PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DALAM RUANG MENGGUNAKAN IMPAKTOR DI GEDUNG DELI, UNIVERSITAS TELKOM, BANDUNG

IMPACTOR BASED ANALYSIS FOR INDOOR AIR QUALITY MONITORING SYSTEM IN DELI BUILDING, TELKOM UNIVERSITY, BANDUNG

[1]**Ryandhari Refony Shania,** [2]**Indra Chandra,** [3]**Amaliyah Rohsari Indah Utami**
Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]refonyshania@students.telkomuniversity.ac.id, [2]indrachandra@telkomuniversity.ac.id ,
[3]amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Indoor Air Quality (IAQ) merupakan sebuah indikator baik atau tidaknya kualitas udara dalam ruangan yang berdampak pada kesehatan manusia dan meningkatkan kenyamanan penghuni. Berdasarkan WHO, angka kematian akibat gangguan kesehatan karena buruknya kualitas udara dalam ruang jauh lebih tinggi dibandingkan di luar ruangan. Salah satu parameter yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas udara dalam ruang adalah adanya mikroorganisme di udara. Bioaerosol umumnya bersumber dari vegetasi, tanah, dan sumber air, serta keberadaannya di dalam ruangan merupakan pengaruh dari kelembapan relatif (RH) dan temperatur udara (T). Penelitian ini dilakukan untuk mengukur kualitas udara (RH, T, $PM_{2.5}$, CO_2) menggunakan *low-cost* sensor dan sampel biologi di udara, yaitu konsentrasi bakteri, menggunakan metode impaksi. Pengukuran dilakukan di Ruang Administrasi, Gedung Deli, Universitas Telkom dengan pengkondisian udara pada 11 dan 12 Agustus 2020. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran, yaitu lingkungan, aktivitas penghuni, serta penempatan alat ukur. Didapatkan rerata pengukuran RH, T, $PM_{2.5}$, CO_2, dan konsentrasi bioaerosol pada hari pertama masing-masing yaitu 97%, 27^0C, 93 µg/m^3, 804 ppm, dan 362 CFU/m^3. Dengan kondisi udara yang sama, kualitas udara yang didapatkan di hari kedua relatif lebih bersih, yaitu 51 µg/m^3, 648 ppm, dan 155 CFU/m^3. Hasil pengukuran menunjukan adanya pengaruh jumlah serta aktivitas penghuni terkait jumlah dan hasil identifikasi bakteri, dimana pada hari pertama saat sebelum waktu kerja dimulai (AC dalam keadaan *off*) menunjukan hasil konsentrasi bakteri 389 dan 159 CFU/m^3, sedangkan hasil sampel yang diambil saat waktu kerja (AC dalam keadaan *on*) menunjukan data konsentrasi mikroorganisme yaitu 71 dan 830 CFU/m^3. Pada hari kedua, hasil sampel konsentrasi bakteri sebelum waktu kerja yaitu 53 dan 318 CFU/m^3, sedangkan saat waktu kerja 106 dan 141 CFU/m^3. Hal tersebut menunjukan adanya penurunan konsentrasi bakteri pada sebelum dan saat waktu kerja berlangsung dibandingkan pada hari sebelumnya. Tidak ditemukan adanya korelasi yang signifikan antara parameter non-biologi dan biologi yang telah diukur, diduga merupakan dampak penggunaan AC sebagai sistem ventilasi. Sehingga, faktor lain yang mendukung adanya polutan biologi di ruangan diduga berasal dari penghuni ruangan itu sendiri. Selain itu, hal lain yang mengakibatkan sistem tata udara di dalam ruangan menjadi kurang baik diketahui karena adanya infiltrasi polutan dari luar ke dalam ruangan.

Kata kunci: Bakteri, bioaerosol, impaktor, kualitas udara dalam ruang, *low-cost sensor*.

Abstract

Indoor Air Quality (IAQ) is an indicator of whether or not indoor air quality has an impact on human health and increases occupant comfort. According to WHO, the death rate due to health problems due to poor indoor air quality is much higher than outdoors. One of the parameters that causes a decrease in indoor air quality is the presence of microorganisms in the air. Bioaerosol generally comes from vegetation, soil and water sources, and its presence in the room is the influence of relative humidity (RH) and air temperature (T). This research was conducted to measure air quality (RH, T, PM2.5, CO2) using low-cost sensors and biological samples in the air, namely the concentration of bacteria, using the impaction method. Measurements were carried out in the Administration Room, Deli Building, Telkom University with air conditioning on 11 and 12 August 2020. Factors that affect the measurement results, namely the environment, occupant activities, and placement of measuring instruments. The average measurements of RH, T, PM2.5, CO2 and bioaerosol concentration on the first day were 97%, 270C, 93 µg / m3, 804 ppm, and 362 CFU / m3, respectively. With the same air condition, the air quality obtained on the second day was relatively cleaner, namely 51 µg / m3, 648 ppm, and 155 CFU / m3. Measurement results show that number and activity of residents affect identification results of bacteria, where on the first day before the working hours start (the AC is off) results of bacterial concentrations were 389 and 159 CFU/m^3, while results of the samples taken during working hours (AC is on) shows 71 and 830 CFU/m^3. On second day, results of bacterial concentration samples before working hours were 53 and 318 CFU/m^3, while

during working hours were 106 and 141 CFU/m^3. This shows bacteria concentration decrease of before and during working hours compared to previous day. There was no significant correlation between measured non-biological and biological parameters, presumably as the impacts of using air conditioning ventilation system. Other factors that support existence of indoor biological pollutants are come from the occupants of the room itself. Other case that causes an imbalance of indoor air systems are pollutant infiltration from outdoor to indoor.

Keywords: Bacteria, bioaerosol, impactor, indoor air quality, low-cost sensor.

