Rancang Bangun *Air Handling Unit* 10 PK *Type Direct Expansion* pada Ruang Operasi (Studi Kasus: Ruang Operasi di RSUD. Pagelaran Cianjur)

Raden Muhammad Hadi Nur Falah[1], Cecep Sunardi[2], M. Nuriyadi[3]

[1]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail : raden.muhammad.tptu425@polban.ac.id,
[2]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: cecepsunardi@gmail.com
[3]*Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
E-mail: nuriyadi@polban.ac.id

ABSTRAK

Air Handling Unit (AHU) merupakan komponen utama sistem tata udara yang berfungsi mengondisikan dan mensirkulasikan udara untuk menjaga kualitas lingkungan ruang operasi. Penelitian ini bertujuan merancang AHU berkapasitas 10 PK dengan *cooling capacity* 100.000 Btu/h menggunakan sistem *Direct Expansion* (DX) untuk ruang operasi RSUD Pagelaran Cianjur. Perancangan dilakukan menggunakan pemodelan tiga dimensi (*3D*) untuk menghasilkan desain yang akurat dan memudahkan proses fabrikasi. AHU dilengkapi *casing double skin*, *cooling coil* DX, *electric heater*, *EC fan*, sistem filtrasi (*pre-filter*, *medium filter*, dan *HEPA filter*), serta *drain pan*. Sistem dirancang untuk memenuhi temperatur 22 ± 2°C, kelembapan relatif 55 ± 5%, dan standar kebersihan udara ISO 14644-1:2015 *Class* 6. Hasil pengujian menunjukkan temperatur rata-rata 19,25°C dengan RH 59,96% pada pengujian pertama, serta 22,7°C dengan RH 57,1% pada pengujian kedua. Pengujian jumlah partikel pada enam titik menunjukkan seluruh konsentrasi partikel masih berada di bawah batas maksimum ISO 14644-1:2015 *Class* 6. Dengan demikian, AHU yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan pengondisian udara ruang operasi sesuai standar rumah sakit.

Kata kunci:
Air Handling Unit (AHU), *Direct Expansion (DX),* Ruang Operasi, RSUD Pagelaran Cianjur.

Air Handling Unit (AHU) is the primary component of an air-conditioning system that conditions and circulates air to maintain the required environmental quality in an operating room. This study aimed to design a 10 PK AHU with a cooling capacity of 100,000 Btu/h using a Direct Expansion (DX) system for the operating room of RSUD Pagelaran Cianjur. The design was developed using three-dimensional (3D) modeling to ensure accuracy and facilitate fabrication. The AHU consists of a double-skin casing, DX cooling coil, electric heater, EC fan, filtration system (pre-filter, medium filter, and HEPA filter), and drain pan. The system was designed to maintain a temperature of 22 ± 2°C, relative humidity of 55 ± 5%, and comply with ISO 14644-1:2015 Class 6 cleanliness standards. Performance testing showed average temperatures of 19.25°C with 59.96% RH in the first test and 22.7°C with 57.1% RH in the second test. Particle count measurements at six locations confirmed that concentrations of 0.3 µm, 0.5 µm, and 5.0 µm particles remained below the maximum allowable limits for ISO 14644-1:2015 Class 6. These results demonstrate that the proposed AHU is capable of meeting the air-conditioning requirements for hospital operating rooms.

Keywords:

Air Handling Unit (AHU), Direct Expansion (DX), Operating Room, RSUD Pagelaran Cianjur.

1. PENDAHULUAN

Rumah sakit merupakan fasilitas pelayanan kesehatan yang memerlukan sistem tata udara dengan persyaratan khusus untuk menjaga kualitas lingkungan dalam ruang dan mendukung keselamatan pasien serta tenaga medis. Sistem tata udara pada bangunan rumah sakit berperan dalam mengendalikan temperatur, kelembapan relatif, kebersihan udara, tekanan ruang, serta distribusi udara, terutama pada ruangan khusus seperti ruang operasi dan ruang isolasi (1). Pengendalian parameter tersebut menjadi bagian penting dalam strategi pengendalian infeksi di fasilitas pelayanan kesehatan (2,3).

