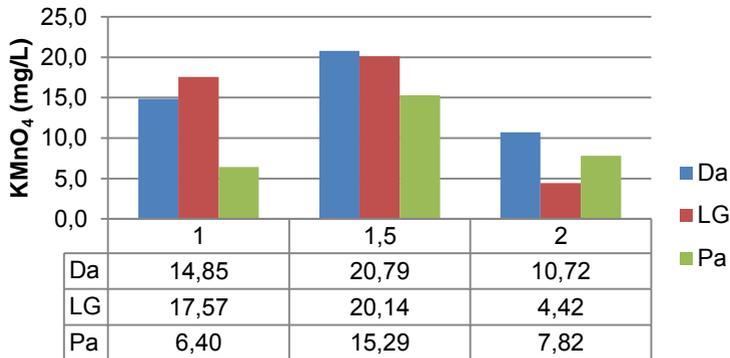


Keberadaan NH_3 di udara terdapat dalam beberapa bentuk senyawa. Menurut Lekouch *et al.* (2010), NH_3 di udara dapat bereaksi dengan NO_3^- dan SO_4^{2-} sebagai berikut.





Jarnstrom (2008) menyatakan bahwa sumber emisi gas NH_3 di dalam ruangan dapat berasal dari dinding ruangan dan lantai. Emisi NH_3 dari dinding dihasilkan dari struktur dinding yaitu beton dan gypsum, sedangkan pada lantai dihasilkan dari hidrolisis struktur lantai (Jarnstrom, 2008). Reaksi hidrolisis pada struktur lantai dapat menghasilkan 2-ethylhexanol, butanol, dan ammonia (Karlsson *et al.*, 1989; Gustafsson 1990; Bornehag 1991 dalam Jarnstrom, 2008). Emisi NH_3 dari dinding beton sebesar $8-19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan dari struktur lantai sebesar $2-18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jarnstrom, 2008).

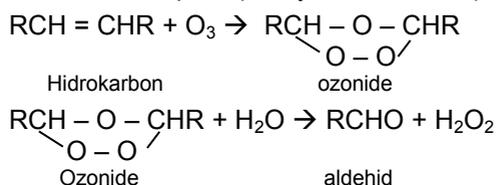


Daya AC (PK)

Gambar 4.13 Hasil Analisis Zat Organik Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.13, air buangan AC memiliki kandungan zat organik melebihi baku mutu yang dipersyaratkan hanya pada 6 sampel. Konsentrasi zat organik air buangan AC antara $4,42 \text{ mg/L}$ dan $20,79 \text{ mg/L}$. Salah satu sumber utama keberadaan zat organik adalah adanya senyawa alifatik dengan berat molekul tinggi dan hidrokarbon aromatik (Letterman, 1999). Zat organik pada air buangan AC dimungkinkan berasal dari senyawa alifatik yaitu penggunaan formaldehid dalam ruangan. Formaldehid merupakan senyawa hidrokarbon yang termasuk dalam jenis VOCs. Formaldehid di dalam ruangan dihasilkan dari penggunaan produk kayu, karpet, tekstil, dan zat perekat termasuk lem perekat kayu (Knoppel dan Wolkoff, 1992; Dutton

et al., 2014). Konsentrasi formaldehid akibat penggunaan produk kayu di dalam ruangan sebesar 121-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Senitkova, 2014). Menurut Dutton *et al.* (2014), konsentrasi formaldehid di dalam ruangan dapat dikurangi dengan penambahan ventilasi udara sehingga terjadi peningkatan laju ventilasi. Peningkatan laju ventilasi sebesar 130% dapat mengurangi konsentrasi formaldehid rata-rata sebesar 5,5%. Selain itu, penelitian oleh Jarnstrom (2008) menunjukkan bahwa penggunaan cat dinding juga dapat menghasilkan emisi VOCs karena salah satu bahan baku pembuatan cat dinding adalah *solvent* atau pelarut. Pelarut cat yang digunakan digolongkan berdasarkan struktur kimianya yaitu hidrokarbon dan oksigenated solvent yang masuk dalam golongan ester, ether, katone, dan alkohol. Hidrokarbon di dalam ruangan dapat membentuk polutan sekunder karena bereaksi dengan ozon dan uap air (Sawyer *et al.*, 2003) sebagai berikut.



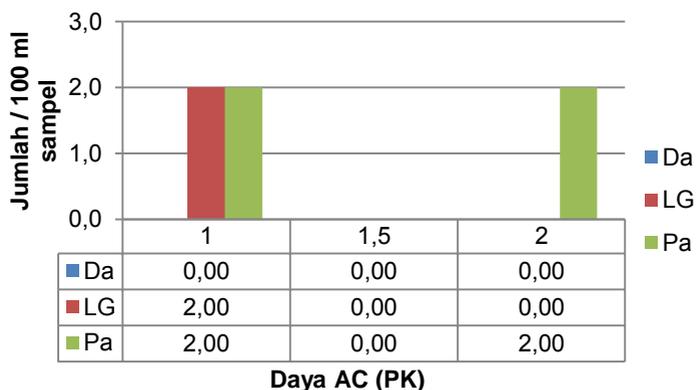
Penelitian yang dilakukan oleh McGill *et al.* (2015) menunjukkan bahwa konsentrasi formaldehid di dalam ruangan yang memiliki jendela terbuka lebih kecil dibandingkan dengan ruangan yang memiliki jendela tertutup. Semua AC yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini berada pada ruangan yang terdapat banyak produk kayu seperti meja dan kursi serta tidak memiliki ventilasi yang baik. Ventilasi yang digunakan hanya berupa lubang kecil dan jendela yang selalu dalam keadaan tertutup. Namun, semua ruangan memiliki kondisi pintu yang sering terbuka sehingga memungkinkan untuk mengurangi konsentrasi formaldehid dalam ruangan.

Berdasarkan Tabel 4.4, semua sampel air buangan AC tidak terdapat kandungan Pb^{2+} . Hal ini dimungkinkan karena tidak ada kontaminan Pb dalam ruangan serta lokasi ruangan ber-AC yang tidak dekat dengan parkir kendaraan bermotor atau tidak dilewati oleh kendaraan bermotor sehingga tidak ada polutan Pb ambien yang masuk ke dalam ruangan. Penelitian yang dilakukan oleh Al-Farayedhi *et al.* (2014) menunjukkan bahwa air buangan

AC tidak mengandung Pb^{2+} , sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Falah (2009) menunjukkan bahwa air buangan AC mengandung Pb^{2+} sebesar 0,03 mg/L. Berdasarkan penelitian tersebut disimpulkan bahwa kualitas udara di dalam ruangan mempengaruhi kualitas air buangan AC yang dihasilkan. Kandungan Pb^{2+} pada penelitian yang dilakukan oleh Falah (2009) ditunjukkan oleh sampel yang berada di lokasi pabrik Coca Cola Ungaran. Lokasi pabrik yang sangat berhubungan dengan proses produksi dan distribusi barang dengan menggunakan alat-alat transportasi memungkinkan menghasilkan emisi berupa Pb. Bahan bakar yang mengandung Pb memberikan kontribusi bagi keberadaan Pb dalam air (Effendi, 2003). Keberadaan Pb^{2+} dalam air secara alami melalui pengkristalan Pb di udara. Sekitar 25% Pb tetap berada di dalam mesin kendaraan bermotor, sedangkan 75% akan mencemari udara sebagai asap kendaraan bermotor.

4.2.3 Parameter Mikrobiologi

Parameter mikrobiologi sampel air buangan AC yang dianalisis adalah total bakteri *Coliform*. Analisis total bakterio *Coliform* dilakukan dengan metode MPN dan diinkubasi pada *incubator* selama 24 jam. Hasil pengujian total bakteri *Coliform* sampel air buangan AC ditampilkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil Analisis Total Bakteri *Coliform* Air Buangan AC

Berdasarkan Gambar 4.14, bakteri *Coliform* hanya terdapat pada 3 sampel air buangan AC yaitu sebesar 2 MPN/100 ml sampel. Sampel yang mengandung bakteri *Coliform* yaitu sampel Lg 1, Pa 1, dan Pa 2. Bakteri *Coliform* dibedakan menjadi dua yaitu *Coliform fecal* dan *Coliform nonfecal* (Fardiaz, 1993). Air yang mengandung bakteri golongan *Coli* dianggap telah terkontaminasi dengan kotoran manusia. Keberadaan *Coliform* pada air buangan AC dianggap sebagai *Coliform nonfecal*. Hal ini dikarenakan sistem AC tidak berhubungan langsung dengan ekskresi manusia atau hewan. *Coliform nonfecal* adalah bakteri *Coliform* yang ditemukan pada hewan atau tanaman-tanaman yang telah mati. Bakteri *Coliform nonfecal* pada air buangan AC dapat dihilangkan dengan cara pemanasan atau dididihkan sehingga bakteri *Coliform nonfecal* akan mati.

