Pengaruh *Return Duct* Dan *Plenum* Terhadap Kualitas Udara PM10 dan PM2.5 pada Sistem AC Klinik

Haikal Raid Raziqin[1], Andriyanto Setyawan[2], Listya Utari[3]

[1]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: haikal.raid.tptu422@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: andriyanto@polban.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: listya.utari@polban.ac.id

ABSTRAK

Kualitas udara dalam ruang merupakan aspek penting dalam menciptakan lingkungan yang sehat pada fasilitas pelayanan kesehatan. Konfigurasi *return air* pada sistem VRF, yaitu *return duct* dan *return plenum*, memengaruhi distribusi partikulat di dalam ruangan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kedua konfigurasi tersebut terhadap kualitas udara berdasarkan parameter PM2.5 dan PM10 di Klinik Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia. Penelitian menggunakan metode kuantitatif komparatif melalui pengukuran selama lima hari pada tiga variasi *fan speed* (*low*, *medium*, dan *high*). Data dianalisis menggunakan nilai rata-rata, ISPU, uji Shapiro–Wilk, dan *Independent Samples t-test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 pada sistem *return plenum* berada pada rentang 3,71–3,96 µg/m³, sedangkan sistem *return duct* menghasilkan konsentrasi 0.76–6.25% lebih rendah. Konsentrasi PM10 pada sistem *return plenum* berada pada rentang 5,73–7,07 µg/m³, sedangkan sistem *return duct* menghasilkan konsentrasi 0.31–12.16% lebih rendah. Seluruh hasil pengukuran termasuk kategori Baik berdasarkan ISPU, sedangkan uji statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$).

Kata kunci:
PM10, PM2.5, *return plenum*, *return duct*, ISPU

Indoor Air Quality is an essential factor in maintaining a healthy environment in healthcare facilities. The return air configuration in a VRF system, namely return duct and return plenum, affects indoor particulate distribution. This study aimed to analyze the effect of these two return air configurations on indoor air quality based on PM2.5 and PM10 concentrations at the Indonesian Supreme Audit Board (BPK RI) Clinic. A quantitative comparative method was employed through field measurements conducted over five days under three fan speed settings (low, medium, and high). The data were analyzed using mean values, the Indonesian Air Pollution Standard Index (ISPU), the Shapiro–Wilk normality test, and the Independent Samples t-test. The results showed that PM2.5 concentrations in the return plenum system ranged from 3.71 to 3.96 µg/m³, while the return duct system produced concentrations 0.76–6.25% lower. PM10 concentrations in the return plenum system ranged from 5.73 to 7.07 µg/m³, whereas the return duct system produced concentrations 0.31–12.16% lower. All measurements were classified as Good based on the ISPU, and statistical analysis indicated no significant difference between the two systems ($p > 0.05$).

***Keywords*:**
PM10, PM2.5, *ceiling plenum return*, *duct*ed *return*, ISPU

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara dalam ruang (*Indoor Air Quality*/IAQ) merupakan salah satu aspek penting yang memengaruhi kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas penghuni bangunan, terutama pada fasilitas pelayanan kesehatan (1). Lingkungan dalam ruang yang tidak memenuhi persyaratan kualitas udara dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan akibat paparan kontaminan, termasuk partikulat halus PM2.5 dan PM10 (2). Pengendalian kualitas udara menjadi salah satu persyaratan penting dalam penyelenggaraan fasilitas kesehatan sesuai dengan regulasi dan standar yang berlaku (3).

Sistem *Variable Refrigerant Flow* (VRF) merupakan salah satu sistem tata udara yang banyak digunakan pada bangunan modern karena memiliki efisiensi energi dan fleksibilitas pengoperasian yang tinggi (4). Selain kapasitas pendinginan, performa sistem VRF dalam menjaga kualitas udara juga dipengaruhi oleh konfigurasi *return air*. Dua konfigurasi yang umum digunakan adalah *return duct* dan *return plenum*, yang memiliki karakteristik aliran udara berbeda sehingga berpotensi memengaruhi distribusi partikulat di dalam ruangan (5). Meskipun berbagai penelitian telah membahas kualitas udara dalam ruang maupun pengaruh sistem ventilasi terhadap distribusi partikulat (4). Penelitian yang secara khusus

membandingkan konfigurasi *return duct* dan *return plenum* pada sistem AC VRF melalui pengukuran lapangan di fasilitas pelayanan kesehatan masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kedua konfigurasi *return air* terhadap konsentrasi PM2.5 dan PM10 serta menginterpretasikan hasil pengukuran menggunakan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) pada sistem AC VRF di Klinik Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia.