Pada ruang operasi, sistem ventilasi harus mampu mempertahankan kondisi lingkungan yang sesuai dengan fungsi ruang. Pedoman pengendalian infeksi CDC merekomendasikan ruang operasi dipertahankan pada kondisi tekanan positif terhadap koridor dan area yang berdekatan serta menggunakan sistem ventilasi dan filtrasi yang sesuai (4). Persyaratan ventilasi fasilitas pelayanan kesehatan juga dibahas secara khusus dalam ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170 yang memberikan persyaratan minimum untuk sistem

ventilasi fasilitas kesehatan, termasuk aspek temperatur, kelembapan, pergantian udara, tekanan ruang, dan filtrasi (5).
Salah satu komponen utama yang berperan dalam memenuhi persyaratan tersebut adalah *Air Handling Unit* (AHU). AHU berfungsi mengolah, mengondisikan, menyaring, dan mendistribusikan udara ke dalam ruangan sesuai kebutuhan sistem tata udara. Dalam penerapannya pada fasilitas kesehatan, konfigurasi AHU perlu mempertimbangkan pengendalian temperatur dan kelembapan, pemilihan sistem filtrasi, tekanan ruang, serta kebutuhan ventilasi untuk mendukung pengendalian kontaminan udara (3,6).
Sistem filtrasi merupakan bagian penting dalam pengendalian kebersihan udara pada AHU. Penggunaan beberapa tingkat filtrasi, seperti *pre-filter*, *medium filter*, dan *HEPA filter*, dapat digunakan untuk mengurangi beban partikel yang masuk ke ruang terkondisi. ISO 16890-1:2016 memberikan sistem klasifikasi dan metode pengujian efisiensi filter udara untuk ventilasi umum berdasarkan *particulate matter* (PM), sedangkan pengukuran efisiensi fraksional dan hambatan aliran filter dapat dilakukan berdasarkan metode yang dijelaskan dalam ISO 16890-2:2016 (7,14).Kebersihan udara pada ruang terkendali dapat dievaluasi berdasarkan konsentrasi partikel di udara. ISO 14644-1:2015 menetapkan klasifikasi kebersihan udara berdasarkan konsentrasi partikel *airborne* pada ukuran partikel tertentu, dengan rentang ukuran ambang 0,1 µm sampai 5 µm. Penentuan konsentrasi tersebut menggunakan *light-scattering airborne particle counter* pada lokasi pengambilan sampel yang telah ditentukan (8).
Selain klasifikasi kebersihan udara, ISO 14644-2:2015 memberikan persyaratan minimum mengenai rencana pemantauan untuk membuktikan kinerja *cleanroom* atau zona bersih berdasarkan konsentrasi partikel (9). Metode pengujian untuk mengevaluasi berbagai karakteristik kinerja *cleanroom* dan zona bersih juga dapat mengacu pada ISO 14644-3:2019 (15). Kondisi termal ruang operasi juga merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem HVAC. Penelitian Balaras, Dascalaki, dan Gaglia menunjukkan bahwa ruang operasi memiliki tuntutan lingkungan termal yang tinggi sehingga sistem HVAC harus dirancang secara tepat untuk memenuhi kebutuhan pasien dan tenaga medis. Kajian tersebut juga menunjukkan adanya variasi kondisi temperatur dan kelembapan di ruang operasi sehingga pengendalian kondisi termal menjadi aspek penting dalam desain sistem HVAC (10).
Penelitian mengenai ventilasi ruang operasi juga menunjukkan bahwa karakteristik sistem ventilasi, filtrasi, dan pola aliran udara merupakan aspek penting dalam lingkungan ruang operasi. Brandt et al. mengevaluasi penggunaan ventilasi dengan *high-efficiency particulate air* (HEPA) dan *laminar airflow* pada ruang operasi (11), sedangkan penelitian sistematis oleh Bischoff et al. membahas hubungan antara *laminar airflow* dan risiko infeksi daerah operasi (12). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pemilihan dan penerapan sistem ventilasi perlu mempertimbangkan karakteristik ruang serta tujuan pengendalian kontaminasi.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang AHU berkapasitas 10 PK (100.000 Btu/h) dengan sistem *Direct Expansion* (DX) untuk ruang operasi RSUD Pagelaran Cianjur menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 3D. Autodesk Inventor merupakan perangkat lunak CAD 3D yang menyediakan fasilitas pemodelan, dokumentasi, simulasi, dan visualisasi desain mekanikal sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan representasi tiga dimensi dari suatu produk atau sistem sebelum direalisasikan (13).
Perancangan mencakup *double-skin casing*, *cooling coil*, *electric heater*, *EC fan*, serta sistem filtrasi yang terdiri atas *pre-filter*, *medium filter*, dan *HEPA filter*. Selanjutnya, performa AHU dievaluasi berdasarkan kemampuan sistem dalam mempertahankan temperatur 22 ± 2°C, kelembapan relatif 55 ± 5%, serta memenuhi target kebersihan udara ISO 14644-1:2015 Class 6 melalui pengujian jumlah partikel. Evaluasi kebersihan udara dilakukan dengan mengacu pada prinsip klasifikasi konsentrasi partikel yang ditetapkan dalam ISO 14644-1:2015 dan pemantauan kinerja kebersihan udara berdasarkan ISO 14644-2:2015 (8,9).
Penelitian ini dibatasi pada perancangan dan evaluasi performa AHU tanpa melakukan pengukuran *air flow* maupun pengujian laju pergantian udara (*Air Changes per Hour*/ACH), sehingga nilai tersebut mengacu pada hasil perancangan dan spesifikasi sistem. Pembatasan tersebut perlu dinyatakan secara jelas karena ACH merupakan salah satu parameter penting dalam sistem ventilasi fasilitas kesehatan dan memiliki persyaratan tersendiri dalam pedoman ventilasi ruang operasi (4,5).

