

**PERANCANGAN KUALITAS UDARA RUANG OPERASI DENGAN
PENDEKATAN PRINSIP ERGONOMI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri Program Sarjana - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Tiara Febian

No. Mahasiswa : 20522367

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui karya tulis tugas akhir ini yang berjudul “**PERANCANGAN KUALITAS UDARA RUANG OPERASI DENGAN PENDEKATAN PRINSIP ERGONOMI**” merupakan hasil karya gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang sudah saya jelaskan beserta sumbernya. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya. Insya Allah jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam tugas akhir dan hak intelektual, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai norma yang berlaku dan bersedia ijazah yang saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 10 September 2024



(Tiara Febian)
20522367

SURAT BUKTI PENELITIAN



PT. UNISIA EDU MEDIKA
Rumah Sakit
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Srandakan Km. 5,5 Wijirejo, Pandak, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta,
55761 Telp. (Hotline), 1500-204, Website: www.rsuii.co.id Email: contact@rsuii.co.id



Nomor : 269/1/08/VII/2024
Lampiran : -
Perihal : **Keterangan Selesai Penelitian**

Kepada Yth.
**Sekretaris Prodi S1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**
di tempat

Assalamu 'alaikum wr wb,

Dengan hormat,
Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala nikmat yang kita rasakan sehingga dapat beraktivitas dengan lancar.

Menanggapi surat dari Sekretaris Prodi S1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Nomor 34/penelitian Ta/Sek.Prodi.S1/20/TI/V/2023 tertanggal 07 Mei 2024 perihal Penelitian yang dilaksanakan di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia oleh:

Nama Mahasiswa : Tiara Febian
NIM : 20522367
Program Studi : S-1 Teknik Industri
Judul Penelitian : Perancangan Sistem Tata Udara Ruang
Operasi Dengan Pendekatan Ergonomi

Bersama surat ini kami menginformasikan bahwa yang bersangkutan telah **SELESAI** melakukan penelitian di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia.

Demikian surat ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu 'alaikum wr wb.

RUMAH SAKIT
Yogyakarta, 01 Juli 2024
Direktur Utama

dr. Mulyo Hartana Sp.PD

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PERANCANGAN KUALITAS UDARA RUANG OPERASI DENGAN
PENDEKATAN PRINSIP ERGONOMI**



Disusun Oleh :

Nama : Tiara Febian

No. Mahasiswa : 20522367

Yogyakarta, 10 September 2024

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Hartomo', written over a white background.

(Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D. IPU., ASEAN.Eng)

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
PERANCANGAN KUALITAS UDARA RUANG OPERASI DENGAN
PENDEKATAN PRINSIP ERGONOMI**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Tiara Febian

No. Mahasiswa : 20522367

**Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk
memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 24 - September – 2024

Tim Penguji

Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D. IPU., ASEAN.Eng

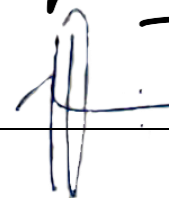
Ketua

Chancard Basumerda, S.T., M.Sc.

Anggota I

Dr. Qurtubi, S.T., M.T.

Anggota II




Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

NIK: 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmannirrahim

Rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya

Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada orang tua

Bapak Rezkan Ali

Ibu Melna Febrina Asrie

Adik saya

Abdul Hakim Ibnu Febian

Hafshah Putri Febian

Kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam membantu, mendukung, serta

memberikan semangat kepada saya

Tugas Akhir ini juga saya persembahkan kepada diri saya sebagai bentuk harapan

akan langkah yang lebih baik dalam menjalani tantangan hidup

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang, melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 6)

“When you leave everything in Allah’s hand, you will see Allah’s hand in everything”

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah rabbil'alamin, atas rahmat, ridho, hidayah dan pertolongannya Allah SWT Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "**PERANCANGAN KUALITAS UDARA RUANG OPERASI DENGAN PENDEKATAN PRINSIP ERGONOMI**".

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir, penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan dan kesempatan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Ketua Program Studi Program Sarja Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D. IPU., ASEAN.Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan memberikan ilmu serta memberikan arahan dan motivasi yang sangat besar dalam melakukan bimbingan sehingga seluruh proses pengerjaan Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan lancar.
4. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Industri Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama masa perkuliahan.
5. Seluruh responden dan pihak terkait yang telah membantu dan terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir penulis.
6. Bapak Rezkan Ali dan Ibu Melna Febrina Asrie selaku kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan doa serta dukungan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan tepat waktu.
7. Abdul Hakim Ibnu Febian dan Hafshah Putri Febian selaku adik penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dalam penyusunan Tugas Akhir.
8. PT Putra Medikaltek Indonesia dan Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan observasi.
9. Seluruh pihak-pihak yang membantu penulis selama penyusunan Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan dalam laporan ini masih banyak terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini bermanfaat dan dapat digunakan sebagaimana mestinya serta berguna khususnya bagi bagi pembaca dan seluruh pihak.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 10 September 2024



Tiara Febian

NIM 20522367

ABSTRAK

Salah satu faktor krusial dalam menjaga sterilitas di ruang operasi (*modular operating theatre*) adalah kualitas udara, yang dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, kecepatan, dan volume udara, yang berperan dalam mengontrol konsentrasi bakteri dan kadar oksigen. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi optimal suhu, kecepatan udara, dan volume udara guna meminimalkan konsentrasi bakteri serta mengoptimalkan kadar oksigen di ruang operasi. Metode eksperimen Taguchi dan analisis statistik Friedman digunakan dalam penelitian ini. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi suhu 18°C, kecepatan udara 0,42 m/s², dan volume udara 17,24 m³/s menghasilkan kadar oksigen 20,7% dan kadar bakteri 153 CFU/m³. Untuk mendukung sterilitas, sistem ventilasi yang menggunakan pre-filter, medium filter, dan ULPA filter direkomendasikan, di mana pre-filter menangkap partikel besar, medium filter menyaring partikel kecil, dan ULPA filter menangani mikroorganisme ultra-kecil. Kombinasi filtrasi ini terbukti efektif dalam menjaga sterilitas ruang operasi, mengurangi risiko infeksi nosokomial, dan meningkatkan keselamatan pasien. Penelitian ini juga merekomendasikan regulasi lebih spesifik terkait kualitas udara di ruang operasi di Indonesia guna mendukung penerapan sistem yang lebih optimal.

Kata Kunci: Modular Operating Theatre, Friedman, Steril, Taguchi, Udara.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Empiris	5
2.2 Landasan Teori.....	13
2.2.1 Modular Operating Theatre.....	13
2.2.2 Ergonomi.....	13
2.2.3 Lingkungan Kerja Fisik.....	13
2.2.4 Sirkulasi Udara.....	14
2.2.5 Friedman Test.....	15
2.2.6 Metode <i>Taguchi</i>	15
2.2.7 Steril.....	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Objek Penelitian	17
3.2 Jenis Data Penelitian	17
3.2.1 Data Primer	17
3.2.2 Data Sekunder	17
3.3 Instrumen Penelitian.....	17
3.4 Metode Pengumpulan Data	20
3.4.1 Observasi.....	20
3.4.2 Wawancara.....	20
3.4.3 Studi Pustaka.....	21
3.4.4 Studi Eksperimen	21
3.5 Metode Pengolahan dan Analisis Data	23
3.5.1 Perhitungan Volume Udara.....	23
3.5.2 Microbial Air Sampler	24
3.5.3 Friedman Test.....	24
3.5.4 Metode <i>Taguchi</i>	28
3.6 Alur Penelitian	29
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	34

4.1	Pengumpulan Data	34
4.2	Penentuan Variabel	34
4.3	Penentuan Faktor dan Level.....	35
4.4	Matriks <i>Full Factorial</i>	35
4.4.1	Hasil Eksperimen	36
4.5	Pengolahan Data.....	37
4.5.1	Friedman Test.....	37
4.5.2	Signal to Noise Ratio (SNR).....	39
4.5.3	Spesifikasi Desain Usulan.....	40
BAB V PEMBAHASAN.....		43
5.1	Analisis <i>Friedman Test</i>	43
5.2	Analisis Uji <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR).....	43
5.3	Analisis Spesifikasi Desain Usulan.....	44
BAB VI PENUTUP		46
6.1	Kesimpulan	46
6.2	Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA		47
LAMPIRAN.....		A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Empiris	9
Tabel 4. 1 Variabel Independen	34
Tabel 4. 2 Variabel Dependen	35
Tabel 4. 3 Faktor dan Level	35
Tabel 4. 4 Matriks <i>Full Factorial</i>	35
Tabel 4. 5 Hasil Penilaian Eksperimen	36
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan SNR	40
Tabel 4. 7 Spesifikasi Desain Filter	41
Tabel 4. 8 Kelebihan Kekurangan Pre Filter	41
Tabel 4. 9 Kelebihan Kekurangan Medium Filter	42
Tabel 4. 10 Kelebihan Kekurangan ULPA Filter	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 <i>Fan</i> /Kipas Angin.....	18
Gambar 3. 2 Termometer.....	18
Gambar 3. 3 Anemometer.....	19
Gambar 3. 4 Oxygen Detector	19
Gambar 3. 5 <i>Microbial Air Sampler</i>	20
Gambar 3. 6 Desain Eksperimen	22
Gambar 3. 7 Alur Penelitian Tahap Pertama	29
Gambar 3. 8 Alur Penelitian Tahap Kedua.....	31
Gambar 3. 9 Alur Penelitian Tahap Ketiga.....	33
Gambar 4. 1 Hasil <i>Friedman</i> Suhu Terhadap Bakteri	37
Gambar 4. 2 Hasil <i>Friedman</i> Kecepatan Udara Terhadap Bakteri.....	38
Gambar 4. 3 Hasil <i>Friedman</i> Volume Udara Terhadap Bakteri.....	38
Gambar 4. 4 Hasil <i>Friedman</i> Suhu Terhadap Oksigen.....	38
Gambar 4. 5 Hasil <i>Friedman</i> Kecepatan Udara Terhadap Oksigen	39
Gambar 4. 6 Hasil <i>Friedman</i> Volume Udara Terhadap Oksigen	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Modular Operating Theatre (MOT) jenis ruang operasi yang diterapkan di fasilitas medis dengan desain komponen pra-pabrikasi. Ruang ini dirancang untuk efisiensi dan integrasi fungsi, berfungsi sebagai area kritis dalam perawatan pasien darurat (Yadav, 2023). Ruang operasi ini mengakomodasi berbagai elemen lingkungan fisik, termasuk pencahayaan, suhu, kebisingan, kelembaban, sirkulasi udara, getaran, dan warna, yang kesemuanya penting untuk kelancaran proses bedah (Nitisemito, 1998). Salah satu aspek lingkungan yang paling signifikan adalah kualitas udara, yang berpengaruh langsung terhadap tingkat sterilisasi ruang operasi (Noya et al., 2020).

Kualitas udara di ruang operasi melibatkan pengaturan suhu dan kelembaban, serta kecepatan dan volume udara, serta filtrasi kontaminan (Refiadi & Usmadi, 2016). Pengelolaan udara yang tidak memadai dapat mempengaruhi kadar oksigen dan kepadatan bakteri, berpotensi meningkatkan risiko infeksi selama prosedur. Konsentrasi bakteri yang tinggi dapat menurunkan tingkat sterilitas udara, sehingga meningkatkan kemungkinan infeksi nosokomial (Charuniza et al., 2020).

Di Indonesia, regulasi mengenai kualitas udara ruang operasi diatur oleh berbagai peraturan dari Kementerian Kesehatan (Permenkes). Salah satu peraturan utama adalah PERMENKES No. 11 Tahun 2023, yang mengimplementasikan Peraturan Pemerintah No. 66 Tahun 2014 tentang kesehatan. Peraturan ini menetapkan suhu ruang operasi antara 20°C hingga 24°C dengan kelembaban 40%-60%. Meskipun peraturan ini tidak mengatur secara spesifik mengenai sterilisasi udara, sistem ventilasi harus mampu mengurangi kontaminasi dan menjaga kualitas udara dengan partikel yang sangat rendah. Kadar oksigen juga harus dipertahankan sekitar 21% dari total volume udara untuk kesehatan pasien dan tenaga medis. Sistem ventilasi harus dilengkapi dengan filter yang memadai untuk menangkap partikel halus dan mikroorganisme, serta memastikan frekuensi penggantian udara yang memadai untuk kualitas udara yang terjaga sterilitasnya.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa jumlah kuman di ruang operasi adalah indikator kunci untuk menilai sterilitas dan risiko infeksi nosokomial. Konsentrasi bakteri di udara dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, kecepatan udara, dan

efektivitas sistem ventilasi (Charuniza et al., 2020; Refiadi & Usmadi, 2016). Tingginya konsentrasi bakteri mengurangi sterilitas ruangan, yang berakibat pada peningkatan risiko infeksi selama operasi (Noya et al., 2020), sehingga pengendalian jumlah kuman melalui pengaturan faktor lingkungan yang tepat sangat penting untuk keselamatan pasien dan kualitas sterilitas ruang operasi.