Bakteri *Coliform* pada air buangan AC dimungkinkan berasal dari bakteri udara di dalam ruangan, seperti *Bacillus sp.* Bakteri *Bacillus sp.* merupakan bakteri yang berbentuk batang, gram positif, tumbuh pada kondisi aerob dan anaerob, serta bersifat aerob fakultatif. Media tumbuh bakteri ini adalah tanah, air, udara, dan materi tumbuhan yang terdekomposisi (Volk dan Wheeler, 1988). Berdasarkan ciri-ciri tersebut, terdapat beberapa kesamaan antara *Bacillus sp.* dengan bakteri *Coliform* yaitu berbentuk batang, gram positif, dan tumbuh pada kondisi aerob maupun anaerob fakultatif (Fardiaz, 1993), sehingga dimungkinkan hal tersebut yang menyebabkan saat analisis laboratorium terdapat gelembung udara pada media *Lactose Broth* setelah diinkubasi dalam *incubator* selama 24 jam.

Menurut Volk dan Wheeler (1988), materi tumbuhan yang terdekomposisi merupakan media tumbuh *Bacillus sp.* Pada pipa air buangan AC sampel Lg 1, Pa 1, dan Pa 2 terdapat lumut yang berada di ujung pipa bagian luar sehingga hal ini dimungkinkan sebagai penyebab ditemukannya bakteri *Coliform nonfecal* pada sampel air buangan AC. Namun, pada pipa air buangan AC lainnya masih terlihat baru dan tidak terdapat lumut di bagian luarnya sehingga tidak terdapat bakteri *Coliform*. Kondisi pipa saluran air buangan AC yang terdapat lumut dan tidak terdapat lumut ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 (a) Lumut di Bagian Luar Ujung Pipa Saluran Air Buangan AC, dan (b) Pipa Saluran Air Buangan AC yang Tidak Terdapat Lumut

4.3 Hasil Kuesioner Kesiediaan Mengonsumsi Air Buangan AC sebagai Air Minum

Kuesioner digunakan untuk mengetahui pendapat responden mengenai kesiediaan responden di Kampus untuk mengonsumsi air buangan AC sebagai air minum jika dapat dimanfaatkan sebagai air minum. Responden pada penelitian ini adalah civitas akademik ITS yang terdiri dari dosen PNS, karyawan PNS, dan mahasiswa di Kampus ITS. Kuesioner disebarakan kepada 100 responden. Penyebaran kuesioner dilakukan dengan menggunakan metode *disproportionate stratified sampling* sehingga didapatkan responden yang terdiri dari 7 dosen, 15 karyawan, dan 78 mahasiswa. Penyebaran kuesioner dilakukan secara acak. Pembagian jumlah responden berdasarkan pekerjaan di kawasan Kampus ITS dilakukan secara tidak proporsional (*disproportionate*). Hal ini dikarenakan jumlah responden yang terdiri dari dosen, karyawan, dan mahasiswa di ITS memiliki perbedaan yang jauh (Tabel 3.3). Hasil kuesioner kesiediaan responden mengonsumsi air buangan AC sebagai air minum disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Responden yang Bersedia Mengkonsumsi Air Buangan AC sebagai Air Minum

Responden	Persentase (%)	
	Bersedia	Tidak bersedia
Dosen	57,1	42,9
Karyawan	66,7	33,3
Mahasiswa	64,1	35,9
Rata-Rata	62,6	37,4

Berdasarkan Tabel 4.5, didapatkan bahwa sebanyak 62,6% dari total responden bersedia mengonsumsi air buangan AC jika dapat dimanfaatkan sebagai air minum. Responden yang menyatakan bersedia terdiri dari 57,1% dari total dosen, 66,7% dari total karyawan, dan 64,1% dari total mahasiswa.

4.4 Nilai Ekonomi dari Pemanfaatan Air Buangan AC

4.4.1 Analisis Air Buangan AC untuk Kebutuhan Air Minum

Pemanfaatan air buangan AC sebagai air minum dimaksudkan untuk memanfaatkan air buangan AC yang terbuang percuma. Kuantitas air buangan AC yang dihasilkan menyesuaikan dengan daya AC yang digunakan. Rata-rata air buangan AC yang dihasilkan per jam untuk AC daya 1 PK, 1,5 PK, dan 2 PK adalah 1,1 L, 1,6 L, dan 2,7 L. Direncanakan air buangan AC dari penggunaan AC di kampus dapat memenuhi kebutuhan air minum civitas akademik di kampus.

Berdasarkan Tabel 4.4, persentase pelayanan yang direncanakan mengikuti persentase responden yang bersedia mengonsumsi air buangan AC sebagai air minum yaitu sebesar 62,6%. Jumlah civitas akademik yang akan mengonsumsi air buangan AC sebagai air minum adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah civitas akademik} &= 22.910 \text{ orang} \\
 \text{Pelayanan} &= 62,6\% \\
 \text{Jumlah konsumen} &= \text{jumlah civitas} \times \text{pelayanan} \\
 &= 22.910 \text{ orang} \times 62,6\% \\
 &= 14.350 \text{ orang}
 \end{aligned}$$

Debit air minum yang dibutuhkan untuk mencukupi kebutuhan air minum di kampus adalah:

$$\text{Kebutuhan air minum} = 2,5 \text{ L/orang.hari}$$

$$\text{Asumsi waktu di kampus} = 0,5 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Debit (Q)} &= \text{kebutuhan air minum} \times \sum \text{konsumen} \times \text{waktu} \\ &= 2,5 \text{ L/orang.hari} \times 14.350 \text{ orang} \times 0,5 \text{ hari} \\ &= 17.937,5 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

Jumlah unit AC di kampus ITS sebanyak 2.731 unit dengan persentase masing-masing unit adalah 8,5% AC daya $\frac{3}{4}$ PK, 52,5% AC daya 1 PK, 13,6% AC daya 1,5 PK, dan 25,4% AC daya 2 PK (Lampiran E Tabel E.4). Rata-rata AC yang dinyalakan adalah selama 6,5 jam/hari. Hal ini disesuaikan dengan rata-rata jam operasional AC/hari di setiap ruang kelas yang digunakan untuk kegiatan perkuliahan. Asumsi rata-rata waktu operasional AC di sekretariat dan ruang dosen sama dengan waktu operasional AC di kelas. Data waktu perkuliahan ditunjukkan pada Lampiran E (Tabel E.5). Perhitungan jumlah unit AC masing-masing daya dan kapasitas air buangan AC yang dihasilkan di Kampus ITS adalah:

- AC daya 1 PK

$$\begin{aligned}\text{Jumlah AC} &= \% \text{ daya AC} \times \text{unit AC} \\ &= 52,5\% \times 2.731 \text{ unit} \\ &= 1.435 \text{ unit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{L/hari} &= \text{jumlah AC} \times \text{L/jam} \times \text{waktu operasi} \\ &= 1.435 \text{ unit} \times 1,1 \text{ L/jam} \times 6,5 \text{ jam/hari} \\ &= 9.842,46 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

- AC daya 1,5 PK

$$\begin{aligned}\text{Jumlah AC} &= \% \text{ daya AC} \times \text{unit AC} \\ &= 13,6\% \times 2.731 \text{ unit} \\ &= 370 \text{ unit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{L/hari} &= \text{jumlah AC} \times \text{L/jam} \times \text{waktu operasi} \\ &= 370 \text{ unit} \times 1,6 \text{ L/jam} \times 6,5 \text{ jam/hari} \\ &= 3.802,91 \text{ L/hari}\end{aligned}$$

- AC daya 2 PK

$$\begin{aligned} \text{Jumlah AC} &= \% \text{ daya AC} \times \text{unit AC} \\ &= 25,4\% \times 2.731 \text{ unit} \\ &= 694 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{L/hari} &= \text{jumlah AC} \times \text{L/jam} \times \text{waktu operasi} \\ &= 694 \text{ unit} \times 2,7 \text{ L/jam} \times 6,5 \text{ jam/hari} \\ &= 12.015,24 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas (L/hari)} &= (9.842,46 + 3.802,91 + 12.015,24) \text{ L/hari} \\ &= 25.660,60 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas air buangan AC, didapatkan bahwa kapasitas air buangan AC yang dihasilkan dari pengoperasian AC di Kampus ITS sebesar 25.660,60 L/hari. Kapasitas air buangan AC yang dihasilkan dari pengoperasian AC daya 1 PK, 1,5 PK, dan 2 PK di Kampus ITS sangat memenuhi kebutuhan air minum di Kampus ITS. Kebutuhan air minum sebesar 17.937,5 L/hari dan masih menyisakan air buangan AC sebanyak 7.723,10 L/hari yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan lainnya.

4.4.2 Analisis Pengolahan Air Buangan AC untuk Air Minum

Hasil analisis kualitas air buangan AC menunjukkan adanya parameter air minum yang harus diremoval. Kualitas air buangan AC sebagai air baku air minum masih melebihi batas maksimum persyaratan air minum untuk parameter ammonia dan zat organik. Oleh karena itu, perlu suatu *treatment* untuk meremoval kandungan ammonia dan zat organik pada air buangan AC. Penelitian yang dilakukan oleh Jannatin (2011), reduksi nilai permanganat dilakukan dengan menggunakan arang batok kelapa dengan efisiensi removal sebesar 7,5%-83%. Adsorpsi yang dilakukan memiliki waktu optimum selama 3 jam dengan massa adsorben sebanyak 50 gram/250 mL.