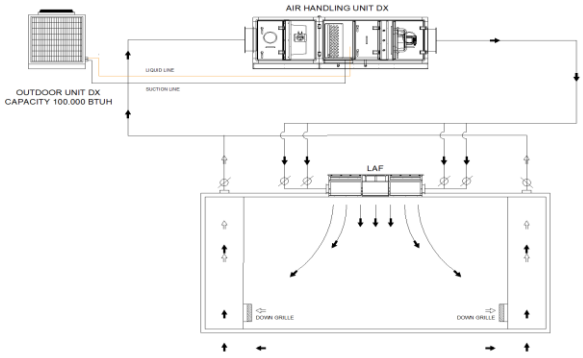
2. TINJAUAN PUSTAKA

Air Handling Unit (AHU) merupakan komponen utama pada sistem tata udara yang berfungsi mengondisikan dan mensirkulasikan udara agar temperatur, kelembapan, tekanan, dan kualitas udara di dalam ruangan tetap sesuai dengan standar. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perancangan AHU dilakukan berdasarkan perhitungan beban pendinginan, kebutuhan *airflow*, serta evaluasi performa sistem untuk memperoleh kondisi udara yang nyaman, efisien, dan sesuai standar HVAC. Selain meningkatkan kenyamanan termal, penerapan AHU yang dirancang dengan baik juga berkontribusi terhadap efisiensi energi dan peningkatan kualitas udara pada berbagai jenis bangunan.

Pada penelitian ini digunakan sistem *Direct Expansion* (DX), yaitu sistem pendinginan yang memanfaatkan refrigeran sebagai media pendingin pada *cooling coil*. AHU yang dirancang terdiri atas *double-skin casing*, *cooling coil*, *electric heater*, *EC fan*, *drain pan*, serta sistem filtrasi bertingkat yang meliputi *pre-filter*, *medium filter*, dan *HEPA filter*. Kombinasi komponen tersebut berfungsi untuk menyaring partikel, mengatur temperatur dan kelembapan udara, serta mendistribusikan udara bersih secara merata ke dalam ruang operasi sehingga kualitas udara tetap terjaga.

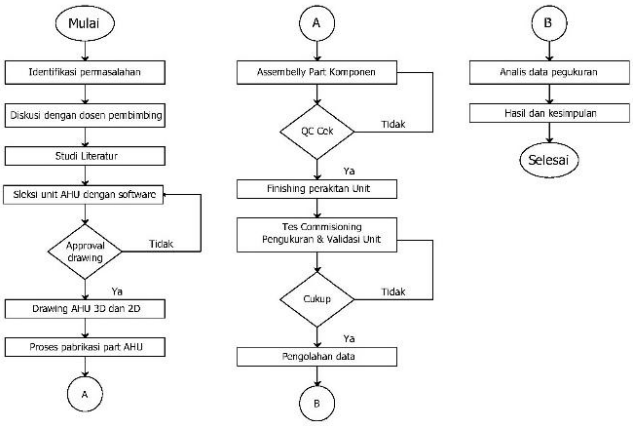
Perancangan AHU mengacu pada standar ISO 14644-1:2015 *Class* 6 untuk ruang operasi, yang menetapkan batas konsentrasi partikel udara, serta parameter lingkungan berupa

temperatur 22 ± 2°C, kelembapan relatif 55 ± 5%, dan tekanan udara positif terhadap area sekitarnya. Selain itu, sistem ventilasi dirancang dengan *Air Changes per Hour* (ACH) sebesar 25 kali per jam untuk mendukung sirkulasi udara, mengurangi risiko kontaminasi, dan menjaga kebersihan ruang operasi.