1. Pendahuluan

Menurut perkiraan data dari *World Health Organizations* (WHO), terdapat kurang lebih 3 juta jiwa kematian akibat pencemaran udara. Dari jumlah yang sangat banyak tersebut, hanya 0,2 juta jiwa saja yang disebabkan oleh pencemaran udara di luar ruangan, yang berarti 2,8 juta sisanya terdampak paparan polusi udara di dalam ruangan [1]. Berdasarkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH), salah satu sumber utama pencemaran udara yang terjadi di dalam ruangan tertutup berasal dari aktivitas parameter biologi yaitu mikroba udara yang hinggap pada sistem bangunan, misalnya saluran udara [2]. Mikroba di udara disebut juga sebagai bioaerosol, yaitu mikroorganisme dan sisa-sisa yang berasal dari makhluk hidup seperti jamur, bakteri, dan virus. Adanya kontaminan biologi di udara dalam ruang dapat menyebabkan gangguan kesehatan bagi penghuni seperti iritasi, infeksi, dan alergi [3]. Bioaerosol dapat bersumber dari luar ruangan maupun dari dalam ruangan itu sendiri. Oleh karena itu, sistem ventilasi ruangan merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas udara di dalam ruangan dan menentukan kondisi kenyamanan termal ruangan itu sendiri sehingga memiliki dampak langsung terhadap penghuni ruangan. Sistem ventilasi di dalam ruangan dibedakan menjadi dua, yaitu sistem ventilasi alami dan sistem ventilasi mekanis. Salah satu contoh penggunaan sistem ventilasi mekanis adalah penggunaan *Air Conditioner* (AC) di dalam suatu ruangan. Dengan adanya penggunaan AC, penghuni ruangan dapat mengatur tingkat kenyamanan termal ruangan yang menyesuaikan dengan kenyamanan penghuni.

Beberapa penelitian terkait kualitas udara di dalam ruang di Universitas Telkom telah dilakukan pengukuran di beberapa ruang kerja terbuka di Gedung Rektorat dan Mushola lantai 1, 2, dan 3 di Gedung Deli Universitas Telkom. Ruang kerja di Gedung Rektorat umumnya menggunakan sistem ventilasi AC dengan metode *sampling* pasif menghasilkan jumlah koloni yang lebih sedikit dibandingkan hasil *sampling* jumlah koloni di Musholla Gedung Deli menggunakan sistem ventilasi alami dan metode sampling aktif [4,5]. Selain itu, telah dilakukan penelitian lain terkait pengukuran konsentrasi partikulat ($PM_{2.5}$) dan gas karbon dioksida (CO_2) di area Universitas Telkom Bandung menggunakan sensor yang diletakkan di stasiun tetap Gedung Tokong Nanas (ketinggian 35 m) dan Gedung Deli (ketinggian 15 m). Diketahui bahwa pola penyebaran polusi di udara sekitar relatif homogen. Hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi topografis kota Bandung yang dikelilingi oleh pegunungan menyebabkan bentuk geografis berupa cekungan menyebakan polutan udara terjebak di daerah cekungan karena terbatasnya pergerakan polutan, sehingga menyebabkan konsentrasi polutan di tepi cekungan Bandung lebih tinggi dibandingkan di pusat kota yang sumber emisinya lebih tinggi [6,7].

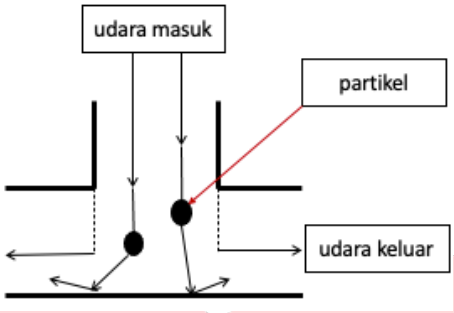
Dari hasil beberapa penelitian tersebut, diketahui bahwa adanya infiltrasi polutan dari luar ke dalam ruangan dapat mengakibatkan sistem tata udara di dalam ruangan menjadi kurang baik. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan sebagai studi lanjutan terkait pengaruh aktivitas dan jumlah penghuni yang diduga turut berkontribusi dalam menentukan kondisi kualitas udara di dalam ruangan. Pengukuran ini dilakukan di ruang ruang kerja LAA Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom yang berlokasi di Gedung Deli. Penelitian ini memiliki persamaan dengan penelitian sebelumnya di ruang kerja di Gedung Rektorat Universitas Telkom [3], pada penggunaan sistem ventilasi ruangan berupa AC. Sedangkan, persamaan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan di Musholla Gedung Deli [4], yaitu pada penggunaan metode aktif untuk mengambil sampel parameter non-biologi berupa kelembapan relatif (RH), temperatur (T), konsentrasi partikulat ($PM_{2.5}$), konsentrasi karbon dioksida (CO_2) serta parameter biologi yang berupa konsentrasi per-satuan volume (CFU/m^3) dan genus bakteri. Dengan mengadaptasi dua penelitian tersebut ke dalam penelitian ini, diharapkan hasil dari peneltian ini menjadi analisis pelengkap terkait penelitian Bioaerosol di dalam ruang.

2. Metodologi

2.1 Alat Ukur Parameter Biologi Berbasis Impaktor

Alat ukur yang digunakan pada pengukuran parameter biologi udara dalam penelitian ini yaitu berupa Bioaerosol *sampler*, yaitu *BioStage Single-Stage Impactor,* SKC Inc. yang dilengkapi dengan *air pump* dan tripod. Impaktor merupakan alat yang digunakan untuk melakukan pengambilan sampel parameter biologi dengan metode aktif, yaitu pengambilan sampel yang memaksa udara sekitar terisap ke dalam selang menggunakan pompa dan menjebak partikel yang terbawa di udara dengan memanfaatkan prinsip tumbukan (*impaction*). Metode impaksi inersia memaksa partikel yang terbawa udara untuk dibelokkan secara tajam oleh permukaan impaksi yang prosesnya ditentukan oleh sifat inersia yang dimiliki partikel seperti ukuran, kecepatan, dan kepadatan serta

ditentukan pula oleh karakter fisik dari *impactor* itu sendiri seperti dimensi *nozzle* dan jalur aliran udara. Ilustrasi cara kerja impaktor dijelaskan pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Metode Impaksi Inersia

Setiap tahapan impaksi memiliki karakteristik *cut-off* yang tajam dan merupakan salah satu parameter yang penting untuk setiap bioaerosol *sampler* [16]. Ukuran *cut-off* merupakan ukuran minimal partikel yang dapat dipaksa menumbuk pada media yang diletakkan di dalam impaktor yang disimbolkan dalam persamaan sebagai d_{50}. Setiap partikel yang ukuranya kurang dari *cut-off* tidak akan terjebak di dalam media karena ukuranya yang terlalu kecil memungkinkan untuk partikel tersebut terbawa oleh aliran udara pompa. Untuk menentukan ukuran *cut-off* atau d_{50}, perlu ditentukan terlebih dahulu kecepatan udara yang masuk ke dalam impaktor menggunakan persamaan (1):

$$\boldsymbol{Uo = \frac{Q}{NAj}} \quad \ldots (\mathbf{2.1})$$

dengan:
Uo = Kecepatan Udara (cm/s)
Q= laju aliran volumetrik (cm^3/s)
N = Jumlah *hole* pada filter
A = Luas penampang (cm^2).