Murti (2013) meremoval ammonia dalam limbah cair industri penyamakan kulit menggunakan karbon aktif dengan efisiensi mencapai 45,72%. Kadar optimum karbon aktif yang digunakan sebesar 2 gram dengan waktu kontak 1 jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Thornton *et al.* (2007) dalam Murti (2013), ammonia dalam larutan berada dalam bentuk ion NH_4^+ pada pH di bawah 8. Adsorpsi ion NH_4^+ menggunakan zeolit dapat terjadi secara optimum saat pH di bawah 8.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, removal ammonia dan zat organik pada air buangan AC direncanakan menggunakan karbon aktif. Perhitungan kebutuhan karbon aktif menggunakan konsentrasi ammonia karena efisiensi removal ammonia yang dibutuhkan lebih besar dibandingkan dengan zat organik. Efisiensi removal yang dibutuhkan yaitu sebesar:

- Parameter ammonia

$$\begin{aligned} \% \text{ Removal} &= \frac{C_{\text{awal}} - C_{\text{baku mutu}}}{C_{\text{awal}}} \times 100\% \\ &= \frac{17,26 - 1,5}{17,26} \times 100\% \\ &= 91,3\% \end{aligned}$$

- Parameter zat organik

$$\begin{aligned} \% \text{ Removal} &= \frac{C_{\text{awal}} - C_{\text{baku mutu}}}{C_{\text{awal}}} \times 100\% \\ &= \frac{20,79 - 10}{20,79} \times 100\% \\ &= 51,9\% \end{aligned}$$

Penelitian yang dilakukan oleh Vassileva *et al.* (2008) menunjukkan bahwa karbon aktif dapat meremoval ammonium dalam air dengan waktu optimum selama 2 jam. Karbon aktif yang digunakan terbuat dari *coal base* dan kinetika adsorpsi yang didapatkan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Konstanta Freundlich (k)} &: 1,61 \text{ mg/g} \\ \text{Angka ketidakinieran (n)} &: 1,69 \\ \text{Regresi (r}^2\text{)} &: 0,991 \end{aligned}$$

Berdasarkan penelitian tersebut, direncanakan air buangan AC yang diolah menyesuaikan kebutuhan air minum di Kampus ITS yaitu sebesar 17.937,50 L/hari. Massa karbon aktif yang dibutuhkan untuk mengolah air buangan AC menjadi air minum adalah:

$$\begin{aligned} \text{- Debit air baku} &= 17.937,50 \text{ L/hari} \\ &= 2,08 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

- k = 1,61 mg/g
- n = 1,69
- Co = 17,26 mg/L (konsentrasi ammonia tertinggi)
- Ce = 1,5 mg/L (baku mutu ammonia)
- EBCT = 120 menit
- ρ_{GAC} = 620 g/L
- Laju adsorpsi = $K \times C_e^{1/n}$
 $= 1,61 \text{ mg/g} \times 1,5 \text{ mg/L}^{1/1,69}$
 $= 2,05 \text{ mg/g}$
- GAC_{UR} = $\frac{C_o - C_e}{K C_e^{1/n}}$
 $= \frac{17,26 - 1,5}{1,61 \times 1,5^{1/1,69}}$
 $= 7,70 \text{ g/L}$
- M_{GAC} = EBCT x Q x ρ_{GAC}
 $= \frac{120 \text{ menit}}{1440 \text{ menit/hari}} \times 17.937,50 \text{ L/hari} \times 620 \text{ g/L}$
 $= 926.770,83 \text{ g}$
- Air terolah = $\frac{M_{GAC}}{GAC_{UR}}$
 $= \frac{926.770,83 \text{ g}}{7,70 \text{ g/L}}$
 $= 120.347,8 \text{ L}$
- Umur pakai = $\frac{\text{Air terolah}}{Q}$
 $= \frac{120.347,8 \text{ L}}{17.937,5 \text{ L/hari}}$
 $= 6,71 \text{ hari}$
- Kebutuhan karbon aktif/bulan dengan asumsi 1 bulan selama 22 hari karena dikurangi dengan hari libur perkuliahan yaitu sabtu dan minggu. Jika direncanakan penggantian karbon aktif setiap 6 bulan sekali, maka kebutuhan karbon aktif selama 6 bulan adalah:

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan karbon aktif/bulan} &= \frac{926.770,83 \text{ g} \times 22 \text{ hari/bulan}}{6,71 \text{ hari}} \\
&= 3.038.917,57 \text{ g/bulan} \\
&= 3.038,92 \text{ kg/bulan} \\
\text{Kebutuhan karbon aktif} &= 3.038,92 \text{ kg/bulan} \times 6 \text{ bulan} \\
&= 18.233,51 \text{ kg} \\
\text{Harga karbon aktif} &= 18.233,51 \text{ kg} \times \frac{\text{Rp } 400.000}{25 \text{ kg}} \\
&= \text{Rp } 291.736.320 \\
\text{Kapasitas pengolahan} &= Q \times \sum \text{hari/bulan} \times \sum \text{bulan} \\
&= 17.937,50 \text{ L/hari} \times 22 \text{ hari/bln} \times 6 \text{ bln} \\
&= 2.367.750 \text{ L}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kebutuhan karbon aktif, massa karbon aktif sebanyak 18.233,51 kg dengan biaya sebesar Rp 291.736.320 dapat mengolah air buangan AC dengan kapasitas pengolahan sebesar 2.367.750 L. Spesifikasi karbon aktif (Gambar 4.16) yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Merk : Hi-Sorb
- Jumlah Iodin : 800-950 mg/g
- Ukuran (mesh) : 6 x 12
- *Fixed carbon* : > 85%
- Kemasan : 25 kg/zak
- Material : *Coal base*



Gambar 4.16 Karbon Aktif (Granular)

Berdasarkan pengolahan yang digunakan, maka biaya produksi air buangan AC ditentukan dengan asumsi biaya lain-lain termasuk biaya jasa dan operasional sebesar 30% dari biaya pengolahan. Biaya produksi air buangan AC ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Biaya pengolahan} &= \text{Rp } 291.736.320 \\
\text{Biaya lain-lain} &= 30\% \times \text{biaya pengolahan} \\
&= 30\% \times \text{Rp } 291.736.320 \\
&= \text{Rp } 87.520.896 \\
\text{Biaya produksi} &= \text{biaya pengolahan} + \text{biaya lain-lain} \\
&= \text{Rp } 291.736.320 + \text{Rp } 87.520.896 \\
&= \text{Rp } 379.257.216
\end{aligned}$$

4.4.3 Analisis Penghematan dari Pemanfaatan Air Buangan AC sebagai Air Minum

Pemanfaatan air buangan AC sebagai air minum ditinjau dari biaya pengolahan yang dibutuhkan dan biaya listrik yang digunakan. Biaya air minum yang dikeluarkan akan dialihkan untuk membayar biaya pengolahan dan sisanya untuk membayar listrik dari AC yang dinyalakan. Diasumsikan kebutuhan air minum untuk civitas akademik di Kampus ITS disediakan dengan menggunakan air minum kemasan galon. Berdasarkan biaya pengolahan, maka didapatkan biaya yang dikeluarkan untuk air minum dalam kemasan galon dan air buangan AC per liter adalah:

$$\begin{aligned}
\text{Harga AMDK galon/L} &= \frac{\text{Rp } 14.000}{19 \text{ L}} \\
&= \text{Rp } 737/\text{L} \\
\text{Harga air buangan AC/L} &= \frac{\text{Rp } 379.257.216}{2.367.750 \text{ L}} \\
&= \text{Rp } 160/\text{L}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa harga air buangan AC yang diolah menjadi air minum lebih murah dibandingkan dengan membeli air minum kemasan galon. Harga air buangan AC sebesar Rp 160/L, sedangkan air minum kemasan galon sebesar Rp 737/L. Penghematan yang didapatkan adalah sebesar Rp 577/L, sehingga penghematan yang didapatkan dari memanfaatkan air buangan AC adalah:

$$\begin{aligned}
\text{Penghematan} &= \text{Kapasitas pengolahan} \times \text{penghematan/L} \\
&= 2.367.750 \text{ L} \times \text{Rp } 577/\text{L} \\
&= \text{Rp } 1.366.191.750
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan penghematan, maka penghematan yang didapatkan dari pemanfaatan air buangan AC nantinya akan digunakan untuk membayar biaya listrik yang digunakan. Tarif listrik yang digunakan pada perhitungan ini menggunakan tarif listrik golongan sosial. Tarif listrik golongan sosial yang digunakan dengan batas daya 3500 VA s/d 200 kVA, dengan tarif listrik sebesar Rp 900/kWh (Lampiran E). Pemilihan batas daya ini disesuaikan dengan penggunaan daya listrik di beberapa jurusan di Kampus ITS.

