

PRASTUDI PEMANTAUAN BIOAEROSOL DI DALAM RUANGAN DAN ANALISISNYA

PRESTUDY OF MONITORING INDOOR BIOAEROSOL AND ITS ANALYSIS

Ahmad Harun Firdaus, Amaliyah Rohsari Indah Utami*, Indra Chandra

Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

*Amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Bioaerosol adalah mikroorganisme dengan ukuran 0,02-100 μm yang berada di udara. Manusia banyak melakukan aktivitas di dalam ruang, sehingga kualitas udara dalam ruang merupakan faktor penting yang harus diperhatikan. Bioaerosol di dalam ruang, dapat berupa bakteri, virus, fungi, dan *alergen* seperti parasit debu yang dapat bersumber dari bangkai dan kotoran tungau. Dampaknya terhadap kesehatan terutama berupa iritasi, infeksi, dan alergi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengetahui hubungan parameter non-biologi (RH, T, CO_2 , $\text{PM}_{2.5}$) terhadap parameter biologi berupa konsentrasi bakteri (CFU/ m^3) di dalam ruangan. Lokasi pengukuran dilakukan di tiga ruangan yang berada di Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung. Mekanisme pengambilan sampel biologi di setiap lokasi dilakukan secara paralel dengan parameter non-biologi secara paralel pada jam operasional kampus, masing-masing selama dua menit dengan tiga kali pengulangan menggunakan alat impaktor SKC BioStage *Standar 400 holes* dengan media NA Trypticase Soy Agar pada cawan petri. Kemudian sampel diidentifikasi dan dihitung jumlah koloni bakteri menggunakan alat *Colony Counter*. Bakteri tersebut diidentifikasi dengan cara pemberian media *enrichment* menggunakan Trypticase Soy Broth dan lempeng agar darah 5%, kemudian dilakukan pengecakan gram, setelah itu diberikan media diferensial menggunakan Manitol Salt Agar dan MacConekey's Agar. Rerata konsentrasi bioaerosol pada ketiga ruangan adalah 5583 CFU/ m^3 , 1890 CFU/ m^3 , dan 1278 CFU/ m^3 . Model regresi linier menunjukkan terdapat korelasi yang positif terhadap parameter RH, T, dan CO_2 dengan konsentrasi bioaerosol. Korelasi yang lemah pada $\text{PM}_{2.5}$ dapat diakibatkan oleh bakteri di udara berdiri sebagai agregat atau menempel pada partikel non-biologi, sehingga ukurannya $> 2,5 \mu\text{m}$. Rerata konsentrasi bioaerosol pada ruangan 1, 2, dan 3 adalah 5583 CFU/ m^3 , 1890 CFU/ m^3 , dan 1278 CFU/ m^3 . Ketiga lokasi tersebut tidak memenuhi persyaratan kualitas biologi udara dalam ruangan.

Kata kunci : Bioaerosol, kualitas udara dalam ruang, bakteri di udara.

Abstract

Bioaerosol is microorganisms with the size of 0,02-100 μm in the air. Humans do a lot of activities in the room, so the indoor air quality is important factor that must be considered. Bioaerosol formed of bacteria, viruses, fungi and allergance such as dust parasites that can be sourced from dead carcasses and dust mites. The impact on health mainly in the form of irritation, infection, and allergance. This study aims to identify and determine the relationship of non-biological parameters (RH, T, CO_2 , $\text{PM}_{2.5}$) to biological parameter in the form of bacterial colony forming unit per volume (CFU/ m^3). Location where the air sampled was taken in three places of Gedung Deli, Universitas Telkom, Bandung. Biological sampling mechanism at each location was carried out in parallel with non-biological parameters in parallel during campus operational hours, each for two minutes with three repetition using the Standard SKC BioStage 400 holes with natrium agar Trypticase Soy Agar on a petri dish. Then the sample was identified and counted for total colonies using colony counter. These bacteria were identified by enrichment media using Trypticase Soy Broth and Blood Agar 5%, then gram cheking was performed, after which differential media were used Manitol Salt Agar and MacConekey Agar. The mean bioaerosol concentration in three rooms were 5583, 1890, and 1278 CFU/ m^3 . The linear regression model shows that there is a positive correlation with the parameters of RH, T, and CO_2 with the concentration of bioaerosol. Weak correlations at $\text{PM}_{2.5}$ can be caused by bacteria in the air standing as aggregates or sticking to non-biological particles, so the size are $> 2.5 \mu\text{m}$. The mean concentration of bioaerosol in rooms 1, 2 and 3 were 5583 CFU/ m^3 , 1890 CFU/ m^3 , and 1278 CFU/ m^3 . All three locations did not meet the quality requirements for indoor air biology.