Sehingga setelah mendapatkan nilai Uo dapat disubstitusikan ke dalam persamaan (2) di bawah ini untuk menentukan nilai d_{50}:

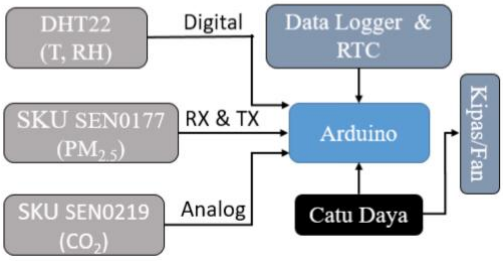
$$\boldsymbol{d_{50} = \sqrt{\frac{9\eta W Stk_{50}}{\rho_p U_o C_c}}} \quad \ldots (\mathbf{2.2})$$

dengan:
d_{50} = Diameter *cut-off* partikel (cm) Uo = Kecepatan Udara (cm/s)
N = Jumlah *hole* pada filter Stk_{50} = Stokes *Number*
η = Viskositas udara (g/cms) W = Diameter *hole* (cm)
ρ_p= Densitas partikel (g/cm^3) C_c = Faktor Koreksi *Cunnigham*

Pengukuran dilakukan selama dua menit setiap sampel berdasarkan perhitungan pengambilan sampel indoor dari penelitian sebelumnya [4]. Kemudian dari hasil sampel yang diambil menggunakan impaktor didapatkan perhitungan jumlah koloni yang akan dikonversi menjadi konsentrasi bakteri per-satuan volume (CFU/m^3) dengan membagi jumlah koloni dengan volume udara. *BioStage Impactor* SKC ini memiliki 400 lubang filter yang masing-masingnya berdiameter 0.25 mm dan bekerja pada *flow rate* 28.3 L/min.

2.2 Alat Ukur Parameter Non-Biologi

Pengukuran parameter non-biologi yang tersebar di udara dilakukan dengan menggunakan perangkat yang terdiri dari beberapa *low-cost* sensor berbeda seperti sensor DHT 22 untuk mengukur temperatur (T) dan Kelembapan Relatif, sensor SKU-SEN0177 untuk mengukur konsentrasi partkulat berukuran < 2.5 μm ($PM_{2.5}$) yang bekerja menggunakan prinsip kerja hamburan cahaya, dan sensor SKU-SEN0159 untuk mengukur konsentrasi gas Karbon dioksida (CO_2) dengan prinsip kerja NDIR atau *Non-Dispersive Infrared* [17]. *Chamber* yang terdiri atas beberapa perangkat low-cost sensor tersebut juga dilengkapi oleh Kipas (*fan*) untuk memudahkan sampel udara masuk ke dalam *chamber*. Perangkat kemudian perlu disambungkan ke sumber listrik (AC) agar dapat bekerja. Sketsa perangkat pengukuran parameter non-biologi dijelaskan pada **Gambar 2.**



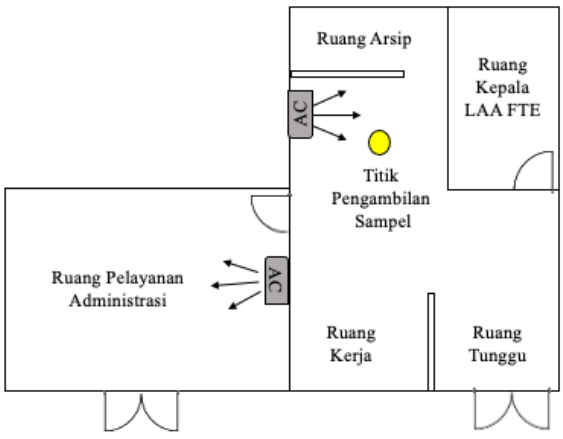
Gambar 2. Sketsa Perangkat Sensor Pengukuran Parameter Non-biologi [17].

2.3 Lokasi Penelitian

Lokasi pengukuran dilakukan di Ruang Administrasi atau yang selanjutnya akan disebut sebagai Ruangan LAA. Ruangan tersebut berada di lantai 1 Gedung Deli, salah satu gedung yang terletak di Universitas Telkom, yaitu di wilayah Fakultas Teknik Elektro. Potensi sumber emisi yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara di daerah Gedung Deli berasal dari beberapa tempat pembakaran sampah sekitar, aktivitas industri, jalan raya, dan pembangunan pemukiman yang lokasinya berdekatan dengan kawasan Universitas Telkom. Alat ukur parameter biologi dan non-biologi diletakkan di tengah ruangan. Pengambilan sampel udara biologi dan non-biologi dilakukan secara paralel dengan meletakan alat ukur di ketinggian 1,5 meter di atas permukaan lantai dengan asumsi rata-rata tinggi manusia dewasa [14].

Sistem ventilasi ruangan merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas udara di dalam suatu ruangan karena penggunaan sistem ventilasi mendukung terjadinya proses sirkulasi udara. Proses sirkulasi udara yaitu proses pertukaran udara yang masuk dan keluar ruangan. Sistem ventilasi menentukan kondisi kenyamanan termal ruangan itu yang berdampak langsung terhadap penghuni ruangan. Sistem ventilasi di dalam ruangan dibedakan menjadi dua, yaitu sistem ventilasi alami dan sistem ventilasi mekanis yang memanfaatkan bantuan alat mekanis seperti *fan* atau *blower*.

Pada saat pengambilan sampel yang berlangsung selama dua hari pada 11 dan 12 Agustus hanya terdapat tiga hingga empat karyawan yang melakukan *Work From Office* (WFO) akibat dampak dari pandemi *Covid*-19 yang sedang berlangsung dari jumlah kondisi normal yaitu tujuh karyawan. Ruang kerja LAA FTE Gedung Deli Universitas Telkom sendiri tanpa ruang pelayanan administrasi memiliki luas sebesar 76.8 m^2. Ilustrasi denah ruang kerja LAA FTE dijelaskan pada **Gambar 3** dimana di dalam ruangan tersebut terdapat ruang kepala LAA FTE yang dipisahkan oleh pintu dan sekat kaca. Selain itu, sisa ruang kerja yang ada diberi beberapa sekat berupa rak besar untuk membagi ruangan menjadi beberapa area. Sekat pertama di sebelah pintu masuk membagi area tunggu (*waiting space*) dan area kerja (*working space*).