Studi observasional yang dilakukan di salah satu Rumah Sakit di Daerah Istimewa Yogyakarta mengidentifikasi adanya ketidakjelasan dalam regulasi yang diatur oleh Peraturan Menteri Kesehatan (PERMENKES) terkait standar angka kuman di ruang operasi. Selain itu, ditemukan pula sejumlah permasalahan pada sistem sirkulasi udara, termasuk suhu yang tidak memenuhi standar yang ditetapkan, ketidakstabilan kecepatan udara, serta volume udara yang tidak terjaga dengan baik. Temuan ini semakin menekankan pentingnya pengembangan pedoman yang lebih rinci, terukur, dan dapat diimplementasikan. Dalam proses penyusunan standar yang baru, berbagai faktor seperti suhu, kecepatan aliran udara, volume sirkulasi udara, dan kadar oksigen perlu dianalisis secara komprehensif, karena semua variabel tersebut memiliki dampak signifikan terhadap angka kuman di ruang operasi. Dengan demikian, regulasi yang lebih jelas dan ketat diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pengendalian infeksi di rumah sakit, memastikan kondisi sterilitas yang optimal di ruang operasi, serta pada akhirnya memperkuat keselamatan pasien selama prosedur bedah.

Oleh karena itu, desain sistem kualitas udara ruang operasi dengan pendekatan ergonomi sangat penting untuk memastikan lingkungan operasi tidak hanya bebas dari kontaminan, tetapi juga optimal untuk kenyamanan dan efisiensi kerja tenaga medis. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen *Taguchi* untuk menentukan kombinasi terbaik dari faktor-faktor seperti suhu, kecepatan udara, dan volume udara terhadap kadar oksigen dan konsentrasi bakteri.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah berdasarkan latar belakang pada penelitian ini:

1. Bagaimana nilai signifikansi *Friedman Test* dalam mengetahui pengaruh antara suhu, kecepatan udara, dan volume udara terhadap kadar oksigen dan kadar bakteri?
2. Bagaimana kombinasi antara variabel suhu, kecepatan udara, dan volume udara terhadap kadar oksigen dan kadar bakteri yang optimal berdasarkan perhitungan menggunakan metode *Taguchi*?

3. Bagaimana rekomendasi spesifikasi desain filter untuk merancang kualitas udara pada ruang operasi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah:

1. Menentukan nilai signifikansi *Friedman Test* dalam mengetahui pengaruh antara suhu, kecepatan udara, dan volume udara terhadap kadar oksigen dan kadar bakteri.
2. Menentukan kombinasi antara variabel suhu, kecepatan udara, dan volume udara terhadap kadar oksigen dan kadar bakteri yang optimal berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode *Taguchi*.
3. Menentukan usulan spesifikasi desain filter untuk mengurangi kadar bakteri pada ruang operasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu dapat memberikan konsep dalam perancangan kualitas udara untuk mendapatkan kondisi ruang operasi yang steril guna menghindari terjadinya infeksi pada pasien maupun tenaga medis yang berasal dari bakteri.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan pada penelitian ini guna menghindari adanya bias penelitian:

1. Observasi dilakukan secara langsung di Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia.
2. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Desain Sistem Kerja dan Ergonomi.
3. Karakteristik subjek observasi penelitian ini ialah tenaga medis yang familiar dengan *modular operating theatre* (ruang operasi).
4. Penelitian ini hanya berfokus pada konsep kualitas udara steril *modular operating theatre* (ruang operasi) yang berkaitan dengan suhu, kecepatan udara, dan volume udara.
5. Indikator pada penelitian ini berfokus pada kadar oksigen dan kadar bakteri yang ada di *modular operating theatre* (ruang operasi).
6. Penelitian ini hanya berfokus pada spesifikasi desain filter, tidak mendesain sistem udara yang baru.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan Tugas Akhir terdiri dari enam bab yang saling berkorelasi dalam mencapai tujuan penelitian. Bab I berisi penjelasan mengenai permasalahan pada penelitian terkait perancangan sistem tata udara yang steril pada ruang operasi, serta mencantumkan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan batasan penelitian.

Bab II berisi landasan teori yang menjadi acuan dan referensi dalam penulisan penelitian ini. Terdapat dua poin yang menjadi pembahasan pada kajian literatur, yaitu kajian induktif yang membahas mengenai metode serta topik yang serupa pada penelitian terdahulu dan kajian deduktif yang menjelaskan teori-teori berdasarkan penelitian terdahulu.

Bab III berisi tahapan penelitian mulai dari kerangka penelitian, subjek penelitian, objek penelitian, jenis data, instrumen, teknik pengambilan data, teknik pengolahan data, dan teknik analisis data yang dibuat dalam bentuk diagram alir.

Bab IV berisi mengenai data dari suhu, kecepatan udara, dan volume udara serta kadar oksigen dan kadar bakteri pada *Modular Operating Theater*, kemudian data yang didapat akan diolah menggunakan metode uji statistik non parametrik.

Bab V berisi pembahasan terkait hasil dari pengolahan data yang dilakukan pada Bab IV, kemudian hasil tersebut akan dianalisis untuk dijadikan evaluasi dalam perancangan kualitas sesuai dengan tujuan penelitian yang akan dibuatkan kesimpulan pada Bab VI.

Bab VI berisi poin yang menjawab rumusan masalah pada Bab I serta menjadi acuan dan evaluasi untuk penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka berisi kutipan terhadap sumber data yang digunakan dalam penelitian ini baik dari buku, jurnal, maupun artikel, kemudian Lampiran mencakup bukti penelitian berupa dokumentasi untuk pengerjaan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Empiris

Penelitian dengan judul “Studi angka Kuman Udara di Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD Dr. Moewardi) yang dilakukan oleh (Subarno & Erawat, 2022) mengenai angka kuman udara pada ruang operasi yang menyebabkan infeksi nosokomial yang berdampak pada proses penyembuhan pasien. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui angka kuman udara pada IBS dan pengaruh antara suhu, kelembaban, serta pencahayaan ketika melakukan kegiatan pada ruang operasi menggunakan uji laboratorium dan *microbiological air monitoring system* (MAS 100 NT). Hasil yang diperoleh saat tidak ada kegiatan dalam ruangan menunjukkan rata-rata 6 CFU/m³, sedangkan saat melakukan aktivitas yaitu 322,250 CFU/m³ dengan suhu 21,36°C, kelembaban rata-rata 59,03, dan pencahayaan rata-rata 15.483 lux.

Penelitian oleh (Apriyani et al., 2020) yang berjudul “Pencahayaan, Suhu, dan Indeks Angka Kuman Udara di Ruang Rawat Rumah Sakit Tk. IV Samarinda” mengenai pencemaran udara diruang perawatan rumah sakit yang dipengaruhi oleh suhu dan pencahayaan dengan tujuan menganalisis hubungan antara pencahayaan dan suhu dengan angka kuman di ruang perawatan menggunakan metode *corss-sectional*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa “terdapat hubungan antara pencahayaan dan suhu dengan angka kumah udara di ruang perawatan”.

Penelitian berjudul “Optimasi Pemanfaatan Lumpur Aktif Untuk Menurunkan Kadar COD Menggunakan Metode Desain eksperimen *Taguchi*” yang dilakukan oleh (Riyanto et al., 2022) mengenai pengolahan limbah cair IPAL pada input kolam BE bertujuan untuk mengoptimalkan kualitas produk influen agar sesuai baku mutu perusahaan dengan aspek pemanfaatan lumpur aktif di kolam BE menggunakan metode *Taguchi*. Penelitian ini menghasilkan perolehan eksperimen yang paling optimal yaitu pada kombinasi volume lumpur aktif 100 ml, lama aerator menyala 5 jam, volume limbah 1 liter, jeda antara lumpur aktif ditambahkan dan diamati 5 jam.

Penelitian dengan judul “Hubungan Kualitas Lingkungan Fisik Dengan Keberadaan Angka Kuman Udara Di Ruang Rawat Inap Dan Ruang Isolasi Selama Pandemi Di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin Makassar” oleh (Amri et al., 2022) membahas terkait kualitas udara pada suatu ruangan dengan tujuan untuk menganalisis

hubungan kualitas lingkungan fisik dengan keberadaan kuman udara di ruang warat inap dan ruang isolasi selama pandemi. Metode yang digunakan adalah analisis statistik nonparametrik dengan hasil bahwa suhu dan kelembaban memiliki pengaruh terhadap angka kuman udara, namun yang tidak berpengaruh terhadap angka kuman adalah pencahayaan dengan p-value masing masing yaitu (0,11), (0,032), dan (0,433) dengan jumlah bakteri 33 CFU/m³.

Penelitian berjudul “Pemeriksaan Angka Kuman Udara Di Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Umum Gmim Pancaran Kasih Manado” oleh (Rompas et al., 2019) mengenai interaksi yang terjadi di ruang rawat inap berpotensi menyebabkan kontaminasi lingkungan, terutama udara, yang dapat memicu infeksi nosokomial. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui angka kuman udara di ruang rawat inap Rumah Sakit Umum GMIM Pancaran Kasih Manado. Penelitian menggunakan metode survei deskriptif dengan uji laboratorium yang dilaksanakan pada Maret hingga Mei 2018. Sampel diambil dari udara di ruang rawat inap VIP, Kelas I, Kelas II, dan Kelas III menggunakan teknik purposive sampling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata angka kuman udara di ruang rawat inap VIP (Rahel) adalah 1.554,5 CFU/m³, VIP (Filipi) 1.398 CFU/m³, Kelas I (Ribka) 1.290,5 CFU/m³, Kelas II (Yehezkiel IIA) 2.863,5 CFU/m³, dan Kelas III (Lukas IIIB) 3.263,5 CFU/m³. Sementara itu, ruang rawat inap Kelas III Isolasi (Lukas III Isolasi) memiliki angka kuman udara rata-rata 399 CFU/m³. Kesimpulannya, hanya ruang rawat inap Kelas III Isolasi yang memenuhi standar angka kuman udara. Disarankan agar rumah sakit lebih memperhatikan kebersihan petugas, mengatur jam besuk pasien dengan lebih ketat, serta melakukan pemeriksaan rutin terhadap angka kuman udara.

Penelitian yang dilakukan oleh Aprilyanti dan Suryani (2020) dengan judul “Penerapan Desain Eksperimen *Taguchi* untuk Meningkatkan Kualitas Produksi Batu Bata dari Sekam Padi” bertujuan untuk mengidentifikasi komposisi optimal dalam proses pembuatan batu bata ringan melalui penerapan metode eksperimen *Taguchi*. Penelitian ini menemukan bahwa faktor-faktor seperti semen, sekam padi, dan durasi penjemuran secara signifikan mempengaruhi kekuatan tekan batu bata. Sebaliknya, pasir tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap hasil akhir. Berdasarkan temuan tersebut, pemanfaatan sekam padi sebagai bahan baku alternatif dalam produksi batu bata terbukti dapat meningkatkan kualitas produk serta memberikan nilai tambah terhadap limbah pertanian.

Penelitian yang berjudul “Penerapan Metode *Taguchi* untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang” oleh Halimah dan Ekawati (2020) membahas upaya untuk meningkatkan kualitas bata ringan yang diproduksi oleh UD. XY. Penelitian ini berfokus pada penerapan metode *Taguchi*, sebuah pendekatan desain eksperimen, untuk menentukan kombinasi komposisi material yang paling optimal dalam meningkatkan kuat tekan produk bata ringan. Variabel yang dipertimbangkan dalam penelitian ini mencakup air, semen, dan pasir. Hasil penelitian mengidentifikasi bahwa rasio komposisi terbaik untuk menghasilkan bata ringan dengan kuat tekan optimal adalah 1:2,5:4 (air, semen, dan pasir).

Penelitian yang dilakukan oleh Andiyan et al. (2022) dengan judul "Modular Operating Theater Based Integration System in Hospital Operating Rooms" menyoroti permasalahan dalam desain ruang operasi dengan tujuan untuk memastikan kepatuhan terhadap persyaratan yang ditetapkan dalam PERMENKES RI No. 1204/MENKES/SK/X/2004. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasional ruang operasi. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini melibatkan pendekatan analitis, dimulai dengan penetapan kasus studi pada ruang operasi, diikuti dengan pengumpulan data lapangan serta pencarian literatur terkait desain ruang operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi ruang operasi dengan ruang panel sangat penting, meliputi aspek-aspek seperti pencahayaan, sistem pintu, dan detail-detail kecil lainnya. Penelitian ini menekankan pentingnya perhatian terhadap elemen-elemen tersebut untuk mempercepat prosedur medis dan meningkatkan keselamatan pasien serta tenaga medis. Untuk penelitian di masa mendatang, disarankan agar mempertimbangkan pemilihan jenis pencahayaan, sistem pintu kedap udara, dan desain meja operasi.