2. KAJIAN LITERATUR

2.1 Kualitas Udara Dalam Ruangan

Kualitas udara dalam ruangan merupakan kondisi udara di dalam suatu ruang yang dipengaruhi oleh konsentrasi polutan, temperatur, kelembapan, serta distribusi aliran udara (1). Manusia menghabiskan sekitar 90% waktunya di dalam ruangan sehingga paparan polutan dalam ruang dapat memberikan dampak langsung terhadap kesehatan (2). Penilaian kualitas udara dalam ruang perlu mempertimbangkan pola distribusi udara, aktivitas penghuni, serta karakteristik ventilasi agar mampu merepresentasikan kondisi udara yang sebenarnya (6).

Pada fasilitas pelayanan kesehatan, kualitas udara menjadi aspek yang sangat penting karena berhubungan dengan keselamatan pasien, tenaga kesehatan, dan pengunjung. Sumolang dkk. melaporkan bahwa kualitas udara pada ruang interna wanita RSUD Noongan secara umum masih berada pada kategori baik, meskipun beberapa titik pengukuran mendekati kategori sedang sehingga pengelolaan ventilasi tetap diperlukan (7). Penelitian lain oleh Astawa dkk. juga menunjukkan bahwa beberapa ruang rawat inap anak memiliki konsentrasi PM2.5 yang melebihi baku mutu, sehingga diperlukan pengendalian kualitas udara secara berkelanjutan melalui pengelolaan sistem ventilasi dan pemantauan kualitas udara (8).

2.2 *Particulate Matter* (PM2.5 dan PM10)

Particulate Matter (PM) merupakan partikel padat maupun cair berukuran sangat kecil yang tersuspensi di udara dan menjadi salah satu parameter utama dalam penilaian kualitas udara. Berdasarkan ukuran aerodinamisnya, partikulat dibedakan menjadi PM10 dengan diameter ≤10 µm dan PM2.5 dengan diameter ≤2,5 µm. PM2.5 memiliki kemampuan menembus hingga alveoli paru-paru sehingga berpotensi memberikan dampak kesehatan yang lebih serius dibandingkan PM10 (9) (10).

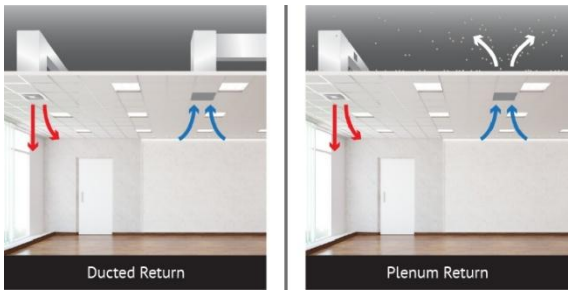
Konsentrasi PM2.5 dan PM10 di dalam ruangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti aktivitas penghuni, infiltrasi udara luar, sistem ventilasi, serta pola sirkulasi udara yang dibentuk oleh sistem tata udara (1). Hasil penelitian Febiana dkk. menunjukkan bahwa keberadaan ventilasi mampu menurunkan konsentrasi PM2.5 dan PM10 melalui mekanisme pengenceran dan pergantian udara. Kedua parameter tersebut banyak digunakan sebagai indikator utama dalam evaluasi kualitas udara dalam ruang (11).