Gambar 1. System AHU RSUD. Pagelaran Cianjur

3. METODOLOGI



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode perancangan, fabrikasi, dan pengujian performa *Air Handling Unit* (AHU) berkapasitas 10 PK dengan sistem *Direct Expansion* (DX) untuk ruang operasi RSUD Pagelaran Cianjur. Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi kebutuhan sistem tata udara melalui survei lapangan dan diskusi teknis dengan pihak rumah sakit untuk memperoleh parameter desain ruang operasi. Berdasarkan hasil tersebut ditetapkan spesifikasi utama sistem, yaitu kapasitas pendinginan sebesar 100.000 Btu/h, *airflow* 3.200 CMH (1.883 CFM), dimensi ruang operasi 8 × 5 × 3,2 m, target temperatur 22 ± 2°C, kelembapan relatif 55 ± 5%, klasifikasi kebersihan udara ISO 14644-1:2015 *Class* 6, serta laju pergantian udara (*Air Changes per Hour*/ACH) sebesar 25 kali per jam. Selanjutnya dilakukan perhitungan *heat load* yang meliputi beban transmisi bangunan, beban penghuni, pencahayaan, peralatan medis, udara luar (*fresh air*), beban dehumidifikasi, beban filter HEPA, serta *design margin* sebagai dasar penentuan kapasitas AHU yang akan dirancang.

Tahap berikutnya adalah proses perancangan AHU menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 3D dan perangkat lunak seleksi AHU. Proses ini meliputi penentuan konfigurasi setiap *section* AHU, seperti *mixing section*, *filter section*, *cooling coil*, *electric heater*, *fan section*, dan *supply damper*. Seluruh komponen dipilih berdasarkan kebutuhan kapasitas pendinginan, *airflow*, efisiensi filtrasi, serta karakteristik ruang operasi. Model tiga dimensi yang dihasilkan digunakan sebagai acuan dalam proses fabrikasi, meliputi *laser cutting*, *bending*, *welding*, perakitan komponen, hingga *quality control* untuk memastikan kesesuaian dimensi, kekedapan casing, dan fungsi setiap komponen sebelum unit dipasang di lokasi penelitian.

Pengambilan data dilakukan ketika sistem telah mencapai kondisi *steady state* agar hasil pengukuran merepresentasikan kondisi operasi yang stabil. Instrumen yang digunakan meliputi *temperature and humidity meter* Vaisala, *data logger* Testo 174H, *particle counter*, *clamp meter*, serta sensor PT100, THD-R-T, dan ADPS yang terintegrasi dengan sistem PLC dan *Human Machine Interface* (HMI). Sensor PT100 digunakan untuk mengukur temperatur udara setelah *cooling coil* dan *electric heater*, sensor THD-R-T untuk memantau temperatur serta kelembapan udara pada sisi *supply* dan *return air*, sedangkan ADPS digunakan untuk memonitor perbedaan tekanan pada sistem filtrasi. Seluruh data sensor ditampilkan secara *real-time* melalui HMI sehingga memudahkan proses pemantauan dan validasi kondisi operasi AHU.

Parameter yang dievaluasi meliputi temperatur ruang operasi, kelembapan relatif, temperatur *leaving coil*, tegangan, arus listrik, serta jumlah partikel udara. Pengukuran jumlah partikel dilakukan pada enam titik pengujian yang tersebar merata pada area kerja ruang operasi menggunakan *particle counter* untuk memperoleh distribusi konsentrasi partikel sesuai kondisi aktual ruangan. Seluruh hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan parameter rancangan sebagai dasar evaluasi performa AHU dalam memenuhi persyaratan temperatur, kelembapan, dan standar kebersihan udara ISO 14644-1:2015 *Class* 6.