Penelitian berjudul “Analisis Kualitas Mikrobiologi Udara Dalam Kamar Operasi Pada Instalasi Bedah Sentral Rumah Sakit “X” Kota Jambi” oleh (Charuniza et al., 2020) mengenai evaluasi kualitas udara dalam ruang operasi Rumah Sakit 'X' Jambi pada tahun 2019, berfokus pada parameter mikrobiologi dan konsentrasi kuman. Sampel udara diambil dari delapan kamar operasi menggunakan air sampler Mass NT 100 dan dianalisis dengan metode Angka Lempeng Total. Hasil menunjukkan bahwa kualitas udara belum memenuhi standar baku mutu dengan konsentrasi kuman tertinggi 600 CFU/m³ dan terendah 30 CFU/m³, rata-rata 260 CFU/m³. Faktor utama penyebab tingginya konsentrasi kuman adalah ketidakcukupan sarana prasarana dan sifat fisik udara. Strategi

yang diusulkan meliputi perbaikan sarana prasarana, peningkatan sumber daya manusia, dan implementasi monitoring serta evaluasi operasional kamar operasi.

Penelitian yang dilakukan oleh (Noya et al., 2020) dengan judul “Pemeriksaan Kualitas Udara Ruang Yang Berhubungan Dengan Angka Kuman Di Ruang Operasi Rumah Sakit Sumber Hidup Di Kota Ambon 2020” mengenai analisis faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah mikroba udara di ruang operasi Rumah Sakit Sumber Hidup, Ambon. Menggunakan desain potong lintang, studi ini mengevaluasi dua ruang operasi. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 07 Tahun 2019, batas maksimum mikroba udara adalah 10 CFU/m³. Hasil menunjukkan suhu, kelembapan, dan pencahayaan sebelum operasi memenuhi atau tidak memenuhi standar kualitas, sedangkan durasi operasi bervariasi. Disinfeksi permukaan tidak memenuhi standar pada 66,7% sampel. Uji statistik menemukan hubungan signifikan antara disinfeksi permukaan dan jumlah mikroba ($p=0,000$), namun tidak ada hubungan signifikan dengan suhu, kelembapan, pencahayaan, atau durasi operasi. Penelitian ini merekomendasikan pengukuran rutin jumlah mikroba udara.

Tabel 2. 1 Kajian Empiris

No	Judul, Penulis, dan Tahun	Objek (Industri)				Metode		
		Kadar Bakteri	Kadar Oksigen	Udara	Ruang Operasi	Prinsip Ergonomi	Taguchi	Uji Non Parametrik
1	<i>Studi Angka Kuman Udara Di Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD Dr. Moewardi (Subarno & Erawat, 2022)</i>	√		√		√		
2	<i>Pencahayaan, Suhu, dan Indeks Angka Kuman Udara di Ruang Rawat Rumah Sakit Tk. IV Samarinda (Apriyani et al., 2020)</i>	√		√				
3	<i>Optimasi Pemanfaatan Lumpur Aktif Untuk Menurunkan Kadar COD Menggunakan Metode Desain Eksperimen Taguchi (Riyanto et al., 2022)</i>						√	√
4	<i>Hubungan Kualitas Lingkungan Fisik Dengan Keberadaan Angka Kuman</i>	√		√		√		√

No	Judul, Penulis, dan Tahun	Objek (Industri)				Metode		
		Kadar Bakteri	Kadar Oksigen	Udara	Ruang Operasi	Prinsip Ergonomi	Taguchi	Uji Non Parametrik
	<i>Udara Di Ruang Rawat Inap Dan Ruang Isolasi Selama Pandemi Di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin Makassar (Amri et al., 2022)</i>							
5	<i>Pemeriksaan Angka Kuman Udara Di Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Umum Gmim Pancaran Kasih Manado (Rompas et al., 2019)</i>	√			√	√		
6	<i>Penerapan Desain Eksperimen Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Produksi Batu Bata dari Sekam Padi (Aprilyanti & Suryani, 2020)</i>						√	
7	<i>Modular Operating Theater Based Integration System in</i>			√				

No	Judul, Penulis, dan Tahun	Objek (Industri)			Metode			
		Kadar Bakteri	Kadar Oksigen	Udara	Ruang Operasi	Prinsip Ergonomi	Taguchi	Uji Non Parametrik
8	<p><i>Hospital Operating Rooms</i> (Andiyan et al., 2022)</p> <p>Analisis Kualitas Mikrobiologi Udara Dalam Kamar Operasi Pada Instalasi Bedah Sentral Rumah Sakit “X” Kota Jambi (Charuniza et al., 2020)</p>	√		√	√			
9	<p><i>Nurses' Satisfaction With Patient Room Lighting Conditions: A Study of Nurses in Four Hospitals With Differences in the Environment of Care</i> (Davis et al., 2020)</p>			√			√	
10	<p><i>Factors Affecting Optimal Lighting Use in Shared Hospital Environments: A case-study</i> (Maleetipwan-Mattsson et al., 2016)</p>					√	√	

No	Judul, Penulis, dan Tahun	Objek (Industri)				Metode		
		Kadar Bakteri	Kadar Oksigen	Udara	Ruang Operasi	Prinsip Ergonomi	Taguchi	Uji Non Parametrik
11	<i>Lighting Control in Patient Rooms: Understanding Nurses' Perceptions of Hospital Lighting Using Qualitative Methods</i> (McCunn et al., 2021)					√		
12	<i>A Timeline of Surgical Lighting – Is Automated Lighting The Future</i> (Sharma et al., 2023)				√	√		
13	<i>Analysis of Ward Lighting Environment and Design of Comfortable Ward Lighting</i>					√		
14	<i>Determination of the collection efficiency of a microbial air sampler</i>	√		√		√		
15	<i>Collection efficiency and design of microbial air samplers</i>	√		√		√		

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Modular Operating Theatre*

Ruang operasi modular, yang pada umumnya disebut dengan “*Modular Operating Theatre*” (MOT) merupakan sistem ruangan yang sangat krusial dan kritis, terutama dalam mendukung prosedur operasi rawat inap (Ajay & Anil, 2022). MOT sebagai komponen penting pada rumah sakit dalam menjamin kelancaran pelaksanaan prosedur bedah dan perawatan pasien secara menyeluruh (Ajay & Anil, 2022). Perancangan MOT terintegrasi dengan *control panel* sebagai pengelolaan dan pengaturan fungsi operasional secara efektif dan keseluruhan. Sistem ini telah dikembangkan untuk memenuhi standar tinggi dalam hal kebersihan, keamanan, dan sterilisasi, sehingga dapat meminimalkan risiko infeksi dan komplikasi pasca operasi. Dengan demikian, MOT tidak hanya mendukung proses bedah dari segi teknis, tetapi juga meningkatkan keselamatan pasien dan efisiensi operasional rumah sakit (Andiyan et al., 2022).

2.2.2 *Ergonomi*

Ergonomi merupakan elemen fundamental untuk merancang sistem yang memenuhi kebutuhan pengguna dengan standar kualitas dan sertifikasi yang tinggi (Tarwaka & Bakri, 2016). Penerapan prinsip ergonomi dalam lingkungan kerja akan efektif jika disertai dengan penyesuaian terhadap lingkungan, kondisi, dan situasi kerja sehingga menciptakan suasana yang aman, nyaman, dan mudah digunakan oleh pekerja. Sebagai cabang ilmu yang juga dikenal sebagai rekayasa faktor manusia, ergonomi menitikberatkan pada penyesuaian aktivitas kerja dengan kebutuhan dan kenyamanan pekerja. Cara seseorang melakukan pekerjaan memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan dan keselamatan serta dapat mempengaruhi produktivitas secara keseluruhan (Nissa & Amalia, 2018). Selain itu, ergonomi berperan penting dalam menyeimbangkan penerapan teknologi yang digunakan oleh manusia (Tarwaka, 2015).

2.2.3 *Lingkungan Kerja Fisik*

Lingkungan kerja fisik adalah segala sesuatu yang ada disekitar para pekerja dan yang dapat mempengaruhi diri karyawan dalam menjalankan tugas yang sudah dibebankan padanya. Faktor yang dapat mempengaruhi lingkungan kerja fisik antara lain, suara bising yang dihasilkan oleh mesin produksi, penerangan suatu ruangan, dan lainnya. Lingkungan kerja fisik memiliki dampak yang besar terhadap performansi pekerja dalam melakukan tugas-tugasnya. Lingkungan kerja fisik terbagi atas dua kategori, yaitu lingkungan kerja yang langsung berhubungan dengan karyawan. kursi, meja, dan

peralatan kerja merupakan salah satu contohnya. Kategori kedua yaitu ada lingkungan perantara atau lingkungan umum yang dapat disebut juga dengan lingkungan kerja manusia, seperti temperatur, kelembapan, sirkulasi udara, pencahayaan, getaran, kebisingan, dan bau tidak sedap (Handayani & Hati, 2018).

Kelembaban udara, yang diukur dalam persentase, mempengaruhi kenyamanan tubuh manusia. Kelembaban tinggi, terutama bila dikombinasikan dengan suhu tinggi, dapat menyebabkan penurunan kenyamanan dan percepatan detak jantung karena peningkatan aktivitas peredaran darah. Menurut Wignjosoebroto (1995), “tubuh manusia dapat menyesuaikan diri dengan perubahan suhu lingkungan hingga 20% untuk panas dan 35% untuk dingin”. Sitalaksana (1979) mengidentifikasi suhu 24°C sebagai kondisi kerja optimum, sementara suhu ekstrem seperti 49°C atau 10°C dapat mempengaruhi kinerja fisik dan mental. Sirkulasi udara yang baik penting karena udara yang tercemar mengurangi kadar oksigen dan dapat mempercepat kelelahan. Penerangan yang memadai meningkatkan produktivitas kerja dengan mengurangi kelelahan mata, sementara kebisingan, sebagai bunyi yang tidak diinginkan, dapat mengganggu kesehatan dan kenyamanan sesuai KEP-48/MENLH/11/1996.

2.2.4 Sirkulasi Udara

Sirkulasi udara adalah proses dinamis yang melibatkan pergerakan udara di dalam suatu ruang atau sistem untuk mencapai distribusi udara yang merata dan kondisi lingkungan yang optimal (Hasfani et al., 2015). Proses ini dapat berlangsung secara alami melalui mekanisme konveksi termal, di mana perbedaan suhu menyebabkan udara panas naik dan udara dingin turun, atau secara mekanis dengan bantuan sistem HVAC yang menggerakkan udara melalui kipas, blower, dan saluran ventilasi. Sirkulasi udara memiliki beberapa fungsi utama, termasuk ventilasi, yaitu mengganti udara kotor dengan udara bersih dari luar untuk mengurangi akumulasi polutan, karbon dioksida, dan bau yang tidak diinginkan. Selain itu, sirkulasi udara berperan dalam pengaturan suhu dan kelembapan, menjaga kenyamanan termal serta kelembapan yang sesuai dengan kebutuhan lingkungan, seperti di ruang bersih atau ruang operasi. Sistem sirkulasi udara juga berfungsi untuk menyebarkan partikel atau kontaminan secara merata di seluruh ruangan, sehingga menghindari penumpukan kontaminan di area tertentu, yang penting untuk mencegah infeksi atau kerusakan pada peralatan (Uyun et al., 2023).

2.2.5 *Friedman Test*

Metode statistik non-parametrik Friedman merupakan salah satu teknik yang banyak digunakan dalam desain eksperimen yang melibatkan pengujian terhadap subjek yang sama pada beberapa kondisi atau perlakuan (Friedman, 1937). Teknik ini cocok untuk data yang berskala ordinal, interval, maupun rasio, serta dapat diterapkan pada data yang tidak memenuhi asumsi normalitas. Metode ini juga mensyaratkan minimal tiga kondisi atau perlakuan yang diuji dalam eksperimen.

2.2.6 *Metode Taguchi*

Metode *Taguchi*, yang dikembangkan oleh Dr. Taguchi pada tahun 1940-an, mengadopsi pendekatan statistik dalam desain eksperimen, atau Design of Experiments (DOE), untuk mengoptimalkan kinerja sistem (Stapenhurst & Bendell, 1990). Kelebihan utama dari metode ini adalah kemampuannya mengurangi jumlah eksperimen yang diperlukan dibandingkan dengan metode faktorial penuh, sehingga lebih efisien dalam penggunaan waktu dan biaya. Selain itu, metode *Taguchi* memungkinkan identifikasi faktor-faktor penting melalui analisis Rasio Sinyal terhadap Derau (*Signal to Noise Ratio/SNR*), serta efektif dalam mengendalikan rata-rata dan variasi kualitas, yang memperluas cakupan penyelesaian masalah.