2.3 Sistem AC VRF

Sistem AC VRF merupakan sistem tata udara yang mengatur aliran refrigeran sesuai dengan kebutuhan beban pendinginan pada masing-masing unit *indoor*. Sistem VRF banyak diterapkan pada bangunan modern karena memiliki efisiensi energi yang tinggi, fleksibilitas pengoperasian, serta kemampuan mengondisikan beberapa zona secara independen sehingga konsumsi energi dapat disesuaikan dengan kebutuhan aktual bangunan (12). Selain meningkatkan efisiensi energi, penerapan sistem VRF juga perlu didukung oleh distribusi udara yang baik untuk menjaga kenyamanan termal dan kualitas udara dalam ruangan (2). Dalam penelitian ini, perhatian difokuskan pada konfigurasi *return air* sebagai salah satu komponen distribusi udara yang diduga memengaruhi konsentrasi PM2.5 dan PM10.

2.4 *Return Air*

Return air merupakan sistem pengembalian udara dari dalam ruangan menuju unit AC untuk diproses kembali sebelum didistribusikan melalui saluran *supply*. Sistem ini berfungsi menjaga sirkulasi udara, membantu mempertahankan keseimbangan tekanan ruangan, serta meningkatkan efisiensi proses pendinginan. Distribusi udara yang baik, termasuk sistem *return air*, berperan penting dalam menjaga kualitas udara dalam ruangan dengan mengurangi terbentuknya area stagnan yang dapat menyebabkan akumulasi polutan (13).



Gambar 1. Perbedaan sistem *return duct* dan *plenum* (14)

Berdasarkan Gambar 1, sistem *return duct* mengalirkan udara balik menuju unit AC melalui saluran tertutup sehingga jalur aliran udara lebih terarah dan risiko masuknya kontaminan dari ruang plafon dapat diminimalkan. Sistem *return plenum* memanfaatkan ruang di atas plafon sebagai jalur udara balik sehingga instalasinya lebih sederhana dan ekonomis, namun pola distribusi udara lebih dipengaruhi oleh kondisi ruang *plenum*. Karakteristik distribusi udara tersebut berpotensi memengaruhi penyebaran partikulat di dalam ruangan (13).

Pada sistem AC VRF, *return air* umumnya menggunakan dua konfigurasi, yaitu *return plenum* dan *return duct*. *Return plenum* memanfaatkan ruang di atas plafon sebagai jalur pengembalian udara, sedangkan *return duct* menggunakan saluran tertutup sehingga aliran udara menjadi lebih terarah dan terkontrol. *Return duct* juga mampu mengurangi risiko

kontaminasi serta meningkatkan efisiensi distribusi udara, sehingga lebih sesuai diterapkan pada bangunan yang memerlukan kualitas udara yang baik. Perbedaan karakteristik kedua konfigurasi tersebut diduga memengaruhi distribusi partikulat PM2.5 dan PM10 di dalam ruangan, sehingga menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

2.5 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) merupakan indeks yang digunakan untuk menggambarkan tingkat mutu udara berdasarkan konsentrasi polutan tertentu. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2020, parameter yang digunakan dalam perhitungan ISPU meliputi $PM_{2.5}$, PM_{10}, CO, SO_2, NO_2, dan O_3. Nilai konsentrasi hasil pengukuran dikonversi menjadi nilai indeks menggunakan metode interpolasi linier sehingga mutu udara dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori (6). Perhitungan nilai ISPU dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$I = \left(\frac{I_a - I_b}{X_a - X_b}\right)(X_x - X_b) + I_b \quad (1)$$

Keterangan:

I	=	Nilai ISPU terhitung
X_x	=	Konsentrasi hasil pengukuran ($\mu g/m^3$)
X_a, X_b	=	Konsentrasi batas kategori
I_a, I_b	=	Batas ISPU kategori

Kategori mutu udara berdasarkan nilai ISPU ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori indeks standar pencemar udara (ISPU) (6)

Kategori	ISPU	PM10 ($\mu g/m^3$)	PM2.5 ($\mu g/m^3$)
Baik	0–50	0–50	0–15.5
Sedang	51–100	50–150	15.5–55.4
Tidak Sehat	101–200	150–350	55.4–150
Sangat Tidak Sehat	201–300	350–420	150–250
Berbahaya	>300	>420	>250