Keywords: Bioaerosol, indoor air quality, airborne bacteria

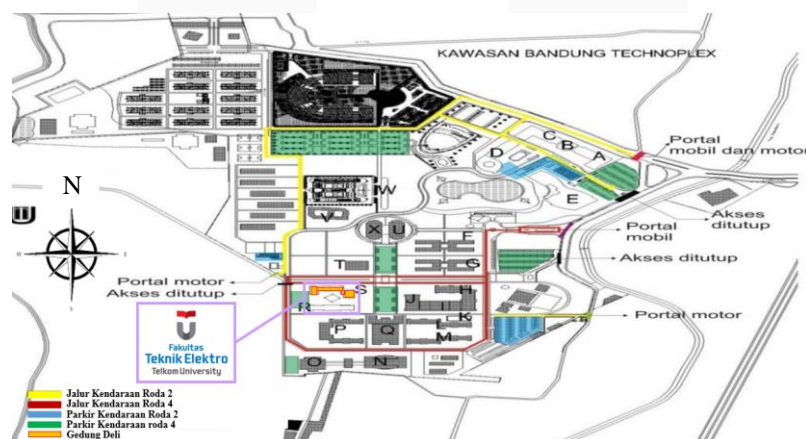
1. Pendahuluan

Bandung Raya merupakan wilayah topografi berbentuk cekungan dengan luas kurang lebih 343.087 hektar[1]. Hal tersebut mengakibatkan terperangkapnya udara yang terkontaminasi oleh aktivitas manusia secara horizontal oleh dinding topografi dan perubahan planetary boundary layer (PBL) atau pembentukan lapisan inversi terhadap sebaran polutan secara vertikal. Lapisan ini terjadi ketika temperatur di udara lebih panas dibandingkan temperatur permukaan yang mengakibatkan polutan yang dapat berupa bioaerosol terjebak di dalam cekungan [2]. Bioaerosol adalah mikroorganisme atau partikel, gas, substansi dalam gas atau organisme hidup yang berasal dari manusia, hewan ataupun tanaman, baik bersifat parasit atau tidak parasit yang tersuspensi di udara [3]. Mikroorganisme yang berada di udara dalam ruang dapat berasal dari lingkungan luar dan kontaminasi dari dalam ruang. Mikroorganisme dari lingkungan luar dapat berasal dari organisme yang membusuk, tumbuh-tumbuhan yang mati dan bangkai binatang. Padatnya aktivitas penduduk, dekatnya tempat tinggal dengan selokan yang kotor, tempat peternakan hewan, tempat pembuangan sampah, dan polusi di jalan raya yang merupakan sumber mikroba [4]. Mikroba yang terbawa oleh udara akan turun kembali ke permukaan tanah berupa *dry deposition* atau *wet deposition* bila terbasuh oleh air hujan dan membentuk koloni di lokasi yang baru [5]. Menjadi alasan kuat mengapa kesadaran akan bioaerosol sangat penting dampaknya terhadap kesehatan manusia. Dampak terhadap kesehatan yang terdata pada *The deadliest disease in the world* tahun 2012, berdasarkan data dari WHO yang merujuk data kematian pada tahun 2008, penyakit yang disebabkan bakteri terdapat pada urutan ke-3 yaitu penyakit pneumonia yang di sebabkan oleh bakteri *S. pneumoniae* dan di urutan ke-8 terdapat penyakit yang diakibatkan bakteri yaitu tuberkulosis yang di sebabkan oleh bakteri *M. tuberculosis* [6]. Maka dari itu perlu dilakukan (1) mengidentifikasi kualitas udara di dalam ruang secara biologi (CFU/m³) dan non-biologi (PM_{2.5}, CO₂, T, RH), (2) menganalisis hubungan parameter biologi dan non-biologi di dalam ruang. Hasil dari penelitian ini di harapkan dapat menjadi referensi untuk peningkatan kondisi musala Gedung Deli yang berlokasi pada Universitas Telkom, Bandung.

2. Metodologi Penelitian

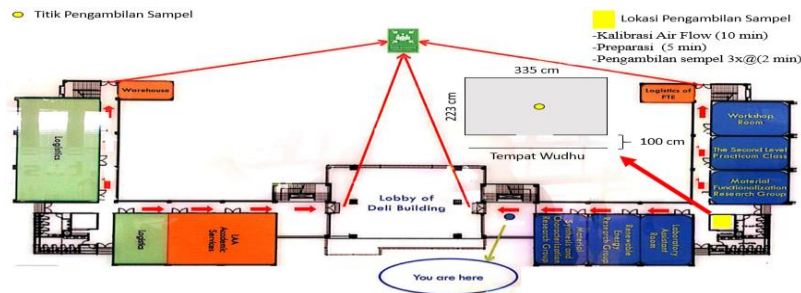
2.1 Lokasi dan Waktu Pengukuran

Penelitian ini dilakukan di 3 ruang musala Gedung Deli yang berada di dalam Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung. Ruang musala yang dimaksud adalah ruang musala lantai 1 (LT 1) Gambar, ruang musala lantai 2 (LT 2), dan ruang musala lantai 3 (LT 3). Berikut peta letak Gedung Deli di Universitas Telkom Gambar 2.1.