Gambar 3. Denah Ruang LAA FTE

Jenis konstruksi yang digunakan pada Ruang Kerja LAA yaitu lantai berupa ubin dan karpet, dinding berupa tembok beton, batap erupa plafon akustik dan sistem ventilasi yang ada pada ruangan hanya berupa jendela kaca yang selama pengambilan sampel selalu dalam keadaan tertutup, sehingga untuk sirkulasi udara di dalam ruangan perlu mengandalkan sistem ventilasi lain berupa *Air Conditioner* (AC). Oleh karena itu, waktu pengambilan sampel udara setiap harinya dibagi menjadi dua kali, yaitu saat sebelum waktu kerja dimulai dimana

AC dalam keadaan tidak menyala (*off*) dan saat berlangsungnya waktu kerja dimana AC sudah dalam keadaan menyala (*on*).

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Pengukuran Kualitas Non-biologi Udara

Selain memiliki data yang didapat dari hasil pengukuran dalam ruang yang diambil selama kurang lebih empat jam, data yang terukur di dua stasiun tetap yang berada di Kawasan Universitas Telkom seperti stasiun tetap yang berada di *rooftop* Gedung Deli serta stasiun tetap yang berada di *rooftop* Gedung Tokong Nanas (GKU) juga dijadikan sebagai data pembanding. Namun terdapat kendala pengukuran saat hari pertama dimana sensor yang digunakan untuk mengukur konsentrasi CO_2 mengalami masa *pre-heating* yang memakan waktu cukup lama, sehingga berdampak pada hasil data pengukuran yang didapatkan. Perbandingan hasil pengukuran kualitas non-biologi udara dijelaskan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2.**

Tabel 1. Perbandingan Kualitas Udara *Indoor* dan *Outdoor* 11 Agustus 2020

Parameter	LAA FTE	Stasiun Tetap Gd. Deli	Stasiun Tetap GKU
RH (%)	97,13	72,96	96,25
T(^{0}C)	26,5	30,84	29,44
$PM_{2.5}$(µg/m^3)	93,23	147,11	113,76
CO_2 (ppm)	804,04	404,17	549,01

Tabel 2. Perbandingan Kualitas Udara *Indoor* dan *Outdoor* 12 Agustus 2020

Parameter	LAA FTE	Stasiun Tetap Gd. Deli	Stasiun Tetap GKU
RH (%)	97,23	70,07	83,42
T(^{0}C)	26,25	32,03	32,22
$PM_{2.5}$(µg/m^3)	51,28	73,15	131,23
CO_2 (ppm)	648,25	396,85	548,5

Dari hasil perbandingan data, didapatkan bahwa kelembapan relatif di dalam ruang cenderung lebih tinggi dibandingkan di luar ruangan. Hal itu disebabkan karena kenaikan temperatur dari pagi ke siang hari menyebabkan penurunan pada kelembapan relatif lingkungan. Sedangkan di dalam ruang kerja LAA FTE, kelembapan relatif serta temperatur dalam ruang dijaga oleh AC ruangan sehingga selama waktu pengukuran yang dilakukan selama setengah hari pada hari pertama dan kedua pengukuran tersebut parameter meteorologi baik kelembapan relatif maupun temperatur dalam ruang tidak menunjukan adanya perubahan yang signifikan dibandingkan dengan di luar ruang yang terukur oleh stasiun tetap Gedung Kuliah Umum dan Gedung Deli Universitas Telkom. Hasil pengukuran partikulat ($PM_{2.5}$) di dalam ruangan didapatkan nilainya menurun diakibatkan oleh penggunaan filter pada AC. Sedangkan, hasil pengukuran partikulat di luar ruangan berdasarkan stasiun tetap GKU dan Gedung Deli Universitas Telkom menunjukan hasil yang naik turun. Pada pengukuran parameter karbon dioksida di dalam ruangan terdapat kendala yaitu pada 11 Agustus 2020 sensor CO_2 yang digunakan mengalami masa *pre-heating* yang cukup lama, sehingga hasil pengukuran yang dianggap stabil adalah hasil pengukuran yang didapat dua hingga tiga jam setelah sensor mulai di-*running*. Pada pengukuran di hari berikutnya (12 Agustus 2020) didapatkan hasil yang lebih stabil karena masa *pre-heating* sensor tidak memakan durasi yang lama dan beroperasi lebih optimal. Setelah melakukan pengukuran dan validasi hasil data konsentrasi karbon dioksida didapatkan hasil pengukuran di dalam ruangan nilainya lebih tinggi dibandingkan di luar ruangan. Hal itu terjadi karena sistem ventilasi ruangan yang hanya mengandalkan AC dan berdasarkan referensi, penggunaan AC tidak menurunkan konsentrasi CO_2 secara efektif [9] sedangkan pertukaran udara dari dalam dan luar ruangan tidak terjadi secara berkala, hanya terjadi ketika pintu ruangan dibuka sesekali.

3.2 Hasil Pengukuran Kualitas Biologi Udara

Pengukuran parameter biologi dilakukan sebanyak dua tahapan, yaitu pada saat sebelum dimulainya waktu kerja (*before working hours*) dan saat waktu kerja berlangsung (*during working hours*) yang pada setiap tahapnya dilakukan metode pengambilan sampel berupa *active sampling* sebanyak dua kali pengukuraan menggunakan instrumen *Bioaerosol sampler*. Sehingga dalam dua hari pengukuran didapatkan sampel parameter biologi sebanyak delapan sampel. Dari hasil pengukuran parameter biologi tidak hanya berhasil mencuplik jumlah koloni bakteri melainkan terdeteksi juga adanya sedikit koloni jamur (*Mold*) dan *Swarming* yang merupakan koloni bakteri yang saling menumpuk. Bioaerosol di dalam ruang memang lebih banyak mengandung bakteri yang kebanyakan bersumber dari penghuni ruangan itu sendiri, dibandingkan jumlah koloni jamur yang akan lebih banyak ditemukan di luar ruangan [10]. Setelah didapatkan jumlah koloni bakteri dari hasil perhitungan

menggunakan *colony counter*, kemudian jumlah koloni tersebut dikonversi menjadi konsentrasi bakteri per-volume (CFU/m^3) seperti pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Hasil Perhitungan Konsentrasi Bakteri

Waktu Pengukuran		CFU/m^3 Min	CFU/m^3 Max
11 Agustus 2020	*Before Working Hours*	389	159
	During Working Hours	830	71
12 Agustus 2020	*Before Working Hours*	318	53
	During Working Hours	141	106