Namun, metode ini memiliki keterbatasan, terutama dalam hal akurasi jika terdapat interaksi antar faktor yang diabaikan, karena hal tersebut dapat mempengaruhi hasil eksperimen secara signifikan. Metode ini juga bergantung pada asumsi-asumsi tertentu, yang dapat menyebabkan hilangnya informasi penting karena tidak semua kombinasi faktor diuji. Hal ini menjadikan data yang dihasilkan tidak selalu lengkap, sehingga analisis yang dihasilkan mungkin kurang rinci.

2.2.7 *Steril*

Dalam perspektif teori, istilah "steril" mengacu pada keadaan di mana suatu lingkungan benar-benar bebas dari mikroorganisme hidup, termasuk bakteri, virus, jamur, dan spora. Konsep ini berhubungan erat dengan kebersihan mikrobiologis, di mana suatu area dikategorikan sebagai steril jika tingkat kontaminasi mikroba berada pada batas yang sangat rendah, biasanya diukur dalam satuan CFU/m³ (unit pembentuk koloni per meter kubik). Untuk mencapai kondisi ini, berbagai teknik sterilisasi digunakan, seperti autoklaf (penggunaan uap bertekanan tinggi), radiasi ultraviolet (UV), radiasi gamma, serta bahan kimia seperti etilen oksida. Pada lingkungan ruang operasi, sterilisasi juga mencakup penerapan sistem filtrasi udara yang sangat efisien, seperti filter HEPA atau ULPA, yang

dirancang untuk menghilangkan partikel mikrobiologis dari aliran udara. Tujuan utama dari prosedur sterilisasi dan filtrasi ini adalah menjaga kondisi lingkungan yang steril, sehingga mengurangi risiko infeksi serta mendukung keberhasilan tindakan medis.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah parameter dalam perancangan kualitas udara steril yang mencakup suhu, kecepatan udara, volume udara, kadar oksigen, dan kadar bakteri.

3.2 Jenis Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan sekunder. Berikut penjelasan dari kedua jenis data yang digunakan dalam penelitian ini:

3.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung oleh peneliti dari sumber asli untuk pertama kalinya. Data primer dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan eksperimen untuk mencapai tujuan penelitian yang spesifik (Saunders, 2014). Data primer pada penelitian ini mencakup Suhu, Kecepatan Udara, dan Volume Udara yang akan digunakan saat eksperimen juga sebagai indikator terhadap Kadar Oksigen dan Kadar Bakteri guna mengetahui keadaan ruang operasi yang steril.

Data primer diperoleh melalui proses wawancara, observasi langsung, dan eksperimen terkait kualitas udara. Ketiga proses tersebut dilakukan guna mengidentifikasi permasalahan terkait kualitas udara yang steril pada ruang operasi.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan melalui secara tidak langsung oleh pihak lain untuk tujuan penelitian yang berbeda dari yang sedang dilakukan oleh peneliti. Data ini diperoleh dari berbagai sumber seperti laporan pemerintah, bank data, jurnal ilmiah, dan data yang telah dipublikasikan (Saunders, 2014). Penelitian ini menggunakan data sekunder yang berasal dari kajian literatur berupa jurnal, buku, dan artikel dengan topik yang relevan dan dapat mendukung penelitian ini.

3.3 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah peralatan yang digunakan peneliti untuk mengumpulkan, mengolah, dan mengevaluasi data selama penelitian. Instrumen yang digunakan dalam mendukung penelitian ini meliputi:

1. *Fan*/kipas angin sebagai media untuk mengatur dan menghasilkan kecepatan udara yang telah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan menggunakan kecepatan 1, 2, dan 3.



Gambar 3. 1 *Fan*/Kipas Angin
sumber:

2. Termometer sebagai alat untuk mengukur suhu pada ruangan dalam satuan *celcius*.



Gambar 3. 2 Termometer

3. Anemometer sebagai alat pengukur kecepatan angin di ruangan yang dihasilkan oleh kipas dalam satuan m/s^2 .



Gambar 3. 3 Anemometer

4. *Oxygen Detector* sebagai alat pengukur kadar oksigen di dalam ruangan dalam bentuk persen (%).



Gambar 3. 4 Oxygen Detector

5. *Microbial Air Sampler* adalah media yang digunakan untuk mengumpulkan sampel mikroorganisme (bakteri) dari udara.



Gambar 3. 5 *Microbial Air Sampler*

6. *Microsoft Excel* sebagai alat hitung.
7. *SPSS* sebagai alat hitung statistik.
8. Ruang Laboratorium Sistem Kerja dan Ergonomi dengan luas 3,5 x 3,5 meter.

3.4 Metode Pengumpulan Data

Berikut merupakan beberapa metode pengumpulan data beserta penjelasan yang dilakukan dalam penelitian ini.

3.4.1 Observasi

Observasi merupakan metode penelitian yang melibatkan pengamatan langsung terhadap fenomena yang sedang diteliti, baik dalam konteks sosial, perilaku, maupun situasi spesifik. Menurut Sugiyono, observasi dapat dilaksanakan dalam berbagai jenis, termasuk observasi partisipatif, di mana peneliti terlibat langsung dalam kegiatan yang diamati, dan observasi non-partisipatif, di mana peneliti tidak terlibat langsung namun tetap mengamati objek penelitian sesuai dengan tujuan dan pendekatan yang diterapkan dalam penelitian tersebut (Sugiyono, 2012).

Pada penelitian ini, observasi dilakukan pada PT Putra Medikaltek dan Rumah Sakit Islam Indonesia untuk mengetahui dan mengumpulkan permasalahan dan kondisi ruang operasi terkait kualitas udara. Pada teknik observasi, peneliti mengumpulkan dokumentasi berupa foto dan video dari kondisi ruang operasi yang sudah ada.

3.4.2 Wawancara

Wawancara ialah teknik pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti dengan berinteraksi berupa tanya jawab secara langsung dengan responden untuk mendapatkan

informasi yang mendalam mengenai topik penelitian (Sugiyono, 2013). Wawancara dilakukan dengan pihak PT Putra Medikaltek Indonesia dan Rumah Sakit Islam Indonesia untuk mengetahui permasalahan dan kondisi mengenai kualitas udara pada ruang operasi.

3.4.3 *Studi Pustaka*

Studi pustaka dilaksanakan dengan cara menelaah konsep-konsep atau materi yang relevan mengenai kualitas udara di ruang operasi melalui beragam sumber referensi, termasuk buku, jurnal, artikel, serta situs web. Tujuan dari kegiatan studi pustaka adalah untuk mendapatkan landasan teori yang dapat memperkuat basis penelitian yang sedang dilakukan. Dengan demikian, penelitian yang dilakukan akan menjadi lebih terarah dan terstruktur.

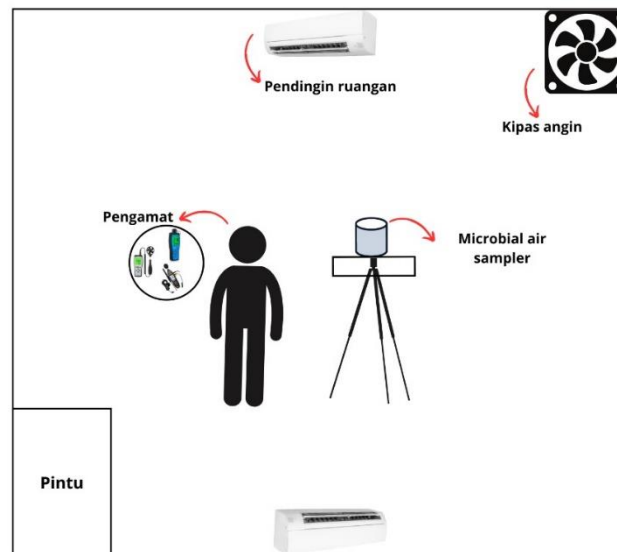
3.4.4 *Studi Eksperimen*

Metode eksperimen ialah salah satu metode penelitian yang digunakan untuk menentukan hubungan sebab-akibat antara variabel independen dan variabel dependen juga menekankan pentingnya pengacakan dan kontrol untuk memastikan validitas hasil (Sugiyono, 2012).

Eksperimen dilakukan pada Ruang Iklim Laboratorium Desain Sistem Kerja dan ergonomi secara langsung dengan melakukan kombinasi antara variabel dependen yang mencakup Suhu, Kecepatan Udara, dan Volume Udara terhadap variabel independen yang mencakup Kadar Oksigen dan Kadar Bakteri untuk mengetahui kondisi ruangan yang steril.

3.4.4.1 *Desain Eksperimen*

Desain eksperimen atau rancangan percobaan merupakan sebuah susunan percobaan yang setiap langkahnya dirancang secara rinci agar informasi relevan dan dapat menyelesaikan masalah dengan tepat (Sudjana, 1989). Selain itu, desain eksperimen juga diartikan sebagai suatu pengujian atau rangkaian pengujian yang bertujuan untuk memodifikasi variabel-variabel *input* dari suatu proses atau sistem, sehingga memungkinkan peneliti mengevaluasi dan mengidentifikasi penyebab perubahan yang terjadi pada variabel *output* (Sudjana, 1989).



Gambar 3. 6 Desain Eksperimen

Gambar 3.6 merupakan representasi tata letak eksperimen yang dirancang untuk memastikan distribusi udara dan pengambilan sampel yang optimal, serta meminimalkan bias pada data penelitian. Pendingin ruangan ditempatkan di dinding berseberangan untuk menjaga suhu tetap merata di seluruh ruangan, sehingga tidak ada konsentrasi suhu yang terkumpul di satu area. Kipas angin yang terletak di sudut berfungsi sebagai sumber udara yang masuk ke dalam suatu ruangan. Penempatan *microbial air sampler* di tengah ruangan bertujuan untuk memperoleh sampel bakteri yang representatif. Adanya pengamat bertujuan untuk mengoperasikan, mengamati, dan mencatat hasil dari alat yang digunakan untuk mengukur suhu yaitu termometer, kecepatan udara yaitu anemometer, dan *oxygen detector* untuk mengukur kadar oksigen. Desain eksperimen dirancang sedemikian rupa guna mendapatkan hasil sampel yang akurat mengenai kualitas udara di ruangan serta memastikan bahwa hasil eksperimen mencerminkan kondisi lingkungan yang sebenarnya.

3.4.4.2 Prosedur Eksperimen

Prosedur eksperimen dimulai dengan tahap perencanaan hingga tahap pelaksanaan, yang merupakan bagian krusial dalam penyediaan informasi yang dibutuhkan untuk pelaksanaan eksperimen. Tahap ini melibatkan serangkaian langkah sistematis yang dirancang untuk memastikan eksperimen dapat berjalan dengan lancar serta menghasilkan data yang valid:

1. Menyiapkan instrumen penelitian yang mencakup termometer untuk pengukuran suhu, anemometer untuk pengukuran kecepatan udara, *fan*/kipas angin sebagai

- sumber udara, *oxygen detector* untuk mendapatkan kadar bakteri dalam ruangan, dan *microbial air sampler* untuk mendapatkan kadar bakteri dalam ruangan eksperimen.
2. Pengamat menyiapkan kondisi ruangan sesuai dengan suhu yang telah ditentukan menggunakan termometer.
 3. Melakukan eksperimen dengan mengkombinasikan seluruh faktor dan level.
 - a. Pengamat mengukur kecepatan udara menggunakan anemometer dengan tiga level, kemudian mengamati hingga hasil pada monitor anemometer. Setiap kombinasi antara faktor dan level dilakukan selama sepuluh menit hingga hasil yang tertera pada tampilan anemometer konstan.
 - b. Secara bersamaan, serupa dengan pengukuran kecepatan udara, pengamat juga melakukan pengukuran kadar oksigen di dalam ruang eksperimen. Pengukuran dilakukan dengan mengarahkan *oxygen detector* pada titik tengah ruangan untuk memperoleh distribusi kadar oksigen yang merata. Setelah itu, pengamat mencatat hasil pengukuran yang ditampilkan pada monitor ketika angka telah stabil. Proses pengamatan ini berlangsung selama sepuluh menit untuk setiap kombinasi faktor dan level yang diuji.
 - c. Sampel bakteri diperoleh melalui penggunaan *microbial air sampler*, yang berfungsi untuk mengumpulkan udara ke dalam media penangkap mikroba. Alat ini bekerja dengan cara menyaring atau memompa udara melalui komponen yang mengandung agar atau media sejenis, yang kemudian menangkap serta menumbuhkan bakteri dari udara tersebut untuk tujuan analisis lebih lanjut
 4. Melakukan proses inkubasi bakteri, di mana sampel bakteri yang sudah diinokulasi dibiarkan tumbuh dalam inkubator pada suhu dan kondisi yang sesuai, yaitu selama 24 jam. Inkubasi ini bertujuan untuk memungkinkan bakteri berkembang biak sehingga dapat dianalisis lebih lanjut.
 5. Setelah proses inkubasi, bakteri-bakteri yang tumbuh diamati untuk dianalisis, melalui uji resistensi antibiotik pada laboratorium selama satu hari.