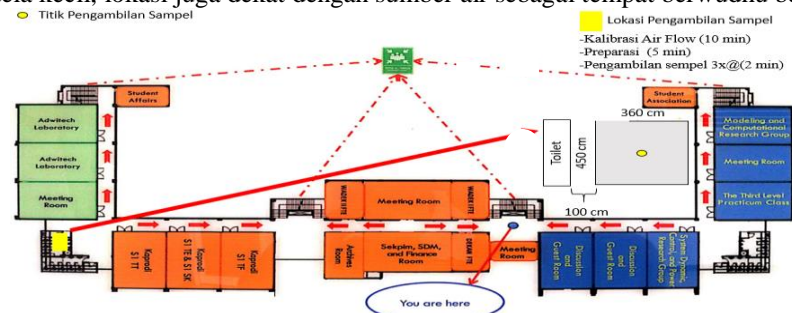
Gambar 2. 1 Peta Universitas Telkom

Pengambilan sampel bakteri di udara dilakukan pada tanggal 14 November 2019 di setiap ruang musala, sedangkan identifikasi bakteri dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi UNJANI. Observasi faktor-faktor yang berhubungan dengan keberadaan bakteri di udara yang berada dalam ruang meliputi kualitas udara dan meteorologi. Kegiatan tersebut dilakukan pada jam operasional kampus antara pukul 13:00-16:00.



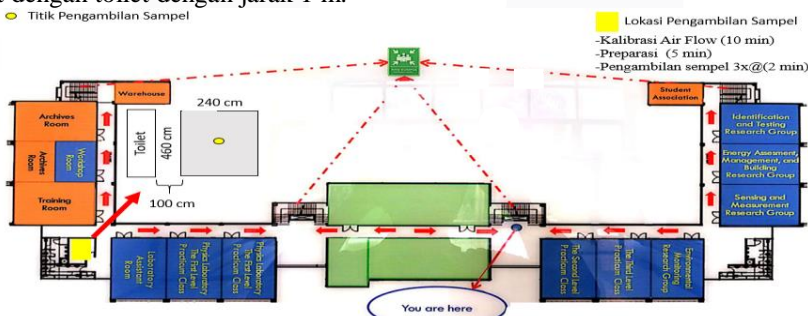
Gambar 2. 2 Layout Lt. 1 Gedung Deli dan Musala

Kondisi ruang musala LT 1 Gambar 2.2 dengan luas ruangan 7,5 m² dengan lantai dasar menggunakan karpet, keliling ruangan di sekat dengan beton hingga atap ruangan, 1 ventilasi udara berupa jendela kecil, lokasi juga dekat dengan sumber air sebagai tempat berwudhu berjarak 1 m.



Gambar 2. 3 Layout Lt.2 Gedung Deli dan Musala

Kondisi ruang musala LT 2 Gambar 2.3 dengan luas ruangan 16,2 m² dengan lantai dasar menggunakan karpet, sebagian sisi ruangan di sekat dengan beton hingga atap ruangan dan sebagian dengan sekat kaca tidak sampai atap udara, ventilasi udara berupa sekat yang tidak mencapai atap, lokasi dekat dengan toilet dengan jarak 1 m.



Gambar 2. 4 Layout Lt. 3 Gedung Deli dan Musala

Kondisi ruang musala LT 3 Gambar 2.4 dengan luas ruangan 11 m² dengan lantai dasar menggunakan karpet, sebagian sisi ruangan di sekat dengan beton hingga atap ruangan dan sebagian dengan sekat kaca tidak sampai atap udara, ventilasi udara berupa sekat yang tidak mencapai atap, lokasi dekat dengan toilet dengan jarak 1 m.

2.2 Teknik Pengambilan Sampel

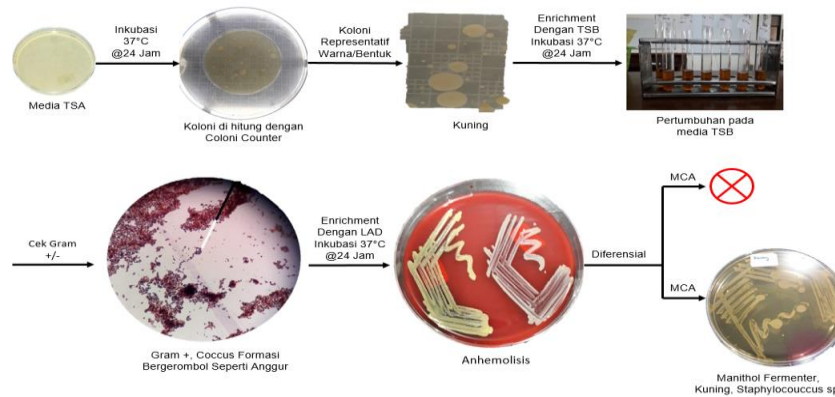
Pengambilan sampel dilakukan secara paralel antara parameter biologi (konsentrasi bakteri di udara) dengan parameter non-biologi (T, RH, PM_{2.5}, CO₂) pada setiap lokasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui korelasi antara kedua parameter tersebut dan pengaruh kondisi kualitas udara serta meteorology terhadap tumbuh kembangnya mikroorganisme di dalam ruangan.

2.3 Metode Pengukuran Kualitas Udara dan Meteorologi

Keberadaan mikroba di udara dipengaruhi oleh kualitas fisik udara terkait dengan faktor pertumbuhan dan pola pergerakan. Instrumen yang digunakan untuk mengukur kualitas fisik udara adalah T dan RH (DHT22), gas CO₂ (SKU:SEN0219), dan partikulat PM_{2.5} (SKU:SEN0177) yang telah dilakukan karakterisasi [7]. Adapun prosedur pengukuran kualitas fisik udara: (1) instrumen pengukuran disimpan di atas tripod pada ketinggian 1.5 meter, sebagai asumsi letak pernafasan orang dewasa, (2) titik pengambilan sampel disimpan sejajar dengan alat impaktor SKC BioStage, (3) Pengambilan sampel Non-biologi dilakukan secara paralel dengan pengambilan sampel biologi.