Dalam penelitian ini, nilai ISPU dihitung berdasarkan konsentrasi PM2.5 dan PM10 untuk menginterpretasikan kualitas udara pada ruang dengan sistem *return plenum* dan *return duct*. Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai dasar penentuan kategori mutu udara sesuai dengan ketentuan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2020.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode komparatif untuk membandingkan kualitas udara dalam ruang pada dua konfigurasi sistem *return air* AC VRF, yaitu *return duct* dan *return plenum*. Penelitian dilaksanakan di Klinik Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia (BPK RI), Jakarta Pusat. Objek penelitian terdiri atas dua ruangan yang menggunakan konfigurasi *return air* berbeda, yaitu area pendaftaran (*return duct*) dan area tindakan (*return plenum*). Parameter yang dianalisis meliputi konsentrasi PM2.5 dan PM10, sedangkan kualitas udara diinterpretasikan menggunakan ISPU. Pengukuran dilakukan selama lima hari pada tiga variasi *fan speed* (*low*, *medium*, dan *high*) dengan tiga titik pengukuran pada setiap ruangan, yaitu *supply*, tengah ruangan, dan *return*.

Pengukuran konsentrasi PM2.5 dan PM10 dilakukan menggunakan *Particulate Counter* HT-9600 yang ditunjukkan pada Gambar 2. Alat ini bekerja menggunakan sumber cahaya laser semikonduktor untuk mendeteksi konsentrasi partikulat dengan parameter pengukuran PM2.5 dan PM10. HT-9600 memiliki akurasi pengukuran partikel sebesar ±5% serta efisiensi penghitungan sebesar 100 ± 10% pada ukuran partikel 0,5 µm. Data hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh nilai rata-rata dan persentase perbedaan antara sistem *return duct* dan *return plenum*. Selanjutnya dilakukan uji normalitas Shapiro–Wilk dan uji *Independent Samples t-test* menggunakan IBM SPSS *Statistics* untuk mengetahui signifikansi perbedaan konsentrasi partikulat pada kedua konfigurasi *return air*.

Gambar 2. *Particulate counter* HT-9600 (15)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Konsentrasi PM2.5

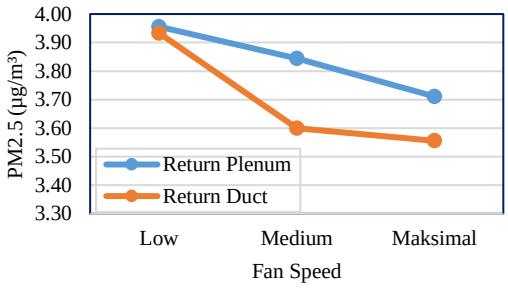
Konsentrasi PM2.5 pada sistem *return duct* dan *return plenum* dianalisis untuk mengetahui pengaruh konfigurasi *return air* terhadap kualitas udara dalam ruangan. Hasil rata-rata pengukuran PM2.5 pada masing-masing variasi *fan speed* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan PM2.5 return duct dan plenum

Fan Speed	***Return Plenum*** **(µg/m³)**	***Return Duct*** **(µg/m³)**	**Persentase Perbedaan (%)**
Low	3.96	3.93	0.76
Medium	3.84	3.60	6.25
High	3.71	3.56	4.04

Berdasarkan Tabel 2, konsentrasi PM2.5 pada kedua sistem masih berada pada kategori kualitas udara yang baik. Sistem *return duct* menunjukkan nilai rata-rata PM2.5 yang lebih rendah dibandingkan *return plenum* pada seluruh variasi *fan speed*. Persentase penurunan konsentrasi PM2.5 pada *return duct* berkisar antara 0.76–6.25%, yang mengindikasikan distribusi udara melalui saluran tertutup mampu mengurangi akumulasi partikulat secara lebih efektif.

Untuk memperjelas perbandingan kedua sistem, hasil rata-rata konsentrasi PM2.5 pada setiap variasi *fan speed* ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Grafik perbandingan PM2.5 return duct dan *plenum*

Grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pola perubahan konsentrasi PM2.5 pada kedua sistem relatif serupa. Meskipun demikian, kurva *return duct* secara konsisten berada di bawah *return plenum* pada setiap variasi *fan speed*. Hal tersebut menunjukkan bahwa konfigurasi *return duct* memberikan distribusi udara yang sedikit lebih baik dalam mengendalikan konsentrasi partikulat di dalam ruangan, meskipun selisih yang diperoleh relatif kecil.