Perhitungan biaya listrik dihitung berdasarkan daya AC yang digunakan, lama operasi, dan jumlah unit AC yang digunakan. Daya AC 1 PK, 1,5 PK, dan 2 PK adalah sebesar 790 Watt, 1090 Watt, dan 1600 Watt. Contoh perhitungan biaya listrik penggunaan AC daya 1 PK (daya 790 Watt) selama 6 bulan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{kWh/bulan} &= \text{kWh} \times \text{operasi (jam/hari)} \times 22 \text{ hari} \times \text{unit AC} \\
&= 0,79 \text{ kWh} \times 6,5 \text{ jam/hari} \times 22 \text{ hari} \times 1.435 \text{ unit} \\
&= 162.112 \text{ kWh}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Biaya Listrik} &= \text{kWh/bulan} \times \text{tarif listrik} \\
&= 162.112 \text{ kWh} \times \text{Rp } 900/\text{kWh} \\
&= \text{Rp } 3.566.463
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Biaya Listrik selama 6 bulan} &= \text{Rp } 3.566.463 \times 6 \text{ bulan} \\
&= \text{Rp } 21.398.774
\end{aligned}$$

Berdasarkan contoh perhitungan, maka didapatkan hasil perhitungan biaya listrik dan jumlah biaya listrik selama 6 bulan dari penggunaan AC. Hasil perhitungan daya listrik dan biaya listrik dari penggunaan semua unit AC di kawasan Kampus ditampilkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Biaya Listrik Penggunaan AC

Daya AC (PK)	kWh/bulan	Biaya Listrik/Bulan (Rp)	Biaya Listrik 6 Bulan (Rp)
1	162.112	3.566.463	21.398.778
1,5	57.672	1.268.782	7.612.691
2	158.787	3.493.318	20.959.910
Total Biaya Listrik selama 6 Bulan			49.971.379

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat disimpulkan bahwa total biaya listrik yang dibayarkan untuk operasional AC di Kampus yang digunakan selama 6 bulan sebesar Rp 49.917.379. Penggunaan listrik AC daya 1,5 PK lebih rendah dibandingkan dengan AC daya 1 PK dan 2 PK. Hal ini dikarenakan jumlah unit AC daya 1,5 PK lebih sedikit dibandingkan dengan AC daya lainnya yaitu hanya sebanyak 370 unit, sehingga kebutuhan listrik dan biaya listrik yang dibutuhkan juga lebih rendah. Penghematan yang didapatkan dari memanfaatkan air buangan AC untuk air minum selama 6 bulan sebesar Rp 1.366.191.750, sehingga keuntungan yang didapatkan adalah nilai ekonomi setelah dikurangi biaya listrik.

$$\begin{aligned}\text{Keuntungan (6 bulan)} &= \text{penghematan} - \text{biaya listrik} \\ &= \text{Rp } 1.366.191.750 - \text{Rp } 49.917.379 \\ &= \text{Rp } 1.316.220.371\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan keuntungan di atas, didapatkan bahwa keuntungan dari pemanfaatan air buangan AC untuk air minum di Kampus ITS mampu memberikan keuntungan sebesar Rp 1.316.220.371 selama 6 bulan.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari Tugas Akhir ini adalah:

- a. Kuantitas air buangan AC yang dihasilkan berbanding lurus dengan daya AC yang digunakan. Semakin besar daya AC yang digunakan maka kuantitas air buangan AC yang dihasilkan semakin banyak. Air buangan AC yang dihasilkan oleh AC daya 1 PK, 1,5 PK, dan 2 PK adalah 1,1 L/jam, 1,6 L/jam, dan 2,7 L/jam.
- b. Berdasarkan parameter fisik, air buangan AC memiliki konsentrasi di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan. Namun, berdasarkan parameter kimia dan mikrobiologi air minum, air buangan AC memiliki konsentrasi melebihi batas maksimum yang dipersyaratkan yaitu pada kandungan ammonia, zat organik ($KMnO_4$), dan total bakteri *Coliform*.
- c. Nilai ekonomi dari pemanfaatan air buangan AC untuk air minum dengan menggunakan karbon aktif sebesar Rp 1.366.191.750 dengan kapasitas pengolahan sebesar 2.367.750 L. Pengolahan air buangan AC sebagai air minum dapat memberikan penghematan sebesar Rp 577/L dibandingkan dengan menggunakan air minum dalam kemasan galon merk Aqua. Keuntungan yang didapatkan dari pemanfaatan air buangan AC sebesar Rp 1.316.220.371.

5.2 Saran

Saran yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- a. Perlu dilakukan analisis kuantitas air buangan AC untuk AC daya $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ PK.
- b. Perlu adanya perencanaan sistem pengolahan air buangan AC untuk air minum.
- c. Perlu penambahan mineral pada air buangan AC dengan proses remineralisasi.

- d. Perlu dilakukan analisis mengenai kandungan tembaga pada air buangan AC karena evaporator AC umumnya terbuat dari bahan tembaga.
- e. Perlu penerapan aplikasi untuk skala rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, T. Y. 1992. *Polusi Udara dan Kesehatan*. Arcan. Jakarta.
- Al-Farayedhi, A. A., Ibrahim, N. I., Gandhidasan, P. 2014. *Condensate as a Water Source from Vapor Compression Systems in Hot and Humid Regions*. Journal of Desalination 349, 60-67.
- Andhasari, Y. 2011. *Penetapan Kadar Besi Pada Air Reservoir PDAM Tirtanadi Deli Tua Secara Spektrofotometri*. Tugas Akhir. Fakultas Farmasi Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Arjani, I. A. M. S. 2011. *Kualitas Udara dalam Ruang Kerja*. Jurnal Skala Husada 8, 178-183.
- Arora, C. P. 2000. *Refrigeration and Air Conditioning Second Edition*. Tata McGraw-Hill Publishing Company. Washington.
- Asmawi, I., Shofyan, M. 2011. *Modifikasi Split Air Conditioning sebagai Unit Dehumidifier dengan Udara Suplai 50°C (DB) 20% RH*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Badan Pusat Statistik. 2014. *Surabaya Dalam Angka 2014*. From <http://surabayakota.bps.go.id/e-publikasi/file/PB-201400065> diakses pada 2 Januari 2015.
- Benefield, L. D. 1982. *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- Chua, K. J., Chou, S. K., Yang, W. M., Yan, J. 2013. *Achieving Better Energy-Efficient Air Conditioning - A Review of Technologies and Strategies*. Journal of Applied Energy 104, 87-104.
- Clus, O., Ortega, P., Muselli, M., Milimouk, I., Beysens, D. 2008. *Study of Dew Water Collection in Humid Tropical Islands*. Journal of Hydrology 361, 159-171.
- Dongmei, P., Shiming, D., Zhongping, L., Ming-yin, C. 2013. *Air Conditioning for Sleeping Environments in Tropics and/or Sub-Tropics – A Review*. Journal of Energy 51, 18-26.
- Droste, R. L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley and Sons Inc. New York.

- Dutton, S. M., Fisk, W. J. 2014. *Energy and Indoor Air Quality Implications of Alternative Minimum Ventilation Rates in California Offices*. Journal of Building and Environment 82, 121-127.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan Cetakan Kelima*. Kanisius. Yogyakarta
- Falah, L. M. 2009. *Pembuatan AQUADM (Aquademineralized) dari Air AC (Air Conditioner) Menggunakan Resin Kation dan Anion*. Tugas Akhir. Jurusan Kimia. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Fardiaz, S. 1993. *Analisis Mikrobiologi Pangan*. IPB Press. Bogor.
- Fitria, L. 2008. *Kualitas Udara dalam Ruang Perpustakaan Universitas "X" ditinjau dari Kualitas Biologi, Fisik, dan Kimiawi*. Jurnal Kesehatan 12, 76-82.
- Foster, J. R., Pribush, R. A., Carter, B. H. 1990. *The Chemistry of Dew and Frost in Indianapolis, Indiana*. Journal of Atmospheric Environment 24, 2229-2236.
- Gendel, Y., Lahav, O. 2013. *A Novel Approach for Ammonia Removal from Fresh-Water Recirculated Aquaculture Systems, Comprising Ion Exchange and Electrochemical Regeneration*. Journal of Agricultural Engineering 52, 27-38.
- Hariadi. 2005. *Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Erlangga. Jakarta.
- Hidayati, P. 2013. *Pengaruh Setting Temperatur terhadap Kinerja AC Split*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Konversi Energi. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Jannatin, R. D. 2011. *Uji Efisiensi Removal Adsorpsi Arang Batok Kelapa untuk Mereduksi Warna dan Permanganat Value dari Limbah Cair Industri Batik*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Jarnstrom, H. 2008. *Reference Values for Building Material Emissions and Indoor Air Quality in Residential Buildings*. Journal of VTT Publications 672, 63-73.
- Kulshrestha, S. K. 1989. *Termodinamika Terpakai, Teknik Uap dan Panas*. Alih Bahasa Budiardjo, I Made Kartika D., Budiardo. UI Press. Jakarta.