2.3 Metode Pengukuran Kualitas Biologi Udara dan Identifikasi Bakteri

Mengenai mikroorganisme, sampel udara di ambil sebanyak tiga kali per lokasi menggunakan impaktor SKC BioStage Single Stage pada laju aliran udara 28,3 L/min untuk mengambil 0,056 m³ udara dalam ruang. Mikroorganisme udara tersampel di atas permukaan media agar tryptic soy agar [8]. Dengan menggunakan analisa perhitungan waktu optimal pengambilan sampel di dapat 2 menit dengan rata-rata 100 koloni pada cawan petri. Pengambilan sampel bioaerosol dilakukan dengan cara; (1) sampler diletakan di atas tripod dengan ketinggian 1,5 m di atas permukaan lantai, (2) debit pompa di kalibrasi menggunakan *flowmeter* pada debit 28,3 Liter/min, (3) bersihkan semua permukaan dalam *sampler* dengan alkohol *pad* 70% sebelum dan setelah penggunaan, (4) hidupkan pompa vakum dan tunggu selama 2 menit, (5) Setelah selesai sampling pompa dimatikan. Segera pindahkan media kultur ke plastik steril dan simpan dalam *cool Box* dan simpan cawan petri secara terbalik untuk menghindari tetesan kondensasi jatuh ke media agar, (6) media kultur segera di kirim ke laboratorium untuk dilakukan identifikasi dan perhitungan jumlah koloni. Analisis biologi yang dilakukan seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Identifikasi Bakteri dan Perhitungan Jumlah Koloni

2.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah mendapatkan jumlah koloni bakteri yang tumbuh pada cawan petri kemudian dikonversi menjadi satuan per volume udara (CFU/m³) dengan cara mencari tahu dahulu volume udara yang di sampel:

$$\text{volume udara (m}^3\text{)} = \text{Durasi (menit)} \times 28,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} \dots\dots\dots(1)$$

Setelah mendapatkan volume udara, kemudian dikonversi jumlah koloni menjadi satuan per volume udara:

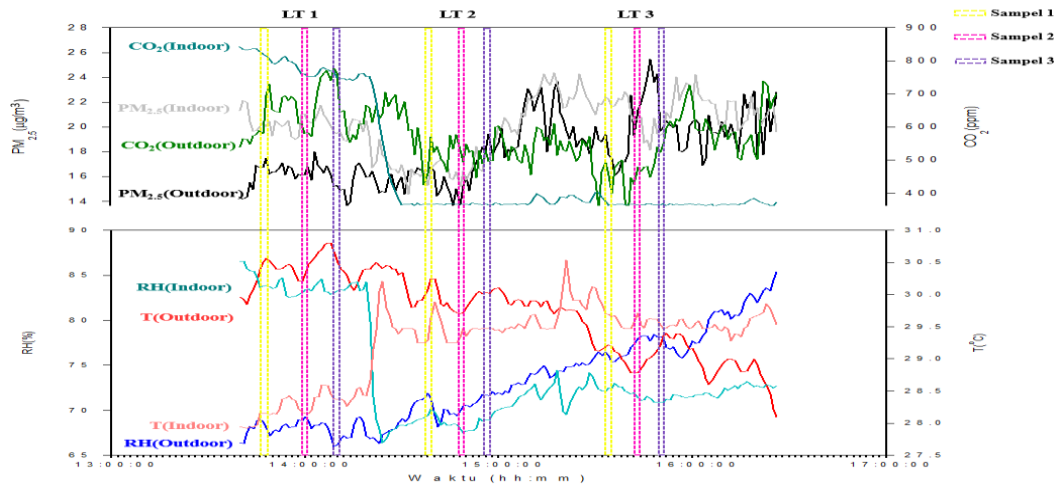
$$\text{(CFU/m}^3\text{)} = \frac{\text{Jumlah koloni (CFU)}}{\text{Volume udara (m}^3\text{)}} \dots\dots\dots(2)$$

Setelah dikonversi kemudian dilakukan analisis data. Ada atau tidaknya hubungan antara parameter biologi dan non-biologi dengan menggunakan model regresi linier.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kualitas Udara di Dalam Ruangan

Kondisi udara non-biologi pada ruang musala dibagi menjadi dua yaitu kualitas udara dan meteorologi. Kualitas udara yang dijadikan parameter adalah gas Karbon Dioksida (CO₂) dan Partikulat (PM_{2.5}), sedangkan yang dijadikan parameter meteorologi adalah temperatur (T) dan kelembapan relatif (RH). Berikut kondisi kualitas udara non-biologi pada ruang musala lantai 1 (LT 1), ruang musala lantai 2 (LT 2), dan ruang musala lantai 3 (LT 3) pada pengambilan 3 sampel di setiap lokasi seperti pada Gambar 3.1 berdasarkan data tersebut terlihat perubahan yang cukup signifikan pada setiap parameter akibat transportasi instrumen di lorong terbuka dari musala LT 1 menuju LT 2, dan LT 3. Untuk memudahkan dalam mengetahui nilai rata-rata kualitas udara dan meteorologi di dalam ruang saat pengambilan sampel dilakukan pengambilan data dari waktu awal mulai pengambilan sampel 1 sampai dengan sampel 3 pada setiap lokasi untuk semua parameter. Berikut hasil rata-rata kualitas udara dan meteorologi pada Tabel 3.1