3.5 Metode Pengolahan dan Analisis Data

3.5.1 Perhitungan Volume Udara

Volume udara dalam suatu ruangan berperan dalam menentukan batasan berdasarkan jumlah udara yang perlu dipertukarkan untuk mencapai sirkulasi dan menjaga kualitas

udara menjadi steril agar terhindar dari kontaminan (Rinanda et al., 2021). Volume udara dihitung menggunakan formulasi berikut (Syaputra & Heriyadi, 2019):

$$Q = V \times A \quad (3.1)$$

Keterangan:

Q : Volume Udara (m^3/s)

V : Kecepatan Udara (m/s^2)

A : Luas Penampang Ruang (m^2)

Dimana luas penampang diukur berdasarkan ukuran ruangan yang digunakan, ruangan yang digunakan pada penelitian ini berbentuk persegi panjang, sehingga diperoleh hasil berdasarkan formulasi berikut (Syaputra & Heriyadi, 2019):

$$A = p \times l \quad (3.2)$$

Keterangan:

A : Luas Penampang (m^2)

p : Panjang Ruang (m)

l : Lebar Ruang (m)

3.5.2 *Microbial Air Sampler*

Microbial air sampler adalah instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan sampel mikroorganisme seperti bakteri, jamur, atau virus dari udara. Instrumen ini dapat memantau kualitas udara dengan mendeteksi keberadaan dan konsentrasi mikroorganisme dalam suatu lingkungan melalui uji laboratorium (Wismana, 2016). Dalam penelitian ini, angka mikroorganisme (bakteri) didapatkan melalui uji laboratorium berdasarkan formulasi berikut:

$$CFU/m^3 = \frac{\text{Jumlah Bakteri (CFU)}}{\text{Volume Udara yang di Sampling (m}^3\text{)}} \quad (3.3)$$

Keterangan:

CFU : Jumlah bakteri setelah inkubasi

m^3 : Jumlah Udara yang disaring melalui alat selama pengambilan sampel

3.5.3 *Friedman Test*

Friedman test merupakan salah satu metode statistik nonparametrik yang digunakan untuk menguji keberadaan pengaruh signifikan di antara dua atau lebih kelompok variabel (Stapenhurst & Bendell, 1990). Dalam penelitian ini, metode Friedman diterapkan untuk mengidentifikasi pengaruh antara faktor dan level variabel independen terhadap variabel dependen. Pengujian dengan metode Friedman dilakukan dengan

menggunakan perangkat lunak SPSS. Prosedur manual dalam penerapan metode Friedman melibatkan beberapa langkah perhitungan, yaitu:

1. Menentukan Hipotesis dan Keputusan

a. Suhu dan Kadar Bakteri

Hipotesis

- 1) H_0 : tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) H_a : terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.

Keputusan

- 1) Jika nilai sig. $> 0,05$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak, berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) Jika nilai sig. $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.

b. Kecepatan Udara dan Kadar Bakteri

Hipotesis

- 1) H_0 : tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) H_a : terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.

Keputusan

- 1) Jika nilai sig. $> 0,05$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak, berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) Jika nilai sig. $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.

c. Volume Udara dan Kadar Bakteri

Hipotesis

- 1) H_0 : tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.

- 2) H_a : terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.

Keputusan

- 1) Jika nilai sig. $> 0,05$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak, berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) Jika nilai sig. $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar bakteri dalam menentukan kualitas udara yang steril.

d. Suhu dan Kadar Oksigen

Hipotesis

- 1) H_0 : tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) H_a : terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.

Keputusan

- 1) Jika nilai sig. $> 0,05$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak, berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) Jika nilai sig. $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh suhu dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.

e. Kecepatan Udara dan Kadar Oksigen

Hipotesis

- 1) H_0 : tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) H_a : terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.

Keputusan

- 1) Jika nilai sig. $> 0,05$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak, berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.

- 2) Jika nilai sig. < 0,05, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh kecepatan udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.

f. Volume Udara dan Kadar Oksigen

Hipotesis

- 1) H_0 : tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) H_a : terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.

Keputusan

- 1) Jika nilai sig. > 0,05, maka H_0 diterima dan H_a ditolak, berarti tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.
- 2) Jika nilai sig. < 0,05, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, berarti terdapat pengaruh yang signifikan antara pengaruh volume udara dan kadar oksigen dalam menentukan kualitas udara yang steril.

2. Menentukan Peringkat

Peringkat diberikan kepada setiap populasi, dengan nilai berkisar dari 1 hingga k dalam setiap intervensi.

3. Menghitung Jumlah Peringkat

Berikut merupakan formulasi dalam menentukan jumlah peringkat *friedman test*:

$$R_j = \sum_{i=1}^n R_{ij} \quad (3.4)$$

Keterangan:

n : jumlah subjek

R_j : peringkat dari kombinasi ke-j pada subjek ke-i

4. Menghitung Nilai Friedman Test

Berikut merupakan formulasi dalam mendapatkan nilai *friedman test*:

$$X^2F = \frac{12}{nk(k+1)} \sum_n^k R_j^2 - 3n(k+1) \quad (3.5)$$

Keterangan:

n : jumlah subjek

k : jumlah kombinasi eksperimen

R_j : jumlah peringkat untuk perlakuan ke- j

3.5.4 Metode Taguchi

Desain Eksperimen *Taguchi* diterapkan untuk mengidentifikasi eksperimen terbaik dalam menilai kualitas udara ruang operasi yang steril, dengan mempertimbangkan pengaruh berbagai faktor yang berperan. Dalam pelaksanaan metode *Taguchi*, tahapan-tahapan yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan Masalah dan Tujuan Penggunaan Metode *Taguchi*

Penelitian ini bertujuan untuk menntuka kombinasi optimal antara Suhu, Kecepatan Udara, dan Volume Udara guna mendapatkan kualitas udara pada ruang operasi yang steril.

2. Identifikasi Faktor dan Level

Pada penelitian ini terdapat tiga faktor beserta level yang meliputi:

- a. Suhu: 18, 19, 20, 21, 22, 23, dan 24 (°C)
- b. kecepatan udara: 0.42, 0.62, dan 1.92 (m/s²)
- c. volume udara (17.24, 25.86, dan 78.80 (m³/s)

3. Membuat Matriks *Full Factorial*

Matriks *Full Factorial* yang digunakan sesuai dengan jumlah kombinasi dalam melakukan eksperimen, yakni 21 eksperimen (L₂₁).

4. Melakukan Eksperimen

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Sistem Kerja & Ergonomi, di mana setiap kombinasi faktor dan level diuji secara menyeluruh. Penilaian dilakukan terhadap kualitas udara yang steril, dengan fokus pada pengukuran parameter berupa tingkat bakteri yang sangat rendah dan kadar oksigen yang tinggi.

5. Perhitungan SNR

Menghitung nilai SNR dilakukan untuk menentukan kombinasi yang paling optimal dan baik dalam menentukan kualitas udara steril. Berikut merupakan rumus perhitungan *Signal-To-Noise Ratio* (SNR) berdasarkan jenis rasio “*Smaller-is-better*” yaitu (Stapenhurst & Bendell, 1990):

$$SNR_x = -10 \text{ Log} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij}^2 \right) \quad (3.6)$$

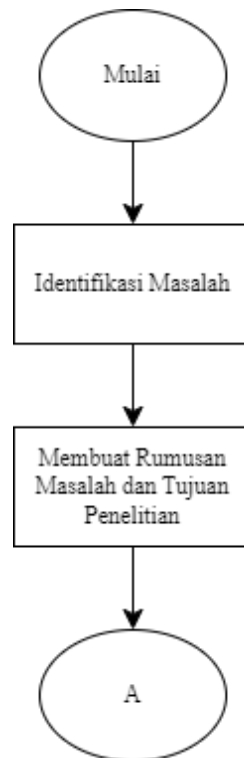
Keterangan:

X : Eksperimen ke- x

Y_{ij} : Nilai pengamatan untuk percobaan ke- ij
 n : Total Eksperimen

3.6 Alur Penelitian

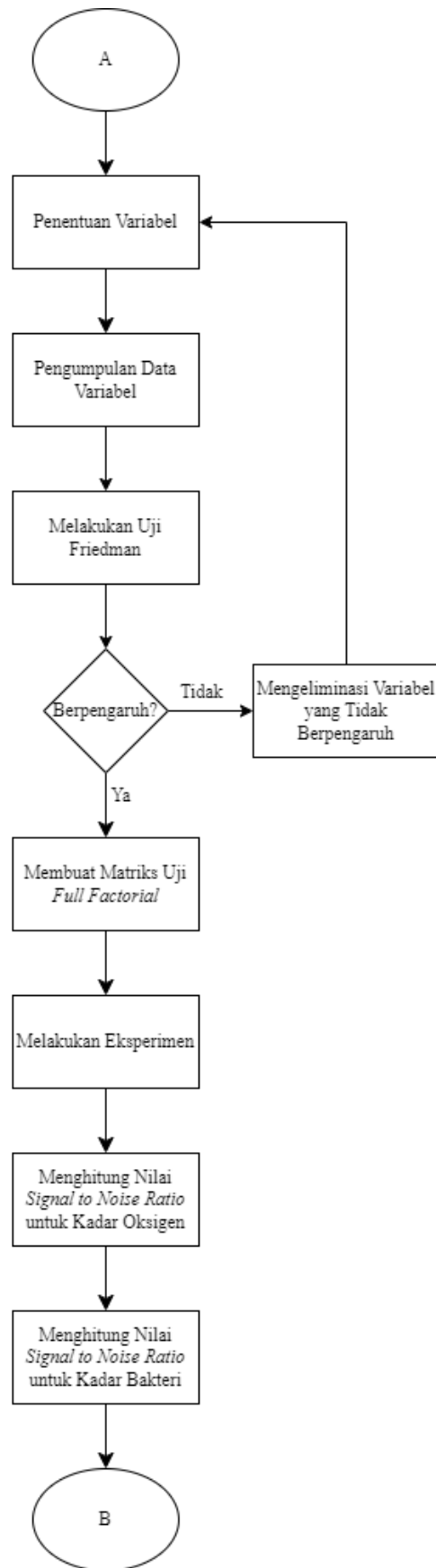
Gambar 3.1 merupakan alur dari penelitian ini hingga selesai:



Gambar 3. 7 Alur Penelitian Tahap Pertama

Gambar 3.1 di atas menggambarkan tahapan awal dari penelitian, yang dimulai dengan identifikasi masalah terkait topik yang dipilih. Proses identifikasi masalah ini mencakup penelaahan literatur yang relevan untuk mendukung topik dan penetapan batasan penelitian. Identifikasi masalah dilakukan melalui survei dan observasi langsung terhadap produsen alat kesehatan, PT Putra Medikaltek Indonesia, serta Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia, yang melibatkan dokter bedah dan tenaga medis lainnya. Tujuan dari langkah ini adalah untuk memahami kualitas udara yang steril pada ruang operasi, mengidentifikasi permasalahannya, serta menentukan kebutuhan spesifik terkait perancangan kualitas udara ruang operasi yang steril dengan kadar bakteri minimal dan kadar oksigen maksimal. Selain itu, studi literatur dari berbagai sumber, termasuk buku, jurnal, situs web, dan media internet lainnya, dilakukan untuk memperoleh kajian induktif maupun teoritis, menyusun konsep, dan memperkuat landasan penelitian yang akan dilakukan.

Tahap selanjutnya adalah perumusan masalah dan tujuan penelitian. Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan arah penelitian yang akan dilakukan, sehingga penelitian yang dilakukan dapat menjawab pertanyaan yang relevan dengan permasalahan yang ada. Dan tujuan penelitian dilakukan untuk menetapkan harapan atau keinginan yang akan dicapai melalui sebagai solusi mengenai penelitian perancangan kualitas udara di ruang operasi.



Gambar 3. 8 Alur Penelitian Tahap Kedua

Tahap berikutnya menguraikan alur penelitian tahap kedua yang dilakukan dengan menentukan kualitas udara di ruang operasi, termasuk faktor-faktor seperti suhu, kecepatan aliran udara, dan volume udara. Setelah menentukan variabel, tahap berikutnya yaitu mengumpulkan data yang setelahnya akan di uji menggunakan metode statistik *Firedman Test* guna mengetahui pengaruh antara suhu, kecepatan udara, dan volume udara terhadap kadar oksigen dan kadar bakteri. Jika tidak terdapat pengaruh, variabel tersebut di eliminasi dan dapat mengulangi langkah penentuan variabel kembali, sebaliknya jika terdapat pengaruh, dapat melanjutkan ke tahap pembuatan matriks *Full Factorial*. Matriks *Full Factorial* ini dirancang untuk menentukan jumlah eksperimen yang dilakukan berdasarkan faktor-faktor (variabel independen) dan level-level (variabel dependen) yang ada. Selanjutnya, eksperimen mengenai pengaturan kualitas udara dilakukan berdasarkan kombinasi faktor-faktor dan level-level yang telah ditentukan. Eksperimen tersebut dilakukan di Laboratorium Desain Sistem Kerja dan Ergonomi (DSKE).