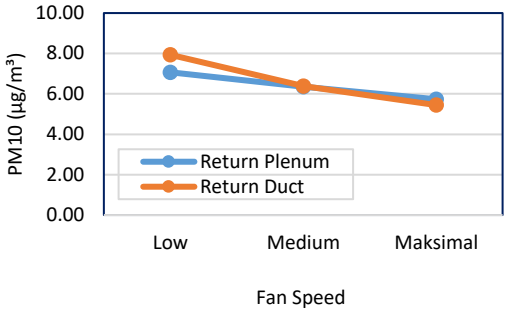
4.2 Konsentrasi PM10

Pengukuran PM10 dilakukan dengan prosedur yang sama untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi *return air* terhadap distribusi partikulat berukuran lebih besar. Nilai rata-rata konsentrasi PM10 pada masing-masing sistem disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persentase perbedaan konsentrasi PM10

Fan Speed	***Return Plenum* (µg/m³)**	***Return Duct* (µg/m³)**	**Persentase Perbedaan (%)**
Low	7.07	7.93	12.16
Medium	6.36	6.38	0.31
High	5.73	5.44	5.06

Berdasarkan Tabel 3, sistem *return duct* juga menghasilkan konsentrasi PM10 yang lebih rendah dibandingkan *return plenum*. Persentase penurunan konsentrasi PM10 berada pada rentang 0.31–12.16%. Seluruh hasil pengukuran masih berada di bawah baku mutu kualitas udara dalam ruangan sehingga menunjukkan bahwa kedua konfigurasi sistem masih mampu mempertahankan kualitas udara yang baik. Perbandingan rata-rata konsentrasi PM10 pada setiap variasi *fan speed* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik perbandingan PM10 return duct dan *plenum*

Berdasarkan Gambar 4, perubahan konsentrasi PM10 pada kedua sistem menunjukkan pola yang hampir sama. Nilai PM10 pada sistem *return duct* tetap lebih rendah dibandingkan *return plenum* pada seluruh variasi *fan speed*. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan saluran *return* tertutup mampu menghasilkan sirkulasi udara yang lebih terarah sehingga distribusi partikulat menjadi lebih terkendali.

4.3 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui apakah perbedaan konsentrasi PM2.5 dan PM10 antara sistem *return duct* dan *return plenum* signifikan secara statistik. Pengujian diawali dengan uji normalitas menggunakan metode Shapiro–Wilk untuk memastikan bahwa data memenuhi asumsi distribusi normal, kemudian dilanjutkan dengan *Independent Samples t-test* pada taraf signifikansi 5%. Hasil pengujian statistik disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, seluruh data PM2.5 dan PM10 memiliki nilai signifikansi uji Shapiro–Wilk lebih besar dari 0.05 sehingga dapat dinyatakan berdistribusi normal. Selain itu, hasil Levene's Test juga menunjukkan nilai signifikansi di atas 0.05 pada seluruh variasi *fan speed*, yang menunjukkan bahwa varians kedua kelompok bersifat homogen sehingga analisis *Independent Samples t-test* dilakukan dengan asumsi *equal variances assumed*.

Hasil *Independent Samples t-test* menunjukkan bahwa seluruh nilai Sig. (2-tailed) pada parameter PM2.5 maupun PM10 lebih besar dari 0.05. Dengan demikian, tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara konsentrasi partikulat pada sistem *return duct* dan *return plenum*. Jumlah sampel pada masing-masing kelompok relatif terbatas (n = 5), seluruh data telah memenuhi asumsi normalitas berdasarkan uji Shapiro–Wilk sehingga analisis menggunakan *Independent Samples t-test* tetap dapat diterapkan untuk membandingkan kedua konfigurasi *return air*. Hasil analisis deskriptif menunjukkan bahwa sistem *return duct* menghasilkan

konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang lebih rendah, namun perbedaan tersebut belum cukup besar untuk dinyatakan signifikan secara statistik pada kondisi penelitian ini.