Tabel 1. Data perancangan

Air Flow	1883 CFM / 3200 CMH
Data Ruangan	8 x 5 x 3,2 m
Luas Ruangan	40 m²
Volume Ruangan	128 m³
Cooling Capacity	100.000 Btu/hr
Class Room	ISO 6
Target Temp	22 ± 2°C
Target RH	55 ± 5%
W	<9.90 g/kg
ACH	25x

Perhitungan *heat load* dilakukan berdasarkan data estimasi yang disusun oleh tim *estimator engineering* sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan kapasitas sistem AHU untuk ruang operasi. Estimasi tersebut mencakup beban transmisi bangunan, beban internal, beban udara luar (*fresh air*), serta beban tambahan seperti filter Hepa, perubahan kondisi operasional, dan *design margin*. Rekapitulasi hasil perhitungan ini digunakan sebagai acuan dalam penentuan kapasitas AHU dan menjadi dasar pada proses perancangan konstruksi sistem AHU, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan *Heat Load* Sistem AHU Ruang Operasi

No	Komponen Beban Pendingin	*Heat Load* (BTU/h
1	Beban transmisi dinding	6.112
2	Beban transmisi plafon	2.292
3	Beban lantai	500
4	Beban kaca	1.706
5	Beban penghuni	1.780
6	Beban Pencahayaan	4.777
7	Beban peralatan medis	6.824
8	*Fan heat* AHU	1.706
9	*Fresh air (Sensible Heat)*	7.124
10	*Fresh air (Latent Heat)*	14.420
11	Beban dehumidifikasi	5.500
12	Beban filter HEPA H13/H14	3.500
13	*Allowance* beban operasi	8.500
	Sub Total *Heat Load*	64.741
14	*Design Margin* (20%)	12.948
	Total Kapasitas Desain	**77.689 BTU/h**
	Kapasitas AHU Terpasang	**100.000 BTU/h**
	Cadangan Kapasitas	**22.311 BTU/h (22.3%)**

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Commissioning Data Test merupakan tahap pengujian awal yang dilakukan untuk memastikan seluruh komponen *Air Handling Unit (AHU)* telah terpasang dengan benar, sesuai dengan gambar kerja, spesifikasi teknis, dan berfungsi sebagaimana mestinya. Pengujian ini dilakukan sebelum sistem AHU dioperasikan secara penuh dan sebelum pengambilan data performa dilakukan. Pemeriksaan meliputi pengecekan kondisi fisik dan fungsi setiap komponen, pengukuran parameter kelistrikan, serta pemeriksaan kondisi operasi unit secara keseluruhan. Selain itu, dilakukan pemeriksaan terhadap sambungan, kekencangan komponen, kondisi panel, sistem filtrasi, kipas, *cooling coil*, dan komponen pendukung lainnya. Hasil dari *commissioning* digunakan untuk mengetahui apakah terdapat kesalahan pemasangan atau gangguan pada sistem yang perlu diperbaiki. Dengan demikian, proses pengujian ini dapat memastikan bahwa AHU berada dalam kondisi baik, aman, dan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya. Tabel 3 menunjukkan beberapa pemeriksaan terhadap aspek *visual* dan kondisi fisik unit AHU secara langsung, mulai dari pemeriksaan *framing*, *base*, *panel casing*, hingga bagian lainnya untuk memastikan kualitas dan kelayakan unit sebelum dioperasikan.

Tabel 3.Data visual inspection AHU

AIR HANDLING UNIT (COMMISSIONING) SHEET

A. Visual Inspection Test AHU

Project	: RSUD PAGELARAN	Date	: 10 September 2025
Location	: Cianjur, Jawa Barat	Unit Model	: AHU BRS-M 10
Area	: OK	S/N	: 2025AHUBRSM10003

No.	ITEM	OK/ NOT OK/ NA	ACCEPTANCE CRITERIA	COMMENT / REMARKS
1	**INDOOR UNIT**			
1,1	Periksa kesiapan Instalasi Ducting ke Unit Indoor.	OK		
1,2	Periksa kesiapan Instalasi Koneksi Pipa Refrigerant dari Indoor ke Outdoor.	OK		
1,3	Periksa penempatan Unit Indoor.	OK		
1,4	Periksa Isolasi Pipa Suction.	OK		
1,5	Periksa Instalasi Pipa Drainage.	OK		
1,6	Periksa pemasangan Rubber Mounting.	OK		
1,7	Periksa kesiapan Panel Controller.	OK		
1,8	Periksa kesiapan motor koneksi / terminasi kabel.	OK		
1,9	Periksa kebersihan ruangan Indoor Unit.	OK		
1,10	Periksa kebersihan ruangan yang akan dikondisikan	OK		
2	**OUTDOOR UNIT**			
2,1	Periksa kebersihan di sekitar Outdoor.	OK		
2,2	Periksa apakah Filter Dryer, Sight Glass sudah	OK		
2,3	Periksa apakah Instalasi Pipa Refrigerant sudah diflushing dengan N2.	OK		
2,4	Periksa apakah Instalasi Pipa Refrigerant sudah	OK		
2,5	Periksa penempatan Unit Outdoor.	OK		
2,6	Periksa Kabel ke Compressor apakah sudah terkoneksi dengan baik.	OK		
2,7	Periksa apakah pipa instalasi Regrigerant sudah terkoneksi antara indoor dan outdoor.	OK		
2,8	Periksa apakah power supply sudah siap tersedia di unit.	OK		