Hasil pengukuran CFU/m^3 kemudian dibandingkan dengan acuan baku penelitian ini, yaitu Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah yang menyatakan bahwa angka kuman sebagai kontaminan biologi kurang dari 700 CFU/m^3. Hasil dari sampel yang dimiliki menunjukan bahwa tujuh dari delapan sampel membuktikan bahwa kualitas biologi udara di ruang kerja LAA FTE masih berada di rentang yang sesuai standar. Adapun empat genus bakteri tersangka yang berhasil teridentifikasi pada sampel hasil pengukuran kualitas biologi udara yaitu *Micrococcus, Staphylococcus sp.* (tersangka S. *epidermidis*), *Streptococcus sp.*, dan *Bacillus sp.* yang merupakan bakteri flora normal pada manusia namun beresiko bagi kesehatan apabila terpapar secara berlebihan. Namun, dalam penelitian ini tidak membahas lebih jauh tentang kesehatan, khususnya dampak Kesehatan secara langsung dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan.

3.3 Korelasi Hasil Pengukuran Parameter Non-biologi dan Parameter Biologi

Setelah didapatkan hasil pengukuran, rata-rata dari setiap parameter yang diperoleh dari hasil pengolahan data kemudian di-*plotting* menggunakan grafik linear untuk diketahui persamaan linearnya dan didapatkan juga nilai R^2 atau koefisien determinasi seperti pada penelitian sebelumnya [4]. Parameter yang akan dibandingkan adalah parameter meteorologi, fisik, dan kimia terhadap parameter biologi agar diketahui pengaruh parameter non-biologi terhadap pertumbuhan parameter biologi di udara dalam ruang. Hasil rata-rata parameter lain seperti RH, T, $PM_{2.5}$ dan CO_2 di-*plotting* sebagai sumbu X, sebaliknya rata-rata parameter biologi dalam CFU/m^3 akan di-*plotting* sebagai sumbu Y.

Nilai koefisien determinasi yang didapatkan untuk seluruh parameter pada tanggal 11 dan 12 Agustus nilainya sangat rendah. Hal tersebut diduga dipengaruhi langsung oleh penggunaan AC saat pengukuran dan kondisi lingkungan pada saat itu. Dengan adanya penggunaan AC pada ruang LAA FTE, Temperatur dapat diatur sesuai kenyamanan termal penghuni, sedangkan Kelembapan Relatif nilainya dipengaruhi oleh besar Temperatur. Kondisi udara yang mencapai kenyamanan termal tidak mendukung pertumbuhan bakteri yang tumbuh optimum pada 37^0C dan RH di atas 85%. Beberapa penelitian sebelumnya telah menjelaskan bahwa hubungan antara $PM_{2.5}$ dan bioaerosol cukup lemah, namun dengan ukuran 1-25 µg memungkinkan bagi bakteri untuk menumpang hidup pada partikulat dan menyebabkan ukurannya akan melebihi ukuran aslinya, yaitu di atas 2.5 µm sehingga mempengaruhi pembacaan sensor saat pengukuran. Konsentrasi karbon dioksida di dalam ruang sering dikaitkan dengan adanya keberadaan manusia sebagai penghuni. Meskipun dari hasil pengukuran diasumsikan bahwa sumber utama yang menjadi kontributor adanya bakteri di udara dalam ruang adalah manusia yang menghuni ruangan dan penelitian lain juga mengatakan bahwa jumlah bakteri dapat ditentukan dari banyak penghuni ruangan [11], namun hasil pengukuran kadar karbon dioksida di udara dalam ruang tidak menujukan adanya korelasi yang signifikan dengan jumlah penghuni ruangan karena hanya sedikit karyawan yang sedang menjalankan *Work From Office* (WFO), yaitu sekitar tiga sampai empat orang. Hasil perhitungan koefisien determinasi pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Hasil Koefisien Determinasi Parameter Non-biologi dan Parameter Biologi

Korelasi	**11 Agustus 2020**	**12 Agustus 2020**
RH dan Bioaerosol	0,0723	0,168
T dan Bioaerosol	0,1224	0,1821
CO_2 dan Bioaerosol	0,0608	0,2218
$PM_{2.5}$ dan Bioaerosol	0,1713	0,0289

Selain bersumber dari hasil respirasi manusia, sumber emisi karbon dioksida di udara juga dapat berasal dari beberapa sumber lainnya seperti hasil dari proses pembakaran bahan bakar, pembakaran sampah, asap industri, dan lain sebagainya. Ruang kerja LAA Fakultas Teknik Elektro berada di lantai 1 Gedung Deli, Universitas Telkom dimana ruangan tersebut sangat dekat dari pintu masuk utama dan lokasi Gedung Deli sendiri juga terletak

sangat dekat dengan gerbang masuk kampus yang langsung terhubung dengan Jl. Radio Palasari, Dayeuhkolot dimana di jalan raya tersebut cukup banyak kendaraan bermotor yang berlalu-lalang dan terdapat pula tempat pembakaran sampah yang lokasinya cukup dekat dari kampus. Oleh karena itu, dengan adanya penggunaan AC sebagai sistem ventilasi ruangan yang bekerja dengan prinsip daur konstan dalam upaya menghemat penggunaan listrik secara efisien, memungkinkan bahwa hal tersebut tidak cukup untuk menurunkan kadar karbon dioksida dalam ruangan [10].

3.4 Perbandingan Hasil Pengukuran Kualitas Udara antara *Controlled Room* dan *Uncontrolled Room*

Penelitian terkait bioaerosol di udara dalam ruang sebelumnya pernah dilakukan di ruangan dengan sistem ventilasi yang berbeda, yaitu sistem ventilasi atap terbuka. Penelitian tersebut dilakukan di Musholla lantai 1, 2, dan 3 yang juga berlokasi di gedung yang sama. Selain itu, metode pengukuran yang digunakan serta parameter kualitas udara yang diukur pada penelitian sebelumnya juga sama dengan penelitian ini. Ruangan dengan sistem ventilasi alami atap terbuka yaitu Musholla lantai 1, 2, dan 3 pada penelitian ini selanjutnya akan disebut sebagai *uncontrolled room*. Hal tersebut didasarkan dengan asumsi kondisi kualitas udara yang cenderung dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar. Sedangkan, ruangan dengan sistem ventilasi yang menggunakan AC yaitu ruang kerja LAA pada penelitian ini akan disebut sebagai *controlled room* karena kondisi ruangan dapat diatur dan disesuaikan dengan kenyamanan penghuni dengan mengatur temperatur ruangan menggunakan *remote control*. Dengan adanya perbedaan sistem ventilasi yang digunakan pada ruangan-ruangan tesebut, didapatkan hasil pengukuran seperti pada **Tabel 5** dan **Tabel 6.**

Tabel 5. Kualitas Udara Non-Biologi *Controlled* dan *Uncontrolled Room* [4].