- Kurniawan, B. G. 2012. *Karakteristik Pengkondisian Udara Menggunakan Heat Pipe dengan Variasi Temperatur Inlet Ducting dan Jumlah Heat Pipe*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Depok.
- Lekouch, I., Mileta, M., Muselli, M., Melnytchouk, I. M., Sojat, V., Kabbachi, B., Beysens, D. 2010. *Comparative Chemical Analysis of Dew and Rain Water*. Journal of Atmospheric Research 95, 224-234.
- Lekouch, I., Muselli, M., Kabbachi, B., Ouazzani, J., Milimouk, I. M., Beysens, D. 2011. *Dew, Fog, and Rain as Supplementary Sources of Water in South-Western Morocco*. Journal of Energy 36, 2257-2265.
- Lesmana, A. 2014. *Analisis Pemanfaatan dan Nilai Ekonomi Air Buangan Pendingin Ruang (Air Conditioner) di Fakultas Ekonomi dan Manajemen*, Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan. Fakultas Ekonomi dan Manajemen. Institut Pertanian Bogor.
- Letterman, R. D. 1999. *Water Quality and Treatment Fifth Edition*. McGraw Hill. Washington.
- Mahvi, A. H., Alipour, V., Rezaei, L. 2013. *Atmospheric Moisture Condensation to Water Recovery by Home Air Conditioners*. American Journal of Applied Sciences 10, 917-923.
- McGill, G., Oyedele, L. O., McAllister, K. 2015. *Case Study Investigation of Indoor Air Quality in Mechanically Ventilated and Naturally Ventilated UK Social Housing*. International Journal of Sustainable Built 73, 20.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2010. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*.
- Mulawa, A. P., Cadle, S. H., Lipari, F., Ang, C. C., Vandervennet, R. T. 1986. *Urban Dew: Its Composition and Influence on Dry Deposition Rates*. Journal of Atmospheric Environment 20, 1389-1396.
- Murti, R. S. 2013. *Adsorpsi Ammonia dari Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Abu Terbang Bagas*. Jurnal Penelitian Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik 29, 85-90.

- Muselli, M., Beysens, D., Mileta, M., Milimouk, I. 2009. *Dew and Rain Water Collection in the Dalmatian Coast, Croatia*. Journal of Atmospheric Research 92, 455-463.
- Primadani, K. 2011. *Pengolahan Air Baku dari Kalimas Surabaya dengan Roughing Filter dan Slow Sand Filter*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Reynolds, T. D., Richards, P. A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering 2nd Edition*. PWS Publishing Company. Boston.
- Salem, M. G., El-Awady, M. H., Ammin, E. 2012. *Enhanced Removal of Dissolved Iron and Manganese from Nonconventional Water Resources in Delta District, Egypt*. Journal of Energy Procedia 18, 983-993.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., Parkin G. F. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science 5th*. McGraw Hill. Washington.
- Senitkova, I. 2014. *Impact of Indoor Surface Material on Perceived Air Quality*. Journal of Materials Science and Engineering C 36, 1-6.
- Stoecker, W. F., Jones, J. W. 1989 . *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara Edisi ke-2*. Alih bahasa Ir. Supratman Hara. Erlangga. Jakarta.
- Vassilena, P., Tzvetkova, P., Nickolov, R. 2008. *Removal of Ammonium Ions from Aqueous Solutions with Coal-Based Activated Carbons Modified by Oxidation*. Journal of Fuel 88, 387-390.
- Viana, M., Rivas, I., Querol. X., Alastuey, A., Pedrerol, M. A., Bouso, L. Sioutas, C., Sunyer, J. 2015. *Partitioning of Trace Elements and Metals Between Quasi-Ultrafine, Accumulation and Coarse Aerosols in Indoor and Outdoor Air in Schools*. Journal of Atmospheric Environment 106, 392-401.
- Volk, W. A., Wheeler. 1988. *Mikrobiologi Dasar Jilid I Edisi Kelima*. Diterjemahkan oleh Markham. Erlangga. Jakarta.
- Wulandari, E. 2013. *Faktor yang Berhubungan dengan Keberadaan Streptococcus di Udara pada Rumah Susun*

Kelurahan Bandarharjo Kota Semarang. Journal of Public Health 2, 4.

Zhuang, X., Wu, C. 2014. *Saving Energy when Using Air Conditioners in Offices-Behavioral Pattern and Design Indications. Journal of Energy and Building 76, 661-668.*

Lampiran A : Kuesioner

KUISSIONER PENELITIAN POTENSI AIR BUANGAN AC UNTUK AIR MINUM (TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN ITS SURABAYA)

Nama Responden :
Umur Responden : tahun
Alamat :
Status Responden : Dosen / Karyawan / Mahasiswa (*)
Jenis Kelamin : L / P (*)

Pemanfaatan air buangan AC merupakan salah satu bentuk pemanfaatan sumberdaya air. Jika air buangan AC ini dimanfaatkan, maka akan ada penghematan dan keuntungan dari pemanfaatannya. Selain itu, air buangan AC tidak akan terbuang percuma. Air buangan AC memiliki kualitas yang cukup bagus sehingga dapat dimanfaatkan sebagai air baku untuk air minum dengan melalui suatu *treatment* atau pengolahan sederhana.

1. Apakah saudara mengetahui tentang air buangan AC?
 - a. Sangat Tahu
 - b. Tahu
 - c. Tidak tahu
2. Apakah saudara mengetahui air buangan AC masih dapat dimanfaatkan kembali?
 - a. Sangat Tahu
 - b. Tahu
 - c. Tidak tahu
3. Apakah saudara memanfaatkan kembali air buangan AC untuk suatu keperluan?
 - a. Selalu
 - b. Hampir tidak pernah
 - c. Tidak pernah
4. Jika saudara memiliki AC, apakah saudara menampung air buangan AC tersebut?
 - a. Selalu

- b. Hampir tidak pernah
 - c. Tidak pernah
5. Apakah saudara mengetahui bahwa air buangan AC memiliki kualitas yang cukup baik?
- a. Sangat Tahu
 - b. Tahu
 - c. Tidak tahu
6. Jika air buangan AC dimanfaatkan sebagai air minum (dengan suatu pengolahan), apakah saudara bersedia mengkonsumsi air tersebut?
- a. Sangat bersedia
 - b. Bersedia
 - c. Tidak bersedia

(*) *coret yang tidak perlu*

Lampiran B : Metode Analisis

1. Analisis Warna

Alat dan Bahan

- a. *Beaker glass*
- b. Spektrofotometer

Prosedur Analisis

- a. Buat kalibrasi warna dengan membaca larutan standar pada spektrofotometer dengan panjang gelombang optimum (380 nm).
- b. Gunakan aquadest sebagai blanko, dan catat adsorbansinya.
- c. Catat adsorbansinya
- d. Hitung konsentrasi warna sampel dengan membandingkan dengan hasil kalibrasi warna.

2. Analisis Total Zat Padat Terlarut

Alat dan Bahan

- a. pH ion Lab tipe EC 10
- b. *Beaker Glass* 50 ml
- c. Aquades

Prosedur Analisis

- a. Siapkan 25 ml sampel dalam beaker glass 50 ml
- b. Membersihkan alat ion-pH lab dengan aquades dan menggunakan *tissue*.
- c. Mencelupkan alat ion-pH lab yang telah di *setting* untuk mengukur TDS.

3. Prosedur Analisis Kekeruhan

Alat dan Bahan

- a. Spektrofotometer
- b. *Beaker glass* 50 ml
- c. Aquades

Prosedur Analisis

- a. Siapkan 25 ml sampel dalam beaker glass 50 ml
- b. Tuangkan pada kuvet dan bersihkan kuvet menggunakan *tissue*.
- c. Baca kekeruhan sampel pada turbidimeter.

4. Analisis Besi

Alat dan Bahan

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| a. Larutan Hidroxylamin | e. Spektrofotometer dan kuvet |
| b. Larutan HCl pekat | f. Erlenmayer 100 ml |
| c. Larutan Amonium Acetate Buffer | g. Pipet 5 ml |
| d. Larutan Phenanthroline | h. Pemanas listrik. |

Prosedur Analisis

- Siapkan 25 ml sampel air ke dalam Erlenmeyer dan air aquadest (sebagai blanko)
- Tambahkan masing-masing 1 ml HCl pekat.
- Tambahkan masing-masing 0,5 ml Hydroxylamine ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$).
- Panaskan hingga volume menjadi $\pm 15\text{-}20$ ml (ini khusus untuk sampel air saja).
- Dinginkan dan encerkan dengan aquadest hingga volume mencapai 25 ml dalam labu ukur.
- Tambahkan 5 ml larutan Amonium Acetat Buffer pada masing-masing erlenmayer.
- Tambahkan pada masing-masing erlenmayer 2 ml larutan Phenanthroline Monohydrate.
- Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 nm dan hitung hasil absorbansi pada rumus hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi

5. Analisis Kesadahan Total

Alat dan Bahan

- | | |
|------------------------|----------------------|
| a. Bubuk indicator EBT | e. Erlenmeyer 100 ml |
| b. Larutan pH 10 | f. Pipet 10 ml |
| c. Larutan EDTA 0,01 N | |
| d. Buret 25 ml | |

Prosedur Analisis

- Tambahkan satu spatula ($\pm 0,5$ gr) indikator Eriochrom Black T.
- Tambahkan 2 ml larutan buffer pH 10 dan kocok hingga merata.
- Titration dengan larutan EDTA 0,03571 N sampai warna ungu berubah menjadi biru.
- Hitung kesadahan total dengan rumus berikut:

$$\text{Kesadahan Total (mg CaCO}_3\text{/L)} = \frac{A \times B \times 1000}{\text{volume sampel}} \times 50 \times f$$