Comment :
* Unit Siap ditestcom

Berdasarkan hasil *Visual Inspection Test* pada unit AHU BRS-M 10 di RSUD Pagelaran, seluruh item pemeriksaan pada *Indoor Unit* maupun *Outdoor Unit* menunjukkan hasil *OK* sesuai dengan *checklist commissioning*. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi kondisi instalasi *ducting*, pemasangan pipa refrigeran, sistem drainase, panel kontrol, instalasi kelistrikan, *rubber mounting*, kebersihan unit, serta kondisi area di sekitar AHU dan *outdoor unit*. Selain itu, dilakukan verifikasi terhadap pemasangan *filter dryer*, *sight glass*, pengisian refrigeran, sambungan pipa antara unit indoor dan outdoor, serta kesiapan catu daya listrik. Hasil inspeksi menunjukkan bahwa seluruh komponen telah terpasang dengan benar, berfungsi sesuai dengan rancangan, dan tidak ditemukan indikasi kebocoran, kerusakan, maupun ketidaksesuaian instalasi yang dapat memengaruhi kinerja sistem.

Berdasarkan hasil inspeksi tersebut, unit AHU dinyatakan memenuhi persyaratan awal untuk melanjutkan ke tahap *test commissioning* (testcom). Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh sistem mampu beroperasi secara normal sebelum dilakukan pengujian performa secara menyeluruh. Keberhasilan visual inspection menjadi indikator bahwa proses instalasi mekanikal dan elektrikal telah dilaksanakan sesuai prosedur sehingga risiko gangguan saat pengoperasian dapat diminimalkan.

Selanjutnya, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4 dilakukan serangkaian pemeriksaan fungsional dan pengambilan data pengukuran ketika sistem telah mencapai kondisi *steady state. Parameter* yang diamati meliputi temperatur, kelembapan relatif, tegangan, arus listrik, serta kondisi operasional

komponen utama AHU. Pengambilan data pada kondisi *steady state* dilakukan agar nilai yang diperoleh merepresentasikan kondisi operasi yang stabil dan menghasilkan data yang lebih akurat untuk proses evaluasi performa sistem. Hasil pengujian ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam menganalisis kemampuan AHU dalam memenuhi parameter desain ruang operasi, yaitu temperatur **22 ± 2°C**, kelembapan relatif **55 ± 5%**, serta persyaratan kebersihan udara sesuai standar **ISO 14644-1:2015 Class 6**.

Tabel 4. *Data Fuction Test AHU a*

AIR HANDLING UNIT (COMMISSIONING) SHEET

B. Function Test AHU

Project	: RSUD PAGELARAN			Date	:10 September 2025	
Location	: Cianjur, Jawa Barat			Unit Model	: AHU BRS-M 10	
Area	: OK			S/N	: 2025AHUBRSM10003	
No.	**ITEM**	**OK/ NOT OK/ NA**	**ACCEPTANCE CRITERIA**		**COMMENT / REMARKS**	
1	**UNIT**					
1,1	Menurut diagram skema kelistrikan, sambungkan kabel unit dan pastikan semua komponen tersambung ke panel yang benar.	OK				
1,2	Pastikan Unit AHU terpasang dengan benar.	OK				
1,3	Periksa area AHU apakah ada kebocoran (minyak atau air)	OK				
1,4	Pastikan damper unit sudah terbuka.	OK				
1,5	Periksa kebersihan Filter unit	OK				
1,6	Ukur dan catat sumber listrik seperti di bawah ini:	Result		Acc. Criteria		Remarks
	R - S	401	Volt	380	Volt	
	R - T	401	Volt	380	Volt	
	S - T	405	Volt	380	Volt	
	R - N	232	Volt	220	