Parameter	*CONTROLLED ROOM*		*UNCONTROLLED ROOM*		
	11/08/ 20	12/08/20	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
RH (%)	97,13	97,23	75	62	65
T(^{0}C)	26,5	26,25	27	27	28
$PM_{2.5}$(uμ/m^3)	93,23	51,28	20	17	18
CO_2 (ppm)	804,04	648,25	793	365	365

Tabel 6. Kualitas Udara Biologi *Controlled* dan *Uncontrolled Room* [4].

	Kualitas Biologi Udara				
Konsentrasi Bakteri (CFU/m^3)	362	155	5583	1890	1278
Genus Bakteri	*Micrococcus, Staphylococcus sp, Streptococcus sp, Bacillus sp.*		*Enterobacteriaceae sp, Streptococcus sp, Bacillus sp*	*Enterobacteriaceae sp, Streptococcus sp, Enterococcus sp, Basillus sp*	*Enterobacteriaceae sp, Staphylococcus sp, Bacillus sp*

Perbandingan nilai kelembapan relatif pada *controlled room* mendekati nilai 100% karena dipengaruhi oleh titik pengambilan sampel yang berada di s*treamline* AC, sedangkan pada *uncontrolled room* RH memiliki nilai yang tinggi karena kondisi udara yang lembab, akibat berada di dekat sumber air. Parameter lainnya yaitu nilai temperatur pada *controlled room* nilainya lebih rendah dibandingkan pada *uncontrolled room*, dimana kondisi udaranya lebih sejuk karena pada *controlled room* suhu ruangan dapat diatur sesuai dengan kenyamanan penghuni. Selanjutnya perbandingan hasil pengukuran konsentrasi partikulat $PM_{2.5}$ pada *controlled room* yang didapat nilainya lebih tinggi dari pada *uncontrolled room*, dimana parameter $PM_{2.5}$ yang didapatkan di dalam ruangan cenderung mengikuti pola konsentrasi luar ruangan didukung dengan data konsentrasi $PM_{2.5}$ luar ruangan saat pengukuran di LAA lebih besar daripada Musholla yang hasilnya sebesar sebesar 20 μg/m^3, 16.5 μg/m^3, dan 20.8 μg/m^3. Selain itu kelembapan relatif yang tinggi akibat pengukuran dibawah *streamline* AC mempengaruhi konsentrasi $PM_{2.5}$ dimana parikulat memiliki karakteristik higroskopis yaitu dapat menyerap uap air yang ada di udara [12]. Perbandingan parameter non-biologi yang terakhir dalam pengukuran ini adalah konsentrasi CO_2, yaitu pada *controlled room* nilainya lebih tinggi dibandingkan pada *uncontrolled room* karena jumlah penghuni di ruang kerja LAA berada di ruangan dengan durasi lebih lama (tetap) daripada penghuni di Musholla yang datang hanya untuk keperluan ibadah, serta berdasarkan penelitian sebelumnya, dijelaskan bahwa ruang Musholla lantai 1 merupakan ruangan yang lebih tertutup dengan tembok menjulang tinggi ke atap sehingga sistem ventilasi yang dimiliki ruangan tersebut lebih kecil daripada sistem ventilasi yang dimiliki ruang Musholla di lantai 2 dan 3 yang ruanganya hanya diberi sekat sehingga atapnya masih terbuka.

Sedangkan untuk konsentrasi bakteri pada *controlled room* nilainya lebih rendah dibandingkan *uncontrolled room*, hal tersebut didukung oleh kondisi faktor meteorologi (RH dan T) yang lebih nyaman sehingga tidak mendukung adanya pertumbuhan bakteri secara signifikan. Penghuni yang menjadi kontributor bakteri di ruang LAA jumlahnya lebih tetap yaitu hanya pekerja yang berada di dalam ruangan, sedangkan pada Musholla penghuni yang datang lebih banyak dan silih berganti. Selain itu, tidak hanya terbantu dengan adanya sistem ventilasi berupa AC yang membuat udara di dalam ruang kerja LAA menjadi lebih sejuk, paparan sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan melalui jendela kaca yang cukup besar juga membantu menghambat adanya pertumbuhan bakteri, tidak seperti pada Musholla yang kondisi ruangannya yang minim terpapar oleh sinar matahari dan didukung oleh lokasi yang berdekatan dengan sumber air, lantai ruangan berupa karpet yang mudah menyerap air, serta proses sirkulasi udara yang kurang baik sehingga sangat mendukung adanya pertumbuhan bakteri di Musholla Gedung Deli, khususnya di lantai 1 yang memiliki kelembapan relatif paling tinggi dibandingkan dengan Musholla di lantai 2 dan lantai 3.

Tabel 7. Perbandingan Korelasi dengan Penelitian Sebelumnya [4].

Korelasi	Penelitian Sebelumnya	11 Agustus 2020	12 Agustus 2020
RH dan Bioaerosol	0,7988	0,0723	0,168
T dan Bioaerosol	0,9014	0,1224	0,1821
CO_2 dan Bioaerosol	0,8714	0,0608	0,2218
$PM_{2.5}$ dan Bioaerosol	0,0031	0,1713	0,0289

Tabel 7 menunjukan perbandingan hasil perhitngan koefisien determinasi pada *controlled* dan *uncontrolled room*. Perbedaan sistem ventilasi ruangan menghasilkan perbedaan nilai koefisien determinasi antara tiap parameter non-biologi dan parameter biologi. Nilai koefisien determinasi hasil pengukuran di ruangan dengan sistem ventilasi terbuka lebih besar dibandingkan nilai koefisien korelasi hasil pengukuran di ruangan dengan sistem ventilasi AC. Pada penelitian sebelumnya didapatkan adanya hubungan yang cukup kuat antara kadar bioaerosol di udara dalam ruang dengan kelembapan relatif, temperatur, dan karbon dioksida dengan nilai R^2 masing-masing 79.88%, 90.14%, dan 87.14%. Sedangkan, pada penelitian ini nilai R^2 antara kadar bioaerosol di udara dalam ruang dengan RH, T, dan CO_2 cukup rendah atau hubungannya lemah. Tetapi, terdapat kesamaan hasil hubungan antara kadar bioaerosol di udara dalam ruang dengan partikulat ($PM_{2.5}$) dimana pada kedua penelitian didapatkan hasil hubungan yang sama-sama lemah. Oleh karena itu, dapat diasumsikan bahwa manusia yang menghuni ruangan dapat dijadikan tersangka sebagai sumber bioaerosol di dalam ruang [13].