Dimana: A = ml titrasi EDTA

B = N EDTA

f = faktor koreksi EBT

6. Analisis Klorida

Alat dan Bahan

- | | |
|---|---------------------------|
| a. Larutan Perak Nitrat (AgNO ₃) 0,0141 N | c. Buret 25 ml atau 50 ml |
| b. Larutan Potassium Kromat | d. Erlenmayer 100 ml |
| | e. Pipet 10 ml |

Prosedur Analisis

- Tuangkan 25 ml sampel air ke dalam erlenmayer 100 ml.
- Tambahkan 0,5 ml indikator Potassium Kromat dan kocok hingga merata.
- Titration dengan larutan AgNO₃ 0,0141 N hingga timbul warna kemerah-merahan yang pertama.
- Hitung kadar Klorida menggunakan rumus berikut:

$$\text{Klorida (mg/L)} = \frac{(A-B)}{\text{vol.sampel}} \times N \times 35.450 \times f$$

Dimana: A = ml titrasi sampel

B = ml titrasi blanko

N = normalitas AgNO₃

f = faktor koreksi AgNO₃

7. Analisis pH

Alat dan Bahan

- pH meter
- Beaker Glass 100 ml
- Aquades

Prosedur Analisis

- a. Siapkan sampel 25 ml dalam beaker glass
- b. Membersihkan ujung alat pH meter dengan aquades dan diusap menggunakan *tissue*.
- c. Mencelupkan pH meter ke dalam sampel.

8. Analisis Sulfat

Alat dan Bahan

- | | |
|---|----------------------|
| a. Larutan salt acid | c. Spektrofotometer |
| b. Kristal Barium Klorida ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) | d. Erlenmeyer 100 ml |
| | e. Pipet 10 ml |

Prosedur Analisis

- a. Siapkan erlenmeyer 100 ml, isi masing-masing dengan sampel air dan air aquades (sebagai blanko) sebanyak 25 ml.
- b. Tambah 2,5 ml larutan salt acid
- c. Tambah 1 sendok atau spatula kristal Barium Klorida ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- d. Aduk dan biarkan selama 4 menit.
- e. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 420 μm .
- f. Hasil absorpsi dibaca pada hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi.

9. Analisis Ammonia

Alat dan Bahan

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| a. Larutan Garam signet | c. Spektrofotometer dan kuvet |
| b. Larutan Nessler | d. Erlenmeyer 100 ml |
| | e. Pipet 10 ml |

Prosedur Analisis

- a. Siapkan erlenmeyer 100 ml, isi masing-masing dengan sampel air dan air aquadest (sebagai blanko) sebanyak 25 ml.
- b. Tambah 1 ml larutan Nessler.
- c. Tambah 1,25 ml garam Signet.
- d. Aduk dan biarkan selama 10 menit.
- e. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 410 nm.

- f. Hasil absorbansi dibaca pada hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi.

10. Analisis Zat Organik

Alat dan Bahan

- | | |
|---|----------------------|
| a. Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) 4 N bebas organik. | d. Pemanas Listrik |
| b. Larutan Asam Oksalat 0,1 N | e. Buret 25 ml |
| c. Larutan $KMnO_4$ 0,01 N | f. Erlenmeyer 250 ml |
| | g. Gelas ukur 100 ml |
| | h. Pipet 10 ml |

Prosedur Percobaan

- Tuangkan sampel air sebanyak 100 ml dengan gelas ukur.
- Tambahkan 2,5 ml Asam Sulfat 4 N bebas organik.
- Tambahkan beberapa tetes larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N hingga terjadi warna merah muda.
- Panaskan hingga mendidih selama 1 menit.
- Tambahkan 10 ml larutan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N.
- Panaskan hingga mendidih selama 10 menit.
- Tambahkan 1 ml larutan Asam Oksalat 0,1 N dan tunggu sampai air menjadi jernih.
- Titrasasi dengan Kalium Permanganat ($KMnO_4$) 0,01 N sampai timbul warna merah muda.
- Hitung nilai Permanganat dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{mg/L} = \frac{1000}{\text{vol.sampel}} [\{ (10 + a) \times N \} - (1 \times 0,1)] \times 31,6 \times P \times f$$

Dimana: a = ml titrasi $KMnO_4$
 N = normalitas $KMnO_4$
 P = pengenceran
 f = faktor koreksi

11. Analisis Total Bakteri Koliform

Alat dan Bahan

- | | |
|------------------|----------------|
| a. Tabung reaksi | c. Neraca |
| b. Tabung Durham | d. Pipet 10 ml |

- e. Labu takar
- f. Inkubator (21 °C)
- g. Kapas
- h. Pembakar spirtus
- i. *Lactose Broth*
- j. Aquades

Pembuatan Media *Total coliform*

- a. Ditimbang 13 gram medi *Lactose Broth* dimasukkan dalam wadah gelas piala dilarutkan dengan 1000 ml aquades. Dipipet masing-masing 10 ml ke dalam tabung reaksi.
- b. Dimasukkan 1 tabung durham secara terbalik ke dalam tiap tabung.
- c. Ditutup mulut tabung reaksi disumbat dengan kapas, dan sumbat tersebut harus sedemikian kuat sehingga dapat dicabut dari tabungnya dengan menggunakan kelingking.
- d. Dimasukkan tabung-tabung tersebut ke dalam beaker glass, ditutup bagian atasnya dengan kertas kemudian diikat erat-erat dengan karet.
- e. Media siap untuk disterelisasi.

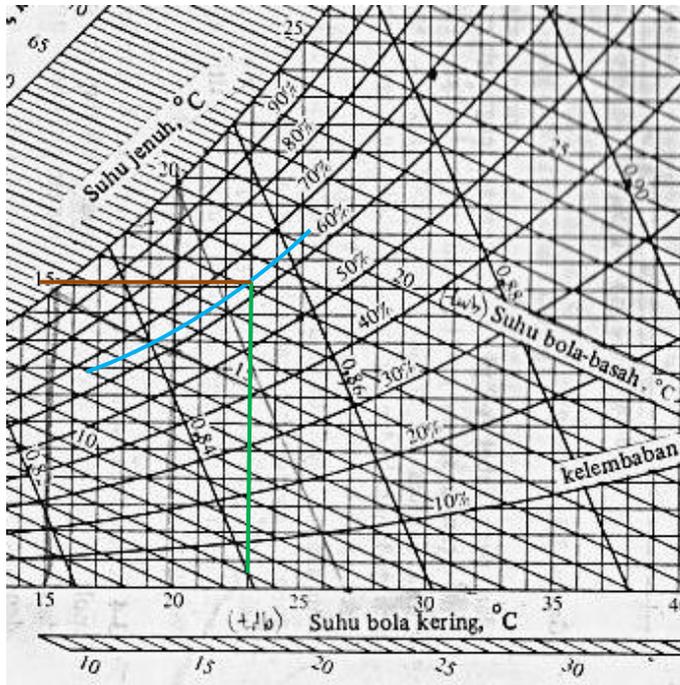
Uji Presumtif

- a. Pengerjaan contoh dilakukan secara aseptik, dengan cara didekatkan dengan api.
- b. Dipipet contoh masing-masing 10 ml ke dalam tabung medium.
- c. Dipipet contoh masing-masing 1 ml ke dalam tabung medium.
- d. Dipipet contoh masing-masing 0,1 ml ke dalam tabung medium.
- e. Tabung digoyang-goyangkan sehingga contoh tercampur dengan medium secara merata.
- f. Inkubasi semua tabung pada suhu 21°C selama 24 jam.
- g. Dicatat tabung-tabung yang menunjukkan reaksi positif, yaitu terbentuk asam dan gelembung gas.
- h. Tabung-tabung yang belum menunjukkan adanya gelembung gas diinkubasikan kembali pada suhu 21°C selama 24 jam.
- i. Dihitung jumlah *Total coliform* per 100 ml contoh dengan menggunakan daftar Jumlah Perkiraan Terdekat (JPT).

Lampiran C : Contoh perhitungan kelembaban udara dan suhu titik embun menggunakan grafik psikrometri

Tentukan nilai suhu titik embun pada udara dengan kelembaban relatif sebesar 60% dan suhu ruangan sebesar 23 °C.