Kemudian, dalam perancangan kualitas udara di ruang operasi, data akan diolah menggunakan metode *Taguchi* dengan menghitung nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) untuk menentukan kombinasi faktor dan level mana yang menghasilkan kualitas udara terbaik. Nilai rata-rata kualitas udara akan digunakan untuk mengidentifikasi penilaian dari setiap indikator terkait kualitas udara, serta dampaknya pada kondisi ruang operasi, khususnya terhadap kadar oksigen yang maksimal dan kadar bakteri yang minimal. Selanjutnya, data hasil pengolahan akan dianalisis menggunakan.



Gambar 3. 9 Alur Penelitian Tahap Ketiga

Tahapan selanjutnya berkaitan dengan alur penelitian tahap ketiga menjelaskan tentang hasil analisis dan pembahasan yang didasarkan pada penilaian *Signal to Noise Ratio* (SNR). Setelah analisis dan pembahasan dilakukan, tahap berikutnya adalah merancang spesifikasi desain filter usulan dari ruang operasi guna mendapatkan kualitas udara yang steril. Tahap terakhir adalah menyusun kesimpulan yang sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian, serta memberikan rekomendasi kepada pihak Rumah Sakit, Putra Medikaltek Indonesia, dan penelitian selanjutnya.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Terdapat lima variabel dalam penelitian ini yang terdiri dari, suhu, kecepatan udara, volume udara, kadar oksigen, dan kadar bakteri. Prosedur pengambilan sampel suhu menggunakan termometer dan kecepatan udara menggunakan anemometer, dengan menempatkan pada sumber udara hingga angka pada tampilan layar stabil. Dalam mendapatkan volume udara, diperlukan perhitungan melalui formulasi 3.1.

Sama halnya dengan suhu dan kecepatan udara, pengambilan sampel kadar oksigen menggunakan *oxygen detector*, dengan menempatkan instrumen tersebut pada titik pusat sebuah ruangan hingga angka yang muncul pada tampilan layar stabil. Namun, kadar bakteri didapatkan melalui pengujian laboratorium berupa *microbial air sampler* dengan cara menarik udara melalui suatu media pengumpul yang disebut sebagai filter. Bakteri yang terkumpul pada filter akan di transfer ke dalam suatu wadah, kemudian akan di inkubasi selama satu hari dan mendapatkan angka bakteri bakteri yang ada di udara melalui formulasi 3.3.

4.2 Penentuan Variabel

Terdapat beberapa variabel yang dipengaruhi (dependen) dan variabel yang mempengaruhi (independen). Berikut ini dilampirkan beberapa variabel independen yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 4. 1 Variabel Independen

No.	Variabel Independen	Satuan
1	Suhu 18, 19, 20, 21, 22, 23, dan 24 (X1)	°C
2	Kecepatan Udara (0.42, 0.63, dan 1.92 (X2)	m/s ²
3	Volume Udara (17.24, 25.86, dan 78.80 (X3)	m ³ /s

Variabel independen akan menjadi faktor-level yang digabungkan untuk membentuk serangkaian percobaan dalam menentukan kualitas udara yang steril pada ruang operasi. Di sisi lain, variabel dependen digunakan untuk mengevaluasi indikator-indikator hasil dari variabel independen, sehingga dapat menentukan kualitas udara yang

steril berdasarkan kadar oksigen dan kadar bakteri. Variabel dependen terlampir pada Tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4. 2 Variabel Dependen

No.	Variabel Dependen	Satuan
1	Kadar Oksigen (Y1)	%
2	Kadar Bakteri (Y2)	CFU/m ³

4.3 Penentuan Faktor dan Level

Penggunaan metode *Taguchi* untuk menyusun matriks *full factorial* berdasarkan variabel yang tersedia, langkah awal yang diperlukan adalah menetapkan identifikasi faktor-faktor serta level-levelnya terlebih dahulu. Berikut ini adalah beberapa faktor dan level yang terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Faktor dan Level

Level	Suhu (X1)	Kecepatan Udara (X2)	Volume Udara (X3)
Level 1	X1 ₁ (18)	X2 ₁ (0,42)	X3 ₁ (17,24)
Level 2	X1 ₂ (19)	X2 ₂ (0,63)	X3 ₂ (25,86)
Level 3	X1 ₃ (20)	X2 ₃ (1,92)	X3 ₃ (78,80)
Level 4	X1 ₄ (21)		
Level 5	X1 ₅ (22)		
Level 6	X1 ₆ (23)		
Level 7	X1 ₇ (24)		

4.4 Matriks Full Factorial

Matriks *full factorial* dibuat berdasarkan jumlah seluruh kombinasi antara faktor dan level, yaitu sebanyak 21 eksperimen (L₂₁). Tabel 4.4 menunjukkan matriks penelitian ini:

Tabel 4. 4 Matriks Full Factorial

Eksperimen Ke-	Suhu (X1)	Kecepatan Udara (X2)	Volume Udara (X3)
	°C	m/s ²	m ² /s
1	18	0.42	17.24
2	18	0.63	25.86
3	18	1.92	78.80
4	19	0.42	17.24
5	19	0.63	25.86
6	19	1.92	78.80
7	20	0.42	17.24

Eksperimen Ke-	Suhu (X1)	Kecepatan Udara (X2)	Volume Udara (X3)
	°C	m/s ²	m ² /s
8	20	0.63	25.86
9	20	1.92	78.80
10	21	0.42	17.24
11	21	0.63	25.86
12	21	1.92	78.80
13	22	0.42	17.24
14	22	0.63	25.86
15	22	1.92	78.80
16	23	0.42	17.24
17	23	0.63	25.86
18	23	1.92	78.80
19	24	0.42	17.24
20	24	0.63	25.86
21	24	1.92	78.80

4.4.1 Hasil Eksperimen

Berdasarkan hasil identifikasi faktor dan level, peneliti melakukan eksperimen untuk memastikan hasil yang sesuai dan relevan dalam perancangan kualitas udara pada ruang operasi yang steril. Hasil eksperimen mengacu pada formulasi 3.3 dan didapatkan hasil yang dilampirkan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Penilaian Eksperimen

Eksperimen Ke-	Kadar Oksigen (Y1)	Kadar Bakteri (Y2)
	%	CFU/m ³
1	153	20.7
2	153	20.7
3	153	20.7
4	153	20.7
5	153	20.7
6	153	20.7
7	156	20.7
8	156	20.7
9	156	20.7
10	156	20.7
11	156	20.7

Eksperimen Ke-	Kadar Oksigen (Y1)	Kadar Bakteri (Y2)
	%	CFU/m ³
12	156	20.7
13	156	20.7
14	156	20.7
15	156	20.7
16	157	20.6
17	157	20.6
18	157	20.6
19	161	20.4
20	161	20.4
21	161	20.4

Tabel 4.5 menunjukkan hasil eksperimen berdasarkan matriks *full factorial* L₂₁, dimana kadar oksigen dan kadar bakteri didapatkan melalui kombinasi antara variabel independen yang mencakup suhu, kecepatan udara, dan volume udara.

4.5 Pengolahan Data

4.5.1 Friedman Test

Perhitungan Uji Friedman dilakukan untuk menentukan apakah terdapat pengaruh signifikan dalam penilaian persepsi kualitas udara yang steril di antara variabel dependen dan independen

a. Suhu dan Kadar Bakteri

N	3
Chi-Square	17.620
df	6
Asymp. Sig.	.007

a. Friedman Test

Gambar 4. 1 Hasil *Friedman* Suhu Terhadap Bakteri

Output yang dihasilkan berdasarkan SPSS menunjukkan nilai sig. < 0,05 yang berarti terdapat pengaruh signifikan dalam penilaian persepsi kualitas udara yang steril diantara variabel suhu dengan *range* 18-24°C.

b. Kecepatan Udara dan Kadar Bakteri

N	7
Chi-Square	.
df	2
Asymp. Sig.	.

a. Friedman Test

Gambar 4. 2 Hasil *Friedman* Kecepatan Udara Terhadap Bakteri

Output yang dihasilkan berdasarkan SPSS menunjukkan nilai sig. < 0,05 yang berarti terdapat pengaruh signifikan dalam penilaian persepsi kualitas udara yang steril diantara variabel kecepatan udara dengan nilai 0.42, 0.63, dan 1.92 m/s².

c. Volume Udara dan Kadar Bakteri

N	7
Chi-Square	.
df	2
Asymp. Sig.	.

a. Friedman Test

Gambar 4. 3 Hasil *Friedman* Volume Udara Terhadap Bakteri

Output yang dihasilkan berdasarkan SPSS menunjukkan nilai sig. < 0,05 yang berarti terdapat pengaruh signifikan dalam penilaian persepsi kualitas udara yang steril diantara variabel volume udara dengan nilai 17.24, 25.86, dan 78.80 CFU/m³.

d. Suhu dan Kadar Oksigen

N	3
Chi-Square	18.000
df	6
Asymp. Sig.	.006

a. Friedman Test

Gambar 4. 4 Hasil *Friedman* Suhu Terhadap Oksigen

Output yang dihasilkan berdasarkan SPSS menunjukkan nilai sig. < 0,05 yang berarti terdapat pengaruh signifikan dalam penilaian persepsi kualitas udara yang steril diantara suhu dengan *range* 18-24°C.

e. Kecepatan Udara dan Kadar Oksigen

N	7
Chi-Square	.
df	2
Asymp. Sig.	.

a. Friedman Test

Gambar 4. 5 Hasil *Friedman* Kecepatan Udara Terhadap Oksigen

Output yang dihasilkan berdasarkan SPSS menunjukkan nilai sig. < 0,05 yang berarti terdapat pengaruh signifikan dalam penilaian persepsi kualitas udara yang steril diantara variabel kecepatan udara dengan nilai 0.42, 0.63, dan 1.92 m/s².

f. Volume Udara dan Kadar Oksigen

N	7
Chi-Square	.
df	2
Asymp. Sig.	.

a. Friedman Test

Gambar 4. 6 Hasil *Friedman* Volume Udara Terhadap Oksigen

Output yang dihasilkan berdasarkan SPSS menunjukkan nilai sig. < 0,05 yang berarti terdapat pengaruh signifikan dalam penilaian persepsi kualitas udara yang steril diantara variabel volume udara dengan nilai 17.24, 25.86, dan 78.80 CFU/m³.

4.5.2 *Signal to Noise Ratio (SNR)*

Penelitian ini menggunakan jenis rasio “*The Smaller the Better*”, yang berarti semakin rendah nilai rasio tersebut, semakin optimal hasil eksperimen yang diperoleh. Jenis rasio ini dipilih untuk menentukan eksperimen mana yang paling sesuai berdasarkan hasil kadar oksigen dan kadar bakteri melalui SNR. Oleh karena itu, perhitungan SNR dilakukan dengan menggunakan formulasi (3.6). Berikut adalah perhitungan SNR kadar oksigen (Y1) untuk eksperimen ke-1 dengan suhu (18°C), kecepatan udara (0.42 m/s²), dan volume udara (17.24 CFU/m³):

$$SNR = -10 \text{ Log} \left(\frac{1}{10} (20,7^2) \right)$$

$$SNR = -10 \text{ Log}_{10} \left(\frac{1}{428,49} \right)$$

$$\text{SNR} = 26,319$$

Tabel 4.6 melampirkan hasil untuk semua eksperimen yang telah dinilai melalui hasil kadar oksigen dan kadar bakteri:

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan SNR

Eksperimen Ke-	Suhu	Kecepatan Udara	Volume Udara	S/N Ratio Kadar Oksigen	S/N Ratio Kadar Bakteri
1	18	0.42	17.24	26.319	43.694
2	18	0.63	25.86	26.319	43.694
3	18	1.92	78.80	26.319	43.694
4	19	0.42	17.24	26.319	43.694
5	19	0.63	25.86	26.319	43.694
6	19	1.92	78.80	26.319	43.694
7	20	0.42	17.24	26.319	43.862
8	20	0.63	25.86	26.319	43.862
9	20	1.92	78.80	26.319	43.862
10	21	0.42	17.24	26.319	43.862
11	21	0.63	25.86	26.319	43.862
12	21	1.92	78.80	26.319	43.862
13	22	0.42	17.24	26.319	43.862
14	22	0.63	25.86	26.319	43.862
15	22	1.92	78.80	26.319	43.862
16	23	0.42	17.24	26.277	43.918
17	23	0.63	25.86	26.277	43.918
18	23	1.92	78.80	26.277	43.918
19	24	0.42	17.24	26.193	44.137
20	24	0.63	25.86	26.193	44.137
21	24	1.92	78.80	26.193	44.137




Nilai SNR tercekil terdapat pada kombinasi eksperimen ke-1 dengan nilai SNR kadar oksigen dan kadar bakteri secara berurutan adalah 26,319 dan 43,694. Kombinasi pertama memiliki nilai suhu 18°C, kecepatan udara 0.42 m/s², dan volume udara bernilai 17.24 m³/s, sehingga menjadi kombinasi terpilih dalam menentukan kualitas udara yang steril pada ruang operasi.