Gambar 3. 1 Kualitas Udara Non-Biologi

Tabel 3. 1 Rata-rata Kualitas Udara dan Meteorologi Dalam Ruang

Parameter	LT 1	LT 2	LT 3
RH(%)	75	62	65
T(°C)	27	27	28
CO ₂ (ppm)	794	366	366
PM _{2.5} (μg/m ³)	20	17	18

Pada Tabel 3.1 terlihat bahwa RH tertinggi terdapat pada lokasi LT 1, hal ini dapat mendukung kapasitas mikroorganisme berada di udara. Juga T udara yang mempengaruhi tinggi atau rendahnya RH. Sedangkan PM_{2.5} dengan rata-rata terbesar juga berada di lokasi LT 1. kemudian untuk konsentrasi CO₂ tertinggi juga terdapat pada lokasi LT 1, hal ini dikarenakan nilai tukar udara di LT 1 lebih kecil dibandingkan dengan LT 2 dan LT 3. Karena pada lokasi LT 1 ruangan tertutup oleh beton hingga atap, sedangkan pada lokasi LT 2 dan LT 3 ruangan hanya diberi sekat dan bagian atas terbuka. Diasumsikan bahwa orang di dalam ruangan adalah kontributor utama bakteri, berdasarkan konsentrasi CO₂ dalam ruangan [9].

3.2 Mikroorganisme di Dalam Ruang

kondisi kualitas biologi udara dalam ruang digunakan parameter konsentrasi bakteri per satuan volume (CFU/m³). Setiap lokasi dilakukan tiga kali pengambilan atau disebut *triplet*. Berikut konsentrasi Bakteri dan standar deviasi pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Rata-rata konsentrasi bakteri CFU/m³ dan Standar Deviasi

Lokasi	Avg CFU/m ³	Min	Max	Std Dev
LT 1	5583	4576	6519	974
LT 2	1890	689	2685	1058
LT 3	1278	813	1820	508

Dari data di atas rerata konsentrasi bioaerosol pada setiap ruang musala LT 1 sampai dengan LT 3 secara berurutan adalah 5583 CFU/m³, 1890 CFU/m³, dan 1278 CFU/m³. Ruang LT 1 memiliki ventilasi udara yang lebih kecil dibandingkan ruangan LT 2 dan LT 3 yang memiliki ventilasi udara yang lebih besar, sehingga dapat mengakibatkan sirkulasi udara yang tidak baik. Selain itu, orang yang hadir dalam ruang musala ketika melakukan ibadah meninggalkan jejak basah pada karpet yang dapat menyebabkan kelembapan di dalam ruang menjadi tinggi dan adanya bakteri yang sedang berkembangbiak pada tubuh manusia ataupun pada material yang ada di dalam ruangan terbawa ke udara oleh uap air pada proses evaporasi yang menghasilkan aerosol, sehingga bakteri tersebut menumpang atau menempel dan terbawa ke udara. Dari hasil identifikasi bakteri pada ketiga lokasi tersebut terdapat bakteri dengan genus *Enterobacteriaceae sp*, *Bacillus sp* dan *Streptococcus sp* pada musala lantai 1, *Enterobacteriaceae*, *Streptococcus sp*, *Bacillus sp* dan *Enterococcus sp* di musala lantai 2, dan *Enterobacteriaceae*, *Bacillus sp* dan *Staphylococcus sp* pada musala lantai 3. Bakteri tersebut banyak ditemukan pada tubuh manusia, dimungkinkan bakteri ini bersumber dari manusia yang hadir di lokasi [10].

3.3 Pengaruh Parameter Kualitas Udara(PM_{2.5},CO₂) dan Meteorologi(T, RH) Terhadap Pertumbuhan Mikroorganisme di Dalam Ruang

Kualitas udara dalam ruangan dipengaruhi empat elemen yaitu sumber kontaminan udara dalam ruangan, sistem ventilasi, jalur kontaminan, dan penghuni. Dalam kasus pencemaran udara di dalam ruangan partikulat (PM_{2.5}) merupakan salah satu indikator sehat atau tidaknya suatu ruangan terhadap kesehatan dan keselamatan kerja. Partikulat di udara juga bisa membawa mikroorganisme dan relatif lama ketika berada di udara yang bisa jadi masuk ke dalam tubuh manusia melalui sistem pernafasan. Kemudian temperatur (T) yang mempengaruhi tinggi rendahnya kelembapan relatif (RH), dimana T yang semakin rendah akan membuat RH semakin tinggi dan begitu pula sebaliknya. RH juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kelangsungan hidup mikroorganisme. Beberapa jenis bakteri hidup pada rentang RH 55%-65% seperti *legionella* dan bertahan hidup dalam bentuk aerosol. selain itu kelangsungan hidup mikroorganisme dan PM_{2.5} yang berada di permukaan dalam ruangan akan meningkat pada RH > 60% dan dapat mengganggu pernafasan seperti penyakit *asthma*. Pada tingkat RH yang tinggi dapat mempercepat pertumbuhan mikroorganisme dan pengumpulan PM_{2.5}. Karbon Dioksida (CO₂), parameter ini perlu di ukur untuk menilai sistem ventilasi dalam ruangan, karena pada konsentrasi CO₂ >800 ppm dapat mengindikasikan kurangnya udara segar. Sumber CO₂ di dalam ruangan terbanyak berasal dari manusia, hal ini dapat disebabkan lokasi ruangan yang tertutup. Manusia yang berada di dalam ruangan juga bisa menjadi sumber mikroorganisme, beberapa jenis bakteri dapat mengganggu kesehatan serta efek deteriorasi bagi ruangan apabila tumbuh dan berkembang biak di dalam ruangan [11]. Tabel 3.2 hasil pengukuran kualitas fisik, kimia, dan biologi udara di ruang musala.