Penyelesaian :



- = suhu ruangan = 23 °C
- = kelembaban udara = 60%
- = suhu titik embun = 14,8 °C

“halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran D : Kurva Kalibrasi

Tabel D.1 Hasil Kalibrasi Ammonia

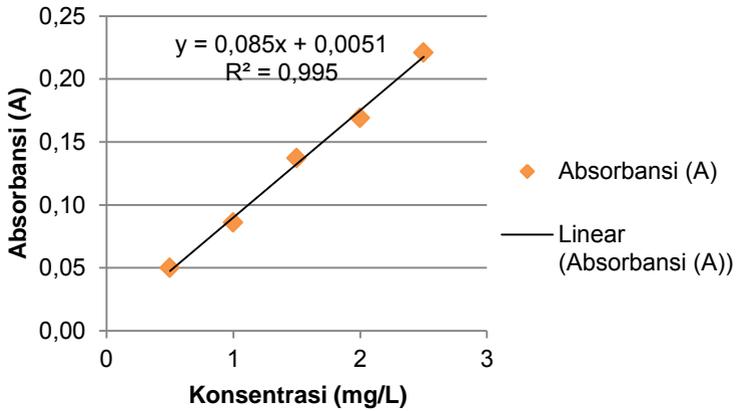
Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0,5	0,050
1	0,086
1,5	0,137
2	0,169
2,5	0,221

Tabel D.2 Hasil Kalibrasi Besi

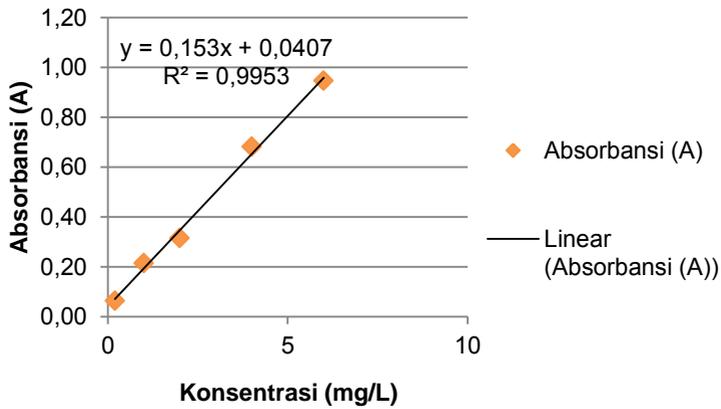
Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
0,2	0,064
1	0,215
2	0,316
4	0,682
6	0,946

Tabel D.3 Hasil Kalibrasi Sulfat

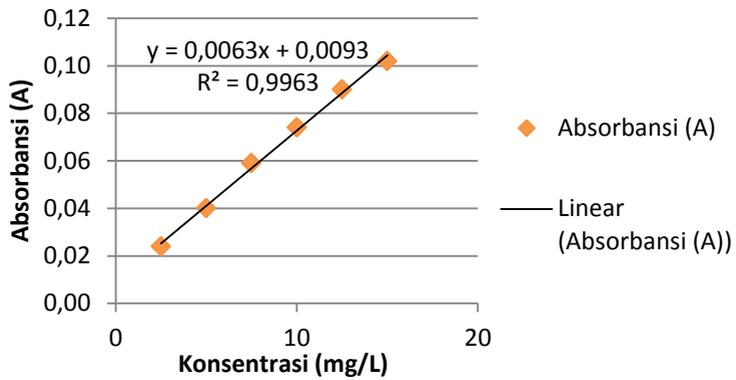
Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi (A)
2,5	0,024
5	0,040
7,5	0,059
10	0,074
12,5	0,090
15	0,102



Gambar D.1 Kurva Kalibrasi Ammonia



Gambar D.2 Kurva Kalibrasi Besi



Gambar D.3 Kurva Kalibrasi Sulfat

“halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran E : Data Primer dan Sekunder

Tabel E.1 Data Pengukuran Kuantitas Air Buangan AC Pertama

Sampel	Suhu udara (°C)	RH (%)	Suhu Udara Rata-Rata (°C)	RH Rata-Rata (%)	Suhu Titik Embun (°C)	Tu-Te (°C)	Volume (L)
Da 1	26,4	56,2	25,2	55,4	15,9	9,3	7,65
	24,0	60,3					
	25,1	49,7					
Da 1,5	25,3	57,1	27,1	57,9	18,1	9,0	10,70
	28,7	50,8					
	27,3	65,9					
Da 2	23,2	53,8	25,5	58,9	16,5	9,0	21,65
	28,7	55,2					
	24,7	67,8					
Lg 1	25,7	62,2	26,4	62,9	18,6	7,8	9,65
	27,5	70,5					
	26,1	55,9					
Lg 1,5	28,4	71,8	26,6	64,4	19,5	7,1	15,40
	25,1	69,5					
	26,3	51,9					

Tabel E.1 Data Pengukuran Kuantitas Air Buangan AC Pertama

Sampel	Suhu udara (°C)	RH (%)	Suhu Udara Rata-Rata (°C)	RH Rata-Rata (%)	Suhu Titik Embun (°C)	Tu-Te (°C)	Volume (L)
Lg 2	25,2	65,1	26,5	56,5	17,1	9,4	20,90
	28,1	45,5					
	26,1	58,9					
Pa 1	27,6	45,3	26,2	53,3	15,6	10,6	7,50
	24,5	59,5					
	26,4	55,1					
Pa 1,5	26,2	66,7	26,5	55,9	16,2	10,3	11,80
	27,5	47,9					
	25,7	53,2					
Pa 2	24,8	48,7	25,9	58,7	17,3	8,6	21,90
	26,9	68,2					
	25,9	59,3					

Tabel E.2 Data Pengukuran Kuantitas Air Buangan AC Kedua

Sampel	Suhu udara (°C)	RH (%)	Suhu Udara Rata-Rata (°C)	RH Rata-Rata (%)	Suhu Titik Embun (°C)	Tu-Te (°C)	Volume (L)
Da 1	24,3	61,9	25,5	59,2	17,2	8,3	8,35
	26,9	65,6					
	25,4	50,2					
Da 1,5	26,2	46,5	25,7	54,8	15,8	9,9	10,30
	27,9	67,5					
	23,1	50,3					
Da 2	24,4	62,4	24,8	53,4	14,8	10,0	19,70
	28,1	50,5					
	21,9	47,3					
Lg 1	20,9	71,7	23,9	63,6	16,9	7,0	10,35
	26,8	55,7					
	23,9	63,5					
Lg 1,5	25,2	71,3	25,6	65,1	18,4	7,2	14,95
	28,0	64,9					
	23,5	59,1					
Lg 2	24,7	67,2	24,0	60,9	13,1	10,9	19,45
	27,3	53,6					
	20,1	61,8					

Tabel E.2 Lanjutan

Sampel	Suhu udara (°C)	RH (%)	Suhu Udara Rata-Rata (°C)	RH Rata-Rata (%)	Suhu Titik Embun (°C)	Tu-Te (°C)	Volume (L)
Pa 1	25,2	56,7	24,4	56,8	15,5	8,9	7,15
	26,0	66,5					
	22,1	47,1					
Pa 1,5	27,8	55,8	26,5	57,1	17,3	9,2	12,75
	26,7	50,1					
	25,0	65,3					
Pa 2	25,8	53,7	25,3	62,2	17,7	7,7	24,25
	28,0	68,7					
	22,1	64,3					

Tabel E.3 Data Hasil Kuesioner

Responden	Bersedia	Tidak bersedia	Bersedia	Tidak bersedia
Dosen	4	3	57,1%	42,9%
Karyawan	10	5	66,7%	33,3%
Mahasiswa	50	28	64,1%	35,9%
Total	64	36	62,6%	37,4%

Tabel E.4 Persentase Unit AC Beberapa Jurusan di Kampus ITS

Daya AC (PK)	Jumlah	Persentase (%)
$\frac{3}{4}$	10	8,5
1	62	52,5
1,5	16	13,6
2	30	25,4
Jumlah	118	100

Tabel E.5 Data Ruang Kelas dan Jam Kuliah

Jurusan	Ruang	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Geomatika	GM 101	10	10	10	7	4
	GM 102	10	10	10	10	5
	GM 103	7	10	10	8	3
	GM 104	10	10	10	7	5
	GM 105	7	10	10	10	4
Teknik Industri	TI 101	8	7	8	8	8
	TI 102	8	8	9	5	8
	TI 103	6	8	6	3	6
	TI 104	5	6	8	4	6
	ID 101	8	5	6	6	5
	ID 102	8	5	7	6	0
	ID 103	6	2	7	5	3
	ID 104	9	8	8	6	4
	ID 105	8	8	8	8	5
	Teknik Kimia	O 104	10	7	7	7
O 105		10	7	6	5	3
O 106		7	7	7	10	5
O 107		7	10	8	10	3
	O 108	7	10	10	10	5

Tabel E.5 Lanjutan

Jurusan	Ruang	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Teknik Kimia	O 101	10	10	10	7	5
	O 102	10	10	10	10	5
	O 103	10	10	10	7	5
	E 101	7	8	9	6	4
	E 102	8	5	6	5	3
	E 103	3	3	3	0	5
	E 104	7	9	5	3	5
	E 105	4	6	4	4	4
	E 106	8	9	4	9	5
	E 107	8	3	4	6	4
	E 108	5	7	5	8	4
	E 109	3	9	6	6	4
	E 110	6	9	6	4	5
	E 111	3	8	9	6	5
Teknik Elektro	E 112	6	4	4	9	4
	E 113	3	5	3	4	5
	C 101	6	3	4	5	5
	C 102	6	5	4	4	4
	C 103	8	8	8	5	5
	C 104	9	9	9	9	2
	C 106	5	6	3	5	5
	C 107	6	4	3	2	5
	C 108	4	5	5	3	4
	C 109	5	4	4	4	4
	C 110	4	4	4	4	3
C 111	3	2	3	8	4	