4.5.3 Spesifikasi Desain Usulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan menggunakan *friedman test* dan metode *taguchi*, berikut merupakan desain spesifikasi usulan berupa filter yang dapat

diimplementasikan guna meminimalisir kadar bakteri dan meningkatkan kadar oksigen pada ruang operasi. Berikut merupakan spesifikasi desain filter yang dapat diimplementasikan:

Tabel 4. 7 Spesifikasi Desain Filter

	Pre Filter	Medium Filter	ULPA Filter
Spesifikasi			
Ukuran	24x24 inch	24x24 inch	24x24 inch
Posisi	Tahap awal	Tahap kedua	Tahap terakhir (filter utama)
Material	Fiberglass, polyester, busa (foam)	Sintetis (polyester, polyolefin), fiberglass	Kaca micro fiber, poliyemer khusus, filter lipit
Kerapatan filter	30-50%	60-95%	99,9995%
Dimensi filter	1-5 inch	2-12 inch	2-12 inch
Ketebalan filter	15-125 mm	50-300 mm	50-300 mm
Ukuran partikel yang disaring	10-100 mikron	1-10 mikron	$\leq 0,12$ mikron
Partikel yang disaring	Debu, serat, dan serbuk	Debu halus, serbuk spora, dan spora jamur	Partikel yang sangat kecil

Mengacu pada Tabel 4.7, terdapat kelebihan serta kekurangan dari masing-masing filter yang diusulkan, yakni:

a. Pre filter

Tabel 4.8 menunjukkan kelebihan serta kekurangan dari penggunaan pre-filter (Li et al., 2015):

Tabel 4. 8 Kelebihan Kekurangan Pre Filter

No.	Kelebihan	Kekurangan
1	Harga murah	Tidak efektif untuk partikel kecil ≤ 5 mikron
2	Dapat dicuci dan mudah diperbarui	Dibutuhkan penggantian secara berkala
3	Melindungi filter lain (menangkap filter besar)	Tidak dapat menyaring partikel halus

No.	Kelebihan	Kekurangan
4	Memperpanjang umur sistem HVAC	Tidak dapat digunakan untuk kebutuhan lingkungan yang steril

b. Medium filter

Tabel 4.9 menunjukkan kelebihan serta kekurangan dari penggunaan medium filter (Li et al., 2015):

Tabel 4. 9 Kelebihan Kekurangan Medium Filter

No.	Kelebihan	Kekurangan
1	Menangkap partikel ukuran 1-10 mikron	Tidak efektif untuk partikel mikro (<1 mikron)
2	Meningkatkan umur ULPA filter	Memerlukan perawatan rutin
3	Dapat menahan debu dalam jumlah besar	Harga lebih mahal dibandingkan pre filter
4	Dapat digunakan untuk gedung hingga lingkungan medis	Memerlukan filter lain untuk mendapatkan ruangan steril, seperti ULPA filter

c. ULPA filter

Tabel 4.10 menunjukkan kelebihan serta kekurangan dari penggunaan ULPA filter (Li et al., 2015):

Tabel 4. 10 Kelebihan Kekurangan ULPA Filter

No.	Kelebihan	Kekurangan
1	Penyaringan sangat efisien (0,12 mikron)	Harga mahal
2	Digunakan untuk ruangan steril	Siklus pemakaian pendek
3	Tingkat filtrasi maksimal	Membutuhkan daya yang besar
4	Dapat meningkatkan kualitas udara steril	<i>Maintenance</i> yang rutin dan ketat

BAB V PEMBAHASAN

5.1 Analisis *Friedman Test*

Uji statistik *friedman* digunakan untuk menentukan pengaruh yang signifikan dalam penilaian kualitas udara yang steril antara variabel independen dalam mendukung penilaian SNR pada metode *Taguchi*. Merujuk pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 menampilkan hasil *friedman test* dengan nilai signifikansi $< 0,05$ yang memiliki arti bahwa ketiganya terdapat pengaruh yang signifikan dari variabel suhu, kecepatan udara, dan volume udara dengan kadar bakteri. Dengan demikian variabel tersebut dapat digunakan untuk eksperimen guna mendapatkan kadar bakteri yang minimum dan merancang kualitas udara yang steril.

Pada Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 menampilkan hasil *friedman test* dengan nilai signifikansi $< 0,05$ dengan interpretasi hasil keputusan terdapat pengaruh antara suhu, kecepatan udara, dan volume udara terhadap kadar oksigen. Hal ini menunjukkan bahwa variabel tersebut dapat digunakan dalam perancangan kualitas udara yang steril dengan parameter untuk kadar oksigen memiliki nilai tertinggi.

5.2 Analisis Uji *Signal to Noise Ratio (SNR)*

Peungujian statistik dilakukan menggunakan metode *Taguchi* untuk menentukan hasil terbaik berdasarkan kombinasi eksperimen melalui nilai SNR. Tahap pertama yang dilakukan yaitu menentukan faktor dan level dari variabel penelitian yang merujuk pada Tabel 4.3 dan menentukan kombinasi menggunakan matriks *full factorial* yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 dengan kriteria melakukan kombinasi setiap faktor dan level dari variabel penelitian. Penggunaan matriks *full factorial* dapat mengevaluasi seluruh kombinasi faktor dan level, sehingga memberikan analisis yang jelas dari setiap faktornya dan dapat memastikan hasil yang akurat tanpa adanya asumsi atau ambiguitas (Ross, 1996).

Melalui kombinasi pada eksperimen dan formulasi (3.6), didapatkan hasil SNR terbaik dari kategori “*Smaller The Better*” untuk variabel kadar oksigen dan kadar bakteri, yaitu pada eksperimen pertama dengan suhu (18°C), kecepatan udara (0.42 m/s^2), dan volume udara ($17.24 \text{ m}^3/\text{s}$) menghasilkan nilai SNR kadar oksigen sebesar (26.319) dan kadar bakteri sebesar (43.639). Semakin mendekati angka nol maka nilai SNR dianggap

lebih baik, khususnya dalam desain kualitas udara yang steril (Stapenhurst & Bendell, 1990). Hal ini berarti bahwa terdapat hubungan antara suhu, kecepatan udara, dan volume udara dengan konsentrasi kadar oksigen dan bakteri. Dari segi suhu, semakin rendah suhu pada ruangan maka konsentrasi oksigen maksimal dan bakteri minimal, sama halnya dengan kecepatan udara dan volume udara (Subarno & Erawat, 2022).

5.3 Analisis Spesifikasi Desain Usulan

Hasil penelitian yang mengacu pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa kombinasi pertama dengan suhu 18°C, kecepatan udara 0.42 m/s², dan volume udara 17.24 m³/s menghasilkan konsentrasi oksigen sebesar 20.7% dan kadar bakteri 153 CFU/m³, sehingga spesifikasi desain usulan yang mengacu pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 guna meminimalisir kadar kontaminan berupa bakteri di ruang operasi, penggunaan filter udara yang tepat sangat direkomendasikan. Sesuai dengan pedoman yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes), filter udara yang dianjurkan meliputi pre-filter, medium filter, dan HEPA filter.

Mengacu pada Tabel 4.7 mengenai Pre-filter sebagai komponen awal dalam sistem HVAC bertujuan untuk menangkap partikel besar seperti debu dan serat. Pemilihan pre-filter pada tahap ini sangat krusial karena mampu mengurangi beban kerja pada filter yang lebih halus, seperti medium filter, sehingga memperpanjang umur filter di tahap berikutnya. Di sini, pre-filter bukan hanya menyaring partikel besar tetapi juga melindungi medium dan ULPA filter dari keausan dini yang dapat terjadi jika partikel besar langsung masuk ke filter utama. Oleh karena itu, pre-filter berperan penting dalam menjaga efektivitas keseluruhan sistem filtrasi dengan menyaring partikel 10-100 mikron. Hal ini didukung oleh penelitian (Roberts, W.L., 2016) dalam “*ASHRAE Handbook*” menunjukkan bahwa “pre-filter yang efektif dapat menurunkan jumlah partikel besar yang memasuki sistem filtrasi utama, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem”. Namun, pre-filter tidak dapat menangkap partikel kecil seperti bakteri dan virus, sehingga sering kali memerlukan kombinasi dengan filter lain untuk mengoptimalkan kualitas udara, yaitu medium filter (Ashrae, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2025).

Medium filter dipilih sebagai langkah lanjutan untuk menangani partikel yang lebih kecil, berukuran 1-10 mikron. Dalam sistem ini, medium filter bertugas menyaring partikel yang tidak dapat ditangkap oleh pre-filter, seperti beberapa bakteri dan spora

jamur. Implementasi medium filter di ruang operasi perlu dikombinasikan dengan ULPA filter karena medium filter sendiri belum cukup efektif untuk menangani partikel mikroba yang sangat kecil. Pemilihan medium filter berfungsi sebagai jembatan antara pre-filter dan ULPA filter, di mana pre-filter menyaring partikel besar, dan medium filter menangani kontaminan yang lebih kecil sebelum akhirnya udara disempurnakan oleh ULPA filter. Kombinasi ini menciptakan lapisan proteksi bertingkat yang saling mendukung. Sejalan dengan penelitian oleh (Wright, 2019) yang dipublikasikan dalam "*Journal of Air and Waste Management* menunjukkan bahwa “medium filter dapat menangkap sebagian besar partikel udara yang lebih besar, meskipun tidak seefektif HEPA dalam menangkap partikel mikroba yang lebih kecil” (Wright, J. A. 2019). Medium filter umumnya digunakan dalam aplikasi di mana kualitas udara yang tinggi diperlukan, namun tidak memerlukan tingkat kebersihan yang sangat ekstrem.

ULPA filter adalah tipe filter dengan efisiensi lebih tinggi daripada medium filter, dirancang untuk menangkap setidaknya 99,999% partikel berukuran 0,12 mikron atau lebih besar. Penelitian oleh Anigstein (2020) dalam *International Journal of Cleanroom Technology* menegaskan bahwa ULPA filter menawarkan perlindungan ekstra dalam lingkungan yang memerlukan kebersihan udara ekstrem, seperti ruang operasi di rumah sakit (Anigstein, N. H. 2020). Dengan kemampuan menangkap partikel yang lebih kecil, ULPA filter dapat menurunkan risiko kontaminasi lebih jauh dibandingkan medium filter, meskipun mereka biasanya lebih mahal dan memerlukan perawatan lebih intensif. Perbandingan antara medium filter dan ULPA filter menunjukkan bahwa ULPA filter lebih efektif untuk aplikasi di mana tingkat kebersihan udara yang sangat tinggi diperlukan, namun penggunaan medium filter sering kali cukup untuk aplikasi yang memerlukan kualitas udara yang baik tanpa kebutuhan ekstrim. Oleh karena itu, kombinasi pre-filter, medium filter, dan ULPA filter dipilih secara berurutan untuk memastikan bahwa partikel dari berbagai ukuran, mulai dari debu hingga bakteri dan virus, dapat disaring dengan efektif. Setiap filter berperan penting dan saling melengkapi, di mana pre-filter mengurangi beban kerja filter berikutnya, medium filter menangani partikel yang lebih kecil, dan ULPA filter memastikan sterilitas total ruang operasi.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Nilai signifikansi *friedman test* menunjukkan $< 0,05$ untuk variabel independen yang meliputi suhu, kecepatan udara, dan volume udara. Dengan ini variabel independen memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar bakteri dan kadar oksigen, sehingga dapat digunakan menjadi faktor dalam eksperimen.
2. Pada eksperimen, kombinasi pertama dengan suhu 18°C , kecepatan udara 0.42 m/s^2 , dan volume udara $17.24 \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan kadar bakteri $153 \text{ CFU}/\text{m}^3$ dan kadar oksigen 20.7%
3. Spesifikasi filter guna mengurangi kadar bakteri di ruang operasi dapat dicapai dengan menggunakan kombinasi pre-filter, medium filter, dan ULPA filter. Pre-filter menangkap partikel besar dan mengurangi beban pada filter berikutnya, medium filter menangkap partikel menengah dan beberapa mikroba, sementara ULPA filter menyediakan filtrasi tingkat tinggi dengan efisiensi $99,999\%$ untuk partikel ultrafine, termasuk bakteri. Kombinasi ketiga filter ini memastikan kualitas udara yang optimal dan menjaga ruang operasi tetap steril, meminimalkan risiko kontaminasi bakteri.