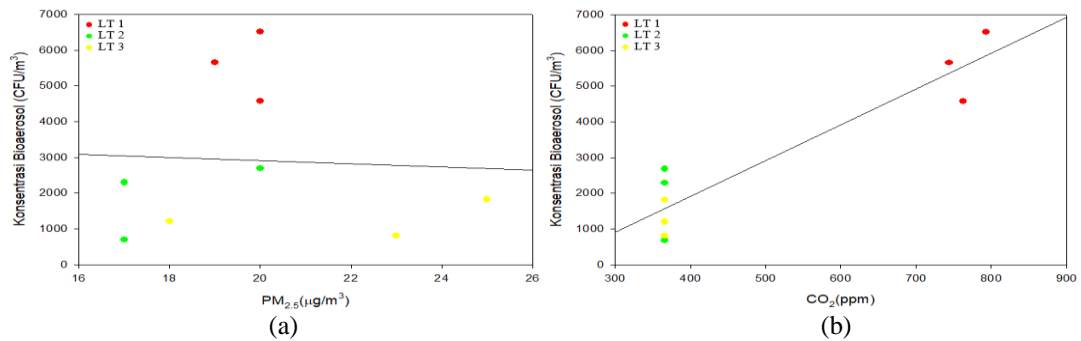
Tabel 3. 3 Rata-rata Kualitas Fisik, Kimia, dan Biologi Udara di Ruang Musala

Variabel	LT 1	Outdoor 1	LT 2	Outdoor 2	LT 3	Outdoor 3	Standar (Indoor)
1. Kualitas Fisik							
Udara							
T (°C)	27	30	27	30	28	29	18-30
RH (%)	75	68	62	71	65	77	40-60
PM _{2.5} (µg/m ³)	20	16	17	17	18	19	
PM _{2.5} (µg/m ³)	108		65		29		35/ 24 jam
2. Kualitas Kimia							
Udara							
CO ₂ (ppm)	794	599	366	554	366	570	
CO ₂ (ppm)	470		412		299		1000/ 8 jam
3. Kualitas Biologi							
Udara							
Konsentrasi Bakteri (CFU/m ³)	5583		1890		1278		<700
Genus Bakteri	<i>Enterobacteriaceae sp.</i> , <i>Streptococcus sp.</i> , <i>Bacillus sp</i>		<i>Enterobacteriaceae sp.</i> , <i>Streptococcus sp.</i> , <i>Enterococcus sp.</i> , <i>Basillus sp</i>		<i>Enterobacteriaceae sp.</i> , <i>Staphylococcus sp.</i> , <i>Bacillus sp</i>		

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi seluruh ruang musala kurang memenuhi standar. Kelembapan udara khususnya LT 1 dan konsentrasi bakteri atau kuman >700 CFU/m³ khususnya pada LT 1 yang paling tinggi PM_{2.5}, CO₂, RH, dan Konsentrasi Bakteri. Hal ini mungkin disebabkan oleh sistem ventilasi yang berupa lubang angin dan dekat dengan sumber air sehingga kandungan pada lokasi tersebut tinggi. Genus bakteri yang teridentifikasi ialah *Enterobacteriaceae* dan *Streptococcus sap*. Bakteri jenis ini merupakan bakteri patogen oportunistis yaitu dapat menyebabkan penyakit infeksi yang serius pada orang yang tidak memiliki imunokompetensi atau dapat menginduksi penyakit pernafasan [12], artinya ada kemungkinan bakteri ini menginfeksi orang-orang yang ada di dalam ruang musala. Mikroorganisme yang di temukan pada ruangan musala LT 2 dan LT 3 bisa saja menempel pada partikulat dengan ukuran <2.5 µm. Konsentrasi partikulat pada ruangan berkisar 17-18 µg/m³, konsentrasi terendah adalah LT 2. Kedua ruang musala tersebut memiliki jenis ventilasi yang sama yaitu sekat kaca terbuka, sehingga pertukaran udara di ruangan tersebut lebih baik dibandingkan LT 1. Melalui celah tersebut mikroorganisme dan partikulat dari luar ruangan dapat masuk terbawa oleh udara.