Tabel E.5 Lanjutan

Jurusan	Ruang	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Teknik Lingkungan	TL 101	10	10	10	10	7
	TL 102	10	10	10	10	7
	TL 103	6	6	0	10	0
	TL 104	10	10	10	10	7
	TL 105	10	10	10	10	4
	TL 106	10	10	10	10	3
Teknik Industri	TI 101	8	7	8	8	8
	TI 102	8	8	9	5	8
	TI 103	6	8	6	3	6
	TI 104	5	6	8	4	6
	ID 101	8	5	6	6	5
	ID 102	8	5	7	6	0
	ID 103	6	2	7	5	3
	ID 104	9	8	8	6	4
	ID 105	8	8	8	8	5
Rata-Rata		7,1	7,2	6,9	6,6	4,5
Rata-Rata per Minggu				6,5		

Tabel E.6 Tabel MPN

Jumlah Tabung (+) Gas			Index MPN per 100 ml	Jumlah Tabung (+) Gas			Index MPN per 100 ml
10 ml	1 ml	0,1 ml		10 ml	1 ml	0,1 ml	
0	0	0	< 2	4	2	1	26
0	0	1	2	4	3	0	27
0	1	0	2	4	3	1	33
0	2	0	4	4	4	0	34
1	0	0	2	5	0	0	23
1	0	1	4	5	0	1	31
1	1	0	4	5	0	2	43
1	1	1	6	5	1	0	33
1	2	0	6	5	1	1	46
2	0	0	5	5	1	2	63
2	0	1	7	5	2	0	49
2	1	0	7	5	2	1	70
2	1	1	9	5	2	2	94
2	2	0	9	5	3	0	79
2	3	0	12	5	3	1	110
3	0	0	8	5	3	2	140
3	0	1	11	5	3	3	180
3	1	0	11	5	4	0	130
3	1	1	14	5	4	1	170
3	2	0	14	5	4	2	220
3	2	1	17	5	4	3	280
3	3	0	17	5	4	4	350
4	0	0	13	5	5	0	240
4	0	1	17	5	5	1	350
4	1	0	17	5	5	2	540
4	1	1	21	5	5	3	920
4	1	2	26	5	5	4	1600
4	2	0	22	5	5	5	2400



DATA ANALISA

Nomor Laboratorium : 001/A/III/2014

Lampiran - I

Nama Pemilik : Siti Rohmah (Teknik Lingkungan ITS)

No	Kode Sample	Nama Sample	Parameter	Hasil Pengujian (ppm)
1	LL - 0022	Da 1.5	Pb	0
2		LG I		0
3		P2		0
4		L6 1.5		0

KETERANGAN :

Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima laboratorium Lingkungan Pusat Studi PLH LPPM-ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum

Surabaya, 27 MAR 2015
Kepala Laboratorium Lingkungan
Pusat Studi PLH LPPM-ITS

Dr. Widiyastuti, ST, MT
NIP. 1975 0306 2002 122 002



DATA ANALISA

Nomor Laboratorium : 002/A/III/2014

Lampiran - II

Nama Pemilik : Siti Rohmah (Teknik Lingkungan ITS)

No	Kode Sample	Nama Sample	Parameter	Hasil Pengujian (ppm)
1	LL - 0023	Da 1	Pb	0,05
2		Da 2		0
3		LG 1		0
4		Pa 1		0
5		Pa 1.5		0

KETERANGAN :

Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima laboratorium Lingkungan Pusat Studi PLH LPPM-ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum

Surabaya, 27 MAR 2015
Kepala Laboratorium Lingkungan
Pusat Studi PLH LPPM-ITS

Dr. Widiyastuti, ST, MT \$
NIP. 1975 0306 2002 122 002



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nomor : 004/A/IV/2015
Nama Pemilik : SITI ROHMAH (Teknik Lingkungan ITS)

No	Kode Sample	Nama Sample	Parameter	Hasil Pengujian (mg/L)
1	LL - 0025	Da1 (1)	Pb	0
2		Da1 (2)		0

KETERANGAN :

Hasil analisis ini mengacu pada sampel yang diterima laboratorium Lingkungan LPPM-ITS dan tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Surabaya, 21 April 2015
Analisis Laboratorium Lingkungan LPPM-ITS

Winarni



PT PLN (PERSERO)

Jalan Trunojoyo Blok M 1/135 Kebayoran Baru - Jakarta 12160

Telp. : (021) 7261875, 7261122, 7262234
(021) 7251234, 7250550

Kotak Pos : 4322/KBB

Faximile : (021) 7221330

Alamat Kawat : PLNPST

PENETAPAN PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT) BULAN APRIL 2015

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.352,00	1.352,00
3.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.465,89	1.465,89
4.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.465,89	1.465,89
5.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.465,89	1.465,89
6.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 1.055,47$ Blok LWBP = $1.055,47$ kVArh = $1.135,93$ ****)	-
7.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 1.055,47$ Blok LWBP = $1.055,47$ kVArh = $1.135,93$ ****)	-
8.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = $991,60$ kVArh = $991,60$ ****)	-
9.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.465,89	1.465,89
10.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times 1.055,47$ Blok LWBP = $1.055,47$ kVArh = $1.135,93$ ****)	-
11.	P-3/TR		*)	1.465,89	1.465,89
12.	L/TR, TM, TT		-	1.542,84	-

Catatan :

*) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.

***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):

RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.

Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.

*****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).

K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

LAMPIRAN I
 PERATURAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
 REPUBLIK INDONESIA
 NOMOR 31 TAHUN 2014
 TENTANG
 TARIF TENAGA LISTRIK YANG DISEDIAKAN OLEH
 PERUSAHAAN PERSEROAN (PERSERO) PT PERUSAHAAN
 LISTRIK NEGARA

TARIF TENAGA LISTRIK UNTUK KEPERLUAN PELAYANAN SOSIAL

NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	S-1/TR	220 VA	-	Abonemen per bulan (Rp) : 14.800	-
2.	S-2/TR	450 VA	10.000	Blok I : 0 s.d. 30 kWh : 123 Blok II : di atas 30 kWh s.d. 60 kWh : 265 Blok III : di atas 60 kWh : 360	325
3.	S-2/TR	900 VA	15.000	Blok I : 0 s.d. 20 kWh : 200 Blok II : di atas 20 kWh s.d. 60 kWh : 295 Blok III : di atas 60 kWh : 360	455
4.	S-2/TR	1.300 VA	*)	708	708
5.	S-2/TR	2.200 VA	*)	760	760
6.	S-2/TR	3.500 VA s.d. 200 kVA	*)	900	900
7.	S-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = $K \times P \times 735$ Blok LWBP = $P \times 735$ kVArh = 925 **)	-

Catatan :
 *) Diterapkan Rekening Minimum (RM) :
 $RM1 = 40$ (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.
 **) Diterapkan Rekening Minimum (RM) :
 $RM2 = 40$ (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian Blok LWBP.
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
 ***) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).
 K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.
 P : Faktor pengali untuk pembeda antara S-3 bersifat sosial murni dengan S-3 bersifat sosial komersial. Untuk pelanggan S-3 yang bersifat sosial murni P = 1.
 Untuk pelanggan S-3 yang bersifat sosial komersial P = 1,3.
 Kategori S-3 bersifat sosial murni dan S-3 bersifat sosial komersial ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara dengan mempertimbangkan kemampuan bayar dan sifat usahanya.
 WBP : Waktu Beban Puncak.
 LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
 REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

SUDIRMAN SAID

Sesuai dengan aslinya
 KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL
 Kepala Biro Hukum,



“halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran F : Dokumentasi Penelitian



Gambar Air Buangan AC yang Terbuang



Gambar Penampungan Air Buangan AC



Gambar Sampling Air Buangan AC



Gambar Sampel Air Buangan AC



Gambar Pembuatan Media LB



Gambar Analisis TDS



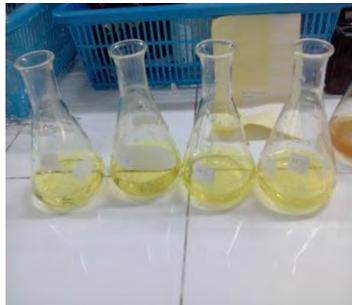
Gambar Analisis Kekeruhan



Gambar Analisis Kesadahan



Gambar Analisis Klorida



Gambar Analisis Ammonium



Gambar Pembuatan Kurva Kalibrasi Besi



Gambar Pembuatan Kurva Kalibrasi Sulfat



Gambar Analisis pH



Gambar Analisis Besi



Gambar Ruang Ber-AC



Gambar Pengukuran RH dan Suhu Ruang

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Siti Rohmah lahir di Surabaya 12 September 1993. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Al-Hikmah, SMP Dewantara, SMAN 21 Surabaya, dan melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS dan terdaftar dengan NRP 3311100054. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif sebagai staff lembaga Dakwah Jurusan pada periode 2012/2013, staff lembaga Dakwah Jurusan pada periode 2013/2014, dan sebagai asisten laboratorium Teknik Analisis Pencemar Lingkungan. Penulis pernah mengikuti pelatihan *Understanding and Implementing Based on ISO 14001:2004*. Penulis juga aktif pada kegiatan kepanitiaan di berbagai kegiatan HMTL, fakultas, maupun institut. Segala kritik dan saran yang membangun dapat dikirimkan melalui email sitirohmah_93@yahoo.com.