6.2 Saran

Berikut adalah saran yang bisa diajukan berdasarkan penelitian:

1. Eksperimen dilakukan di Laboratorium, diharapkan penelitian selanjutnya dilakukan secara langsung pada ruang operasi untuk memperoleh data yang lebih nyata.
2. Melakukan evaluasi terhadap hasil perancangan dengan mempertimbangkan faktor-faktor suhu, kecepatan udara, dan volume udara.
3. Mengeksplorasi variabel lain meliputi kelembaban, pencahayaan, dan warna yang mungkin memengaruhi kualitas udara yang steril untuk menjaga ruang operasi dari kontaminan bakteri maupun mikroorganisme lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajay, G., & Anil, D. (2022). *Manual Of Hospital Planning And Designing “Operation Theatre Suite.”* Springer Nature Singapore.
- Amri, U. S., Ikhtiar, M., & Baharuddin, A. (2022). Hubungan Kualitas Lingkungan Fisik Dengan Keberadaan Angka Kuman Udara Di Ruang Rawat Inap Dan Ruang Isolasi Selama Pandemi Di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin Makassar. *Journal Of Muslim Community Health (JMCH)* 2022, 3(3), 47–58. <https://doi.org/10.52103/jmch.v3i3.985journalhomepage:https://pasca-umi.ac.id/index.php/jmch>
- Andiyan, A., Raka, I. M., Rosyidah, M., Salayanti, S., Cakranegara, P. A., & Nuraini, R. (2022). Modular Operating Theater Based Integration System In Hospital Operating Rooms. *Journal Of Population Therapeutics And Clinical Pharmacology*, 29(2), E104–E114. <https://doi.org/10.47750/jptcp.2022.936>
- Apriyani, A., Wijayanti, P. E. H., & Habibi, M. (2020). Pencahayaan, Suhu Dan Indeks Angka Kuman Udara Di Ruang Rawat Rumah Sakit Tk. IV Samarinda. *Jurnal Penelitian Kesehatan “SUARA FORIKES” (Journal Of Health Research “Forikes Voice”)*, 11(2), 157. <https://doi.org/10.33846/sf11211>
- Ashrae, American Society Of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers. (2025). *ASHRAE Handbook--HVAC Applications (SI Edition)*. ASHRAE, 2015.
- Charuniza, T., Syarifuddin, H., & Jalius, J. (2020). Analisis Kualitas Mikrobiologi Udara Dalam Kamar Operasi Pada Instalasi Bedah Sentral Rumah Sakit “X” Kota Jambi Tahun 2019. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 3(2), 7–12. <https://doi.org/10.22437/jpb.v3i2.8944>
- Handayani, W. N., & Hati, S. W. (2018). Pengaruh Lingkungan Kerja Fisik Terhadap Produktivitas Kerja Karyawan Operator Bagian Produksi pada Perusahaan Manufaktur Di Pt Abc Batam. *Aplikasi Administrasi: Media Analisa Masalah Administrasi*, 21(1), 08. <https://doi.org/10.30649/aamama.v21i1.95>
- Hasfani, H., Triyanto, D., & Setyaningsih, F. A. (2015). Sistem Sirkulasi Udara Dan Pencahayaan Otomatis Di Dalam Rumah. *Jurnal Coding Sistem Komputer Untan*, 3(2), 100–110. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jcskommipa/article/viewfile/10793/10317>
- Li, Y., Tang, J., Noakes, C., & Hodgson, M. J. (2015). Engineering Control Of Respiratory Infection And Low-Energy Design Of Healthcare Facilities. *Science And Technology For The Built Environment*, 21(1), 25–34. <https://doi.org/10.1080/10789669.2014.965557>
- Nissa, U. N., & Amalia, S. (2018). Pengaruh Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Terhadap Kinerja Karyawan. *Jurnal Riset Bisnis Dan Investasi*, 3(3), 69–77. <https://doi.org/10.35313/jrbi.v3i3.946>
- Nitisemito, A. S. (1998). *Manajemen Personalia*. Graha Indonesia.
- Noya, L. Y. J., W, N. E., & Joko, T. (2020). Angka Kuman Di Ruang Operasi Rumah Sakit Sumber Hidup Di Kota Ambon 2020 Abstrak *The Hospital Is A Place With Quite High Contamination . The Operating Room As A Surgery Requires Sterile Conditions . The Purpose Of The Study Was To Analyze Factors Related .* 8(September), 679–687.
- Refiadi, G., & Usmani, T. (2016). Rancang Bangun , Otomasi , Dan Pengelolaan Biohazard Ruang Virology Untuk Clean Room Industri Farmasi. *Journal Of*

- Automation, Control And Instrumentation*, 8(1), 93–104. [Http://Journals.Itb.Ac.Id/Index.Php/Joki/Article/View/3994/2115%0Ahttp://Journals.Itb.Ac.Id/Index.Php/Joki/Article/View/3994%0Ahttps://Www.Scribd.Com/Document/371852083/Rancang-Bangun-Otomasi-Dan-Pengelolaan-Biohazard-Ruang-Virology-Untuk-Clean-Room-Indus](http://Journals.Itb.Ac.Id/Index.Php/Joki/Article/View/3994/2115%0Ahttp://Journals.Itb.Ac.Id/Index.Php/Joki/Article/View/3994%0Ahttps://Www.Scribd.Com/Document/371852083/Rancang-Bangun-Otomasi-Dan-Pengelolaan-Biohazard-Ruang-Virology-Untuk-Clean-Room-Indus)
- Rinanda, M. R. A., Makomulamin, & Efendi, A. S. (2021). Evaluasi Sistem Ventilasi Dan Aliran Udaraterhadap Kenyamanan Termal Di Ruang Mesinps Sei Galuhtahun 2020. *Media Kesmas (Public Health Media)*, 1(3). [Https://Jom.Htp.Ac.Id/Index.Php/Kesmas/Article/View/122/91](https://Jom.Htp.Ac.Id/Index.Php/Kesmas/Article/View/122/91)
- Riyanto, T., Muflihah, N., Mayasari, A., Nuning, F. A., & Afiatna, F. (2022). Optimasi Pemanfaatan Lumpur Aktif Untuk Menurunkan Kadar Cod Menggunakan Metode Desain Eksperimen Taguchi. *Jurnal Penelitian Bidang Inovasi & Pengelolaan Industri*, 2(1), 56–63. [Https://Doi.Org/10.33752/Invantri.V2i1.3432](https://doi.org/10.33752/Invantri.V2i1.3432)
- Rompas, C. L., Pinontoan, O., & Maddusa, S. S. (2019). Pemeriksaan Angka Kuman Udara Di Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Umum Gmim Pancaran Kasih Manado. *Kesmas*, 8(1), 36–43.
- Saunders, M. (2014). *Research Methods For Business Students* (6th Ed.). Pearson Education.
- Stapenhurst, T., & Bendell, A. (1990). Taguchi Methods. In *The Journal Of The Operational Research Society* (Vol. 41, Issue 9). [Https://Doi.Org/10.2307/2583510](https://doi.org/10.2307/2583510)
- Subarno, A. C., & Erawat, E. (2022). Studi Angka Kuman Udara Di Instalasi Bedah Sentral (IBS) RSUD Dr. Moewardi. *Prosiding Seminar Nasional UNIMUS*, 5, 1337.
- Sudjana. (1989). *Desain Dan Analisis Eksperimen* (3rd Ed.). Tarsito.
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*. Alfabeta.
- Sugiyono, D. (2013). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Alfabeta.
- Syaputra, D., & Heriyadi, B. (2019). Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Udaraterhadap Penurunan Temperatur Efektif Padaa Lat Simulasi Ventilasi Tambang Bawah Tanah. *Bina Tambang*, 4(1), 198–211. [Https://Ejournal.Unp.Ac.Id/Index.Php/Mining/Article/Downloadsupfile/103300/1509](https://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/download/supfile/103300/1509)
- Tarwaka. (2015). *Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Manajemen Dan Implementasi K3 Di Tempat Kerja*. Sibuku.
- Tarwaka, & Bakri, S. H. A. (2016). *Ergonomi Untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja Dan Produktivitas*.
- Uyun, R. A., Wijayanto, A., & Rusminto, T. W. (2023). Prototipe Sistem Pengkondisian Sirkulasi Udara Pada Lapangan Futsal Mini Dengan Metode Fuzzy Logic. *ALINIER: Journal Of Artificial Intelligence & Applications*, 4(1). [Https://Doi.Org/10.36040/Alinier.V4i1.6043](https://doi.org/10.36040/Alinier.V4i1.6043)
- Wismana, W. S. (2016). *Gambaran Kualitas Mikrobiologi Udara Kamar Operasi Dan Keluhan Kesehatan*. 8(2). [Https://E-Journal.Unair.Ac.Id/Jkl/Article/View/8015/4749](https://ejournal.unair.ac.id/jkl/article/view/8015/4749)
- Yadav, P. R. K. (2023). “ Low Cost & Infection Control Modular Operation Theatre Model-Across-The-Globe To Ensure Safety OfThe Patient Undergoing Any Surgical Procedure In Operation Theatre : Exclusive Case Study . . ” 8(3), 366–367.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Bukti Observasi di PT Putra Medikaltek Indonesia



Lampiran 2. Bukti Observasi dan Apersepsi Kepada Pihak RS UII



Lampiran 4. Kondisi Tempat Penelitian



Lampiran 6. Bukti Eksperimen



Lampiran 6. Bukti Pengolahan Data Mencari Nilai SNR

Eksperimen Ke-n	Suhu (X1)	Kecepatan Udara (X2)	Volume Udara (X3)	Bakteri (Y1)	Kadar Oksigen (Y2)	SNR Bakteri	SNR Kadar Oksigen
1	18	0.42	17.24	153	20.7	43.694	26.319
2	18	0.63	25.86	155	20.7	43.694	26.319
3	18	1.92	78.80	153	20.7	43.694	26.319
4	19	0.42	17.24	153	20.7	43.694	26.319
5	19	0.63	25.86	155	20.7	43.694	26.319
6	19	1.92	78.80	153	20.7	43.694	26.319
7	20	0.42	17.24	156	20.7	43.862	26.319
8	20	0.63	25.86	156	20.7	43.862	26.319
9	20	1.92	78.80	156	20.7	43.862	26.319
10	21	0.42	17.24	156	20.7	43.862	26.319
11	21	0.63	25.86	155	20.7	43.862	26.319
12	21	1.92	78.80	156	20.7	43.862	26.319
13	22	0.42	17.24	156	20.7	43.862	26.319
14	22	0.63	25.86	156	20.7	43.862	26.319
15	22	1.92	78.80	156	20.7	43.862	26.319
16	23	0.42	17.24	157	20.6	43.918	26.277
17	23	0.63	25.86	157	20.6	43.918	26.277
18	23	1.92	78.80	157	20.6	43.918	26.277
19	24	0.42	17.24	161	20.4	44.137	26.183
20	24	0.63	25.86	161	20.4	44.137	26.183
21	24	1.92	78.80	161	20.4	44.137	26.183

Lampiran 8. Bukti Pengolahan Data Friedman

Eksperimen Ke-n	Suhu (X1)	Kecepatan Udara (X2)	Bakteri (Y1)	Kadar Oksigen (Y2)	SNR Bakteri	SNR Kadar Oksigen
1	18	0.42	153	20.7	43.6932862	26.31940691
2	18	0.63	155	20.7	43.6932862	26.31940691
3	18	1.92	153	20.7	43.6932862	26.31940691
4	19	0.42	153	20.7	43.6932862	26.31940691
5	19	0.63	155	20.7	43.6932862	26.31940691
6	19	1.92	153	20.7	43.6932862	26.31940691
7	20	0.42	156	20.7	43.862	26.319
8	20	0.63	156	20.7	43.862	26.319
9	20	1.92	156	20.7	43.862	26.319
10	21	0.42	156	20.7	43.862	26.319
11	21	0.63	155	20.7	43.862	26.319
12	21	1.92	156	20.7	43.862	26.319
13	22	0.42	156	20.7	43.862	26.319
14	22	0.63	156	20.7	43.862	26.319
15	22	1.92	156	20.7	43.862	26.319
16	23	0.42	157	20.6	43.918	26.277
17	23	0.63	157	20.6	43.918	26.277
18	23	1.92	157	20.6	43.918	26.277
19	24	0.42	161	20.4	44.137	26.183
20	24	0.63	161	20.4	44.137	26.183
21	24	1.92	161	20.4	44.137	26.183