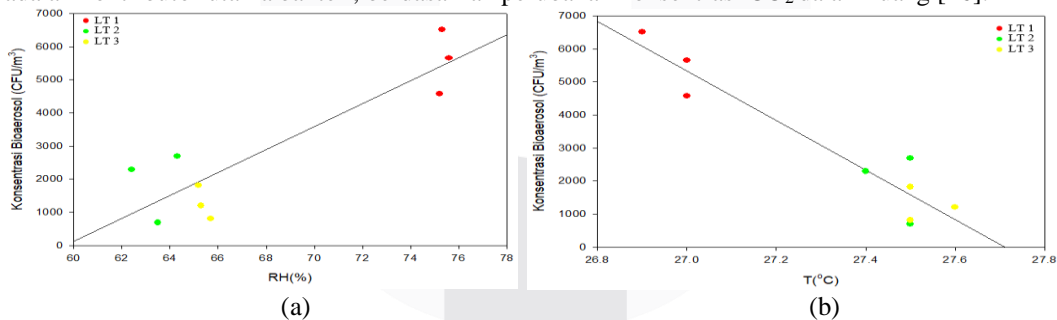
3.3.1 Hubungan PM_{2.5}, CO₂, T, dan RH Dalam Ruang dengan Konsentrasi Bioaerosol

Pada pembahasan ini, akan dianalisis berdasarkan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Untuk mengetahui hubungan antara partikulat PM_{2.5} dengan konsentrasi bioaerosol dilakukan plot berikut grafik pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Hubungan Partikulat (a) dan CO₂ (b) dengan Konsentrasi Bioaerosol.

Dari Gambar 3.2 (a) didapatkan persamaan $y = -44,998x + 3812,1$ dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,0031$. Hubungan yang lemah antara parameter PM_{2.5} dengan konsentrasi bioaerosol, banyak faktor yang mempengaruhi hal ini, salah satunya adalah bisa jadi mikroorganisme yang berada di lokasi tersebut menempel atau menumpang pada partikel yang >2,5 µm di dukung dari beberapa penelitian partikel dari distribusi bakteri bioaerosol di temukan pada kisaran ukuran diameter aerodinamis 3-5 µm [13]. Terindikasi juga bahwa setiap orang menghasilkan 0,9-0,3 juta partikel bioaerosol kasar (2,5-10 µm) per jam dari hasil aktivitas seperti kontak antara kulit dengan pakaian yang merupakan sumber utamanya [14]. Sehingga menghasilkan korelasi yang kurang baik antara PM_{2.5} dengan konsentrasi bioaerosol di dalam ruangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri di udara dalam ruangan mungkin tidak hanya berdiri sebagai sel tunggal, tetapi sebagian besar mereka saling menempel atau menempel pada organisme kecil atau partikel non-biologi. Gambar 3.2 (b) didapatkan persamaan $y = 10,016x - 2084,2$ dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,8714$. Menunjukkan terdapat korelasi yang positif antara CO₂ dengan konsentrasi bioaerosol, semakin tinggi CO₂ dalam ruang maka konsentrasi bioaerosol akan semakin tinggi. Karena lingkungan dalam ruangan musala LT 1 lebih tertutup sehingga nilai tukar udara lebih rendah, menyebabkan akumulasi CO₂ yang dihasilkan dari metabolisme orang di dalam ruang [15]. Oleh karena itu, konsentrasi CO₂ secara signifikan lebih tinggi di LT 1 dibandingkan dengan LT 2 dan LT 3. Karena ruangan berada di dalam gedung dan jauh dari sumber emisi gas buang hasil pembakaran motor, dapat diasumsikan bahwa orang yang berada di dalam ruangan adalah kontributor utama bakteri, berdasarkan perubahan konsentrasi CO₂ dalam ruang [16].



Gambar 3. 4 Hubungan Kelembapan (a) dan Temperatur (b) dengan Konsentrasi Bioaerosol.

Gambar 3.4 (a) didapatkan persamaan $y = 345,72x - 20611$ dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,7988$. Menunjukkan terdapat korelasi yang positif antara kelembapan relatif dengan konsentrasi bioaerosol, semakin tinggi kelembapan relatif dalam ruang maka konsentrasi bioaerosol akan semakin tinggi. Kelembapan merupakan salah satu faktor utama tumbuh kembangnya mikroorganisme, distribusi mikroorganisme dari material ke udara terjadi ketika udara mencapai kelembapan yang di butuhkan oleh mikroorganisme. Umumnya sebagian besar mikroorganisme tumbuh pada lingkungan yang lembap. Selain itu lokasi ruangan yang dekat dengan sumber air juga mendukung keberadaan mikroorganisme, karena air membantu proses difusi dan metabolisme. Air mempengaruhi substrat pH dan osmolaritas dan merupakan sumber dari hidrogen dan oksigen [17]. Sebaran konsentrasi bioaerosol terlihat banyak dan signifikan perbedaannya antara LT 1 dengan LT 2 dan LT 3. Hal ini menggambarkan kelembapan optimum bagi mikroorganisme di udara terdapat pada LT 1 dengan rentang 74-76 %. Dari hasil plot Gambar 3.4 (b) didapatkan persamaan $y = -7503,2x - 207922$ dengan koefisien korelasi sebesar $R^2 = 0,9014$. Menunjukkan terdapat korelasi yang positif antara temperatur dengan konsentrasi bioaerosol, semakin rendah temperatur dalam ruang maka konsentrasi bioaerosol akan semakin tinggi. Kelembapan relatif berpengaruh

terhadap temperatur dimana kelembapan yang rendah membuat temeperatur menjadi dingin begitupun sebaliknya. Dimana sebagian besar mikroorganismenya tumbuh banyak dan dapat bertahan dalam bentuk aerosol [18]. Menunjukkan bahwa sebaran data konsentrasi bioaerosol banyak ditemukan pada rentang 26,8-27 °C pada LT 1 yang mempresentasikan bahwa rentang tersebut merupakan suhu yang optimum bagi tumbuh dan berkembangnya bakteri.