Tabel 4. Hasil uji shapiro–wilk dan independent samples t-test pada konsentrasi PM2.5 dan PM10

Parameter	Variasi *Fan*	Sistem *Return*	N	*Mean*	SD	*p value*
PM2.5	*Low*	*Return Plenum*	5	3.95	1.166	0.975
		Return Duct	5	3.93	0.755	0.975
PM2.5	*Medium*	*Return Plenum*	5	3.85	0.810	0.656
		Return Duct	5	3.60	0.859	0.656
PM2.5	*High*	*Return Plenum*	5	3.71	0.851	0.736
		Return Duct	5	3.56	0.527	0.738
PM10	*Low*	*Return Plenum*	5	7.07	1.627	0.481
		Return Duct	5	7.93	2.065	0.483
PM10	*Medium*	*Return Plenum*	5	6.36	1.779	0.988
		Return Duct	5	6.38	2.579	0.988
PM10	*High*	*Return Plenum*	5	5.73	1.429	0.75
		Return Duct	5	5.45	1.335	0.75

4.4 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Untuk memberikan interpretasi terhadap kualitas udara dalam ruangan, konsentrasi PM2.5 dan PM10 dikonversi menjadi nilai ISPU berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2020. Perhitungan dilakukan menggunakan metode interpolasi linier sesuai dengan rentang konsentrasi pada kategori mutu udara.

Sebagai contoh, perhitungan dilakukan pada rata-rata konsentrasi PM2.5 sistem *return duct* pada *fan speed high*, yaitu sebesar 3.56 µg/m³. Nilai tersebut berada pada rentang kategori Baik (0–15.5 µg/m³), sehingga nilai ISPU dihitung sebagai berikut.

$$I = \left(\frac{I_a - I_b}{X_a - X_b}\right)(X_x - X_b) + I_b$$
$$I = \left(\frac{50 - 0}{15.5 - 0}\right)(3.56 - 0) + 0$$
$$I = \left(\frac{50}{15.5}\right)(3.56)$$
$$I = (3.225)(3.56)$$
$$I = 11.48$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh data PM2.5 dan PM10 sehingga diperoleh nilai ISPU seperti disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi mutu udara berdasarkan hasil perhitungan ISPU

Parameter	*Fan Speed*	*Return Plenum*	*Return Duct*	Kategori
PM2.5	*Low*	12.76	12.69	Baik
PM2.5	*Medium*	12.4	11.61	Baik
PM2.5	*High*	11.97	11.47	Baik
PM10	*Low*	7.07	7.93	Baik
PM10	*Medium*	6.36	6.38	Baik
PM10	*High*	5.73	5.44	Baik

Berdasarkan Tabel 5, nilai ISPU PM2.5 berada pada rentang 11.47–12.76, sedangkan nilai ISPU PM10 berada pada rentang 5.44–7.93. Seluruh nilai tersebut termasuk dalam kategori Baik, sehingga menunjukkan bahwa kualitas udara pada kedua ruangan masih memenuhi kriteria mutu udara yang aman bagi penghuni. Hasil ini sejalan dengan rendahnya konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang diperoleh selama pengukuran.