4. Kesimpulan

Indoor Air Quality (IAQ) merupakan tolak ukur baik atau tidaknya udara dalam ruangan yang tidak hanya menentukan kesehatan, tetapi juga berdampak pada kenyamanan dan produktivitas penghuninya. Pengukuran terkait kualitas udara di dalam ruangan telah dilakukan pada 11 dan 12 Agustus 2020 di ruang kerja LAA Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom menggunakan *bioaerosols air sampler* dan *low-cost* sensor. Setelah sampel udara di ruang LAA FTE diambil dan diidentifikasi, didapatkan rerata pengukuran RH, T, $PM_{2.5}$, CO_2, dan konsentrasi bioaerosol pada hari pertama masing-masing yaitu 97%, 27^0C, 93 µg/m^3, 804 ppm, dan 362 CFU/m^3. Dengan kondisi udara yang sama, kualitas udara yang didapatkan di hari kedua relatif lebih bersih, yaitu 51 µg/m^3, 648 ppm, dan 155 CFU/m^3. Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengukuran, parameter yang telah memenuhi standar acuan Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 1077/MENKES/PER/V/201 yaitu hanya temperatur yang berada dalam rentang 18-30^{0}C dan konsentrasi bakteri per-satuan volume yang menunjukan tujuh dari delapan sampel yang telah diidentifikasi memenuhi standar yaitu max. 700 CFU/m^3. Terdapat empat genus bakteri yang teridentifikasi yaitu *Micrococcus, Staphylococcus sp, Streptococcus sp, dan Bacillus sp*. Genus bakteri yang teridentifikasi umumnya berpotensi menyebabkan resiko penyakit pernapasan yaitu pneumonia (radang paru-paru), namun paparan bakteri genus *Micrococcus* dan *Bacillus sp*. lebih berisiko apabila penghuni memiliki riwayat gangguan antibodi. Selain itu, tidak ditemukan adanya korelasi yang signifikan antara parameter non-biologi dengan parameter biologi yang telah diukur, hal tersebut diduga merupakan pengaruh dari sistem ventilasi ruangan yang menggunakan AC, sehingga faktor lain yang mendukung adanya polutan biologi di ruangan diduga berasal dari penghuni ruangan itu sendiri.

Referensi:

[1] E. Lisyastuti, "Jumlah Koloni Mikroorganisme Udara Dalam Ruang dan Hubungannya Dengan Kejadian Sick Building Syndrome (SBS) Pada Pekerja Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT di Kawasan PUSPITEK Serpong Tahun 2010," Depok, 2010.

[2] Candrasari, Cahyatri Rupisianing; Mukono, J, "Hubungan Kualitas Udara Dalam Ruang Dengan Keluhan Penghuni Lembaga Pemasyarakatan Kelas IIA Kabupaten Sidoarjo," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Volume 7 No. 1 Tahun 2013,* pp. 21-25, 2013.

[3] H. Shidki, "Analisis Kualitas Udara dalam Ruangan pada Kantor Terbuka di Universitas Telkom," Bandung, 2019.

[4] A. H. Firdaus, "Pra-studi Pemantauan Bioaerosol di Dalam Ruang dan Analisisnya," Universitas Telkom, Bandung, 2020.

[5] A. Sya'bani, "Pengukuran PM2.5 Pada Struktur Vertikal di Daerah Cekungan Bandung Raya Secara Real-Time Berbasis GSM," Universitas Telkom, Bandung, 2019.

[6] L. S. Supriatin, "Bandung, Kota di Cekungan yang Mengimpor Polutan Udara," *Media Dirgantara,* vol. 10, no. 4, pp. 71-72, 2015.

[7] Fitria, Laila; Wulandari, Ririn Arminsih; Hermawati, Ema; Susanna, Dewi, "Kualitas Udara Dalam Ruang Perpustakaan Universitas "X" Ditinjau dari Kualitas Biologi, Fisik, dan Kimiawi," *Makara Kesehatan,* vol. 12, no. 2, pp. 77-83, 2008.

[8] Prasasti, Corie Indra; Mukono, J.; Sudarmaji, "Pengaruh Kualitas Udara Dalam Ruangan Ber-AC Terhadap Gangguan Kesehatan," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Vol.1 No.2,* pp. 160-169, 2005.

[9] Yi-Chyun Hsu, Pei-Yi Kung, Ting-Nien Wu, Yu-Hwei SHen, "Characterization of Indoor-Air Bioaerosols in Southern Taiwan," Departement of Resource Engineering, National Cheng Kung University, Tainan, 2012.

[10] F. G. U. Dewi, "Pengaruh Kecepatan dan Arah Aliran Udara Terhadap Kondisi Udara dalam Ruangan Pada Sistem Ventilasi Alamiah," *Jurnal Rekayasa Mesin,* vol. 3, no. 2, pp. 299-304, 2012.

[11] Q. Afifa, "Modul Pembelajaran Bakteri," [Online]. Available: https://www.academia.edu/33131836/BAKTERI_SMA_MA_Kelas_x_semester_pertama. [Accessed 24 September 2019].

[12] M. Hermawan, "Pewarnaan Gram," in *Mikrobiologi Dasar*.

[13] T. Aryadi, S.Sinto Dewi, "Pengaruh Sinar Ultra Violet Terhadap Pertumbuhan Bakteri Bacillus sp. Sebagai Bakteri Kontaminan," *Jurnal Kesehatan,* vol. 2, no. 2, pp. 20-25, 2009.

[14] Baurès, Estelle; Blanchard, Olivier; Mercier, Fabien; al., et, "Indoor Air Quality in Two French Hopsitals: Measurement of Chemical and Microbiology Contaminant," Univ Rennes, Rennes, 2018.

[15] Li, Lingjuan Wang; III, Otto D. Simons; Wheeler, Eileen Fabian, "Air Quality Education in Animal Agriculture: Bioaerosol Sampling in Animal Environments," 2012.

[16] Baron, Paul A.; Wilekke, Klaus, "Principle of Bioaerosol Collection," in *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications.*, Canada, Wiley Interscience, 2001, pp. 760-768.