4. Kesimpulan

Terdapat perbedaan konsentrasi bakteri yang signifikan pada LT 1 dengan LT 2 dan LT 3 dengan rerata 5583 CFU/m³ pada LT 1, sedangkan rerata LT 2 dan LT 3 adalah 1890 CFU/m³ dan 1278 CFU/m³. hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh kondisi fisik, kimia dan biologi udara di dalam ruangan terhadap konsentrasi bakteri di udara. Sebagian besar bakteri tersebut merupakan bakteri yang umum berada di tubuh manusia. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri tersebut banyak berasal dari manusia yang hadir di dalam ruangan. Konsentrasi bioaerosol di udara dalam ruang memiliki hubungan dengan CO₂, RH, dan T dengan nilai koefisien korelasi adalah 87%, 79%, dan 90%. Sebagian besar bakteri yang berada di udara dalam ruangan musala menumpang atau menempel pada partikel lain.

5. Daftar Pustaka:

- [1] sifataru.atrbpn.go.id. 2014. Kawasan Cekungan Bandung. Diakses pada 26 Desember 2019, dari <http://sifataru.atrbpn.go.id/kawasan/Cekungan-Bandung>
- [2] Soerjadi Wirjohamidjojo and Yunus Swarinoto. 2010. BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
- [3] Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N. dan Heederik, D. 2003. Bioaerosol Health Effects and Exposure Assessment: Progress and Prospects. *Annals of Occupational Hygiene* 47 (3): 187-200.
- [4] Herr CE., Zur Nieden A, Jankofsky M, Stilianakis NI, Boedeker RH, Eikmann TF. 2003. Effects of Bioaerosol Polluted Outdoor Air on Airways of Residents: A Cross Sectional Study
- [5] Amato, Pierre. 2012 Clouds Provide Atmospheric Oases for Microbes. *Microbe Magazine*: n. pag. American Society for Microbiology. Web. Diakses pada 6 April 2019 pukul 20:25. <http://microbewiki.kenyon.edu>
- [6] World Health Organization. 2012. *The Deadliest Disease in The World*. berdasarkan data dari WHO yang merujuk data kematian pada tahun 2008.
- [7] Abdurachman Arief. 2019. Rancang Bangun Alat Ukur konsentrasi Gas CO₂ Dan NO₂ Untuk Pengamatan Emisi Dari Pembakaran Sampah Rumah Tangga. Bandung: Universitas Telkom.
- [8] M. Janet Macher. 1989. Positive-Hole Correction of Multiple-Jet Impactors for Collecting Viable Microorganisms.
- [9] Lin Huang-Hsiao, Mei-Kuei Lee, Hao-Wun Shih. 2017. Assessment of Indoor Bioaerosols in Public Spaces by Real-Time Measured Airborne Particles.
- [10] Bonetta S, Mosso S, Sampo S, Carraro E. 2010. Assessment of microbiological indoor air quality in an Italian office building equipped with an HVAC system. *Environ Monit Assess*; 161: 473-83.
- [11] BiNardi, Salvatore R 2003, *The Occupational: It's Evaluation, Control, and Managing*, 2nd edn, AIHA Press.
- [12] Baurès Estelle, Olivier Blanchard, Fabien Mercier. 2018. Indoor air quality in two French hospitals: Measurement of chemical and microbiological contaminants.
- [13] Qian, J., Hospodsky, D., Yamamoto, N., Nazaroff, W.W. and Peccia, J. (2015). Size-resolved emission rates of airborne bacteria and fungi in an occupied classroom. *Indoor Air* 22: 339–351.
- [14] Bhangar, S., Adams, R.I., Pasut, W., Huffman, J.A., Arens, E.A., Taylor, J.W., Bruns, T.D. and Nazaroff, W.W. (2016). Chamber bioaerosol study: Human emissions of size-resolved fluorescent biological aerosol particles. *Indoor Air* 36: 193–206.
- [15] Tseng, C.H., Wang, H.C., Xiao, N.Y. and Chang, Y.M. (2011). Examining the feasibility of prediction models by monitoring data and management data for bioaerosols inside office buildings. *Build. Environ.* 46: 2578–2589.
- [16] Pastuszka, J.S., Paw, U.K.T., Lis, D.O., Wlazło, A. and Ulfig, K. (2000). Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland. *Atmos. Environ.* 34: 3833–842
- [17] Spengler, J., Samet, J. M., & McCarthy, J. F. (2001). *Indoor Air Quality*. New York: McGraw-Hill.
- [18] Brandl H, von Däniken A, Hitz C, Krebs W. Short term dynamic patterns of bioaerosols generation and distribution in an indoor environment. *Aerobiologia* 2008; 14: 203-9.