Meskipun sistem *return duct* menghasilkan nilai ISPU yang sedikit lebih rendah dibandingkan *return plenum*, perbedaannya relatif kecil dan konsisten dengan hasil uji statistik yang menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan antara kedua konfigurasi *return air*. Dengan demikian, baik sistem *return duct* maupun *return plenum* mampu mempertahankan kualitas udara dalam kategori Baik, meskipun *return duct* menunjukkan kecenderungan memberikan kualitas udara yang lebih baik berdasarkan nilai konsentrasi partikulat dan ISPU.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh konfigurasi *return duct* dan *return plenum* terhadap kualitas udara pada sistem AC VRF di Klinik Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia, dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsentrasi PM2.5 pada sistem *return plenum* berada pada rentang 3.71–3.96 µg/m³, sedangkan sistem *return duct* menghasilkan konsentrasi 0.76–6.25% lebih rendah. Konsentrasi PM10 pada sistem *return plenum* berada pada rentang 5.73–7.07 µg/m³, sedangkan sistem *return duct* menghasilkan konsentrasi 0.31–12.16% lebih rendah.
2. Hasil uji Shapiro–Wilk menunjukkan seluruh data PM2.5 dan PM10 berdistribusi normal (Sig. > 0.05), sedangkan hasil *Independent Samples t-test* menunjukkan seluruh nilai Sig. (2-tailed) juga lebih besar dari 0.05. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara sistem *return duct* dan *return plenum* terhadap konsentrasi PM2.5 maupun PM10.
3. Nilai ISPU PM2.5 pada sistem *return plenum* dan *return duct* masing-masing berada pada rentang 11.97–12.76 dan 11.47–12.69, nilai ISPU PM10 pada sistem *return plenum* dan *return duct* masing-masing berada pada rentang 5.73–7.07 dan 5.44–7.93. Seluruh nilai ISPU tersebut termasuk dalam kategori Baik.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung atas dukungan akademik, bimbingan, serta fasilitas yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Klinik Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia atas izin penelitian, bantuan, serta fasilitas yang diberikan selama proses pengambilan data. Selain itu, penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, kerja sama, dan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dan diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHO. WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 2021.
2. ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta; 2019. Report 62.1.
3. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 48 Tahun 2016 tentang Standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja Perkantoran. 48. STANDAR KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PERKANTORAN; 2016.
4. Budhyowati MYN, Rumbayan R, Musanif I, Tombeg BA, Makalew FP. Efektivitas Penggunaan Plafon sebagai Pendingin Ruang Dalam. JTST [Internet]. 2022;4(3):142–52. Tersedia pada: http://jurnal.polimdo.ac.id/
5. Lim E, Sandberg M, Ito K. Returning characteristics of pollutants for a local domain in the presence of returning and recirculating airflow in indoor environments. Indoor Air. 2021;31(4).
6. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara. 2020.
7. Sumolang JF, Legrans RRI, Tungka AE. Analisis Kualitas Udara Pada Ruangan Interna Wanita Rumah Sakit Umum Daerah Noongan. Tekno. 2025;23(91).
8. Astawa GA, Legrans RRI, Tungka AE. Analisis Kualitas Udara Pada Instalasi Rawat Inap Anak Rumah Sakit Tk. II R. W. Monginsidi Manado Menurut Standar Bangunan Hijau. Tekno. 2024;22(88).
9. Zaenab, Rafidah, Amien FF. Paparan Partikulat Matter (PM10 dan PM2.5) pada Lingkungan Kerja Pabrik Smelter PT Vale Sorowako, Luwu Timur. Sulolipu. 2025;25:2025.
10. Martins NR, Graça GC da. Impact of PM2.5 in Indoor Urban Environments: A Review. Sustain Cities Soc. 2018;42:259–275.
11. Febiana RH, Simbolon LM, Sugiyarto, Yuliane A. Pengaruh Aktivitas Memasak Terhadap Konsentrasi PM10 dan PM2.5 di Dapur dengan dan Tanpa Ventilasi. Dalam: IRWNS. IRWNS; 2025.
12. Wang J, Lu X, Adetola V, Louie E. Modeling Variable Refrigerant Flow (VRF) Systems in Building Applications: A Comprehensive Review. Energy Build. 2024;311(March):114128. doi:10.1016/j.enbuild.2024.114128
13. Al-Rikabi IJ, Karam J, Alsaad H, Ghali K, Ghaddar N, Voelker C. The impact of mechanical and natural ventilation modes on the spread of indoor airborne contaminants: A review. Journal of Building Engineering. 2024;85(February):108715. doi:10.1016/j.jobe.2024.108715
14. Group S. 2018 [Internet]. What's Above Your Ceiling. Tersedia pada: https://www.stoughgroup.com/
15. HTI Instruments. HT-9600 Air Quality Detector [Internet]. 2025 [dikutip 21 Juli 2026]. Tersedia pada: https://www.hti-meter.com/product/58.html