[17] A. Abdurrachman, "Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Gas CO2 dan NO2 untuk Pengamatan Emisi dari Pembakaran Sampah Rumah Tangga," Universitas Telkom, Bandung, 2019.

[18] Nayla Kamilia Fithri, Putri Handayani, Gisely Vionalita, "Faktor-Faktor yang Berhubungan dengan Jumlah Mikroorganisme Udara dalam Ruang Kelas Lantai 8 Universitas Esa Unggul," Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan Univeristas Esa Unggul, Jakarta.

[19] Prilly V. Londok; Herlyannis Homenta; Velma Buntuan, "Pola Bakteri Aerob yang Berpotensi Menyebabkan Infeksi Nosokomial di Ruang ICU BLU RSUP Prof. Dr. R.D. Kandou Manado," *Jurnal e-Biomedik (eBm) ,* vol. 3, no. 1, 2015.

[20] Agung Cahya Pratama, Elli Yane Bangkele, "Identifikasi Bakteri Udara di Ruang Rawat Inap Paviliun Melati RSUN Undata Palu Tahun 2017," *Jurnal Ilmiah Kedokteran,* vol. 5, 2018.

[21] T. E. Herchilne, "e-Medicine," Medscape, 12 June 2019. [Online]. Available: https://emedicine.medscape.com/article/228816-overview. [Accessed 11 November 2020].

[22] Z. Z. Khan, "e-Medicine," Medscape, 7 September 2018. [Online]. Available: https://emedicine.medscape.com/article/228936-overview. [Accessed 11 November 2020].

[23] Raimunah, Leka Lutpiana, Jasmadi Joko Kartiko, Wahdah Norsiah, "Angka Kuman Udara Ruang Rawat Inap Anak Dengan Dan Tanpa Air Conditioner (AC) di Rumah Sakit," *Jurnal Skala Kesehatan Politeknik Kesehatan Banjarmasin,* vol. 9, no. 1, 2018.

[24] Nosa Septiana Anindita, Muslih Anwar, Widodo, Tiyas Tono Taufiq, Tutik Dwi Wahyuningsih, "Ketahanan Isolat Bakteri Asal Feses Bayi Terhadap Variasi Suhu dan pH," *Proceeding Health Arcitecture,* vol. 1, no. 1, 2017.

[25] Li Zhao, Chao Chen, Ping Wang, Ziguang Chen, et al, "Influence of Atmospheric Fine Particulate Matter (PM2.5) Pollution on Indoor Environment during Winter in Beijing," *Building and Environment,* 2015.

[26] F. Vaicdan, "Pengamatan Konsentrasi Massa PM2.5 di Cekungan Udara Bandung Raya," Telkom University, 2020.

[27] L. Anggraeni, "Analisis Kualitas Udara dalam Ruang Berdasarkan Prameter O2, CO2, PM2.5, dan TVOC," Universitas Telkom, Bandung, 2020.

[28] Karina Ponsoni, Maria Stella Gonçalves Raddi, "Indoor Air Quality Related to Occupancy at an Air-Conditoned Public Building," *Brazillian Archives of Biology and Technology,* vol. 53, no. 1, pp. 99-103, 2010.

[29] Delima Kurnia Sari, Mursid Raharjo, Tri Joko, "Hubungan Kondisi Lingkungan Fisik Rumah Dengan Kejadian Pneumonia pada Anak Balita di Kecamatan Pacitan, Kabupaten Pacitan," *Jurnal Kesehatan Masyarakat,* vol. 6, no. 6, 2018.

[30] Helena Tlaskalova-Hogenová, Renata Štêpánkovà, Tomàs Hudcovic, Ludmila Tučkovà, et al., "Commensal Bacteria (Normal Microfolra), Mucosal Immunity, and Chronic Inflammantory and Autoimmune Disease," *Immunology Letters,* no. 93, pp. 97-108, 2004.

[31] Malgorzata Golofit-Szymczak, Rafal L. Górny, "Bacterial and Fungal Aerosols in Air-Conditoned Office Buildings in Warsaw, Poland in The Winter Season," *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics (JOSE),* vol. 16, no. 4, pp. 465-476, 2010.

[32] I. A. M. S. Anjani, "Kualitas Udara Dalam Ruang Kerja," *Jurnal Skala Husada Volume 8 No. 2 Tahun 2011,* pp. 178-190, 2011.

[33] Operating Instructor: Biostage Impactor, SKC.

[34] Rachmatantri, Ismadiar; Hadiwidodo, Mochtar; Huboyo, Haryono Setiyo, "Pengaruh Penggunaan Ventilasi (AC dan Non-AC) Terhadap Keberadaan Mikroorganisme Udara di Ruang Perpustakaan," Fakultas MIPA Universitas Diponegoro, Semarang.

[35] M. S. A. Hanif, "Pola Resistansi Bakteri dari Kultur Darah," FK UI, Depok, 2009.

[36] Kaushik, Rajni; Balasubramanian, Rajasekhar; cruz, Armah A. de la, "National Center for Biotechnology Information," 10 February 2012. [Online]. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3318827/. [Accessed 5 November 2019].

[37] "PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIANOMOR 1077/MENKES/PER/V/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruangan Rumah," Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2011.

[38] Rathnayake, Chathurika M.; Jayarathne, Thilina; Kettler, Josh; Huang, Yuefan; Stone, Elizabeth A.; all, et., "Influence of Rain on The Abundance of Bioaerosols in Fine and Coarse Particles," University of Iowa, Iowa, 2017.

[39] Huang, Hsiao-Lin; Lee, Mei-Kuei; Shih, Hao-Wun, "Assesement of Indoor Bioaerosols in Public Spaces by Real Time Measured Airbone Particles," Chia Nan University of Pharmacy and Science, Tainan City, 2017.

[40] [Online]. Available: http://etheses.uin-malang.ac.id/963/4/05520026%20Bab%203.pdf. [Accessed 25 September 2019].

[41] Kang, So Mi; Heo, Ki Joon; Lee, Byung Uk, "Why Does Rain Increase the Concentrations of Environtmental Bioaerosols druing Monsoon?," Konkuk University, Seoul, 2015.

[42] A. D. Estillore, J. V. Trueblood and V. H. Grassian, "Atmospheric Chemistry of Bioaerosols: Heterogeneous and Multiphase Reactions with Atmospheric Oxidants and Other Traces Gases," Royal Society of Chemistry, San Diago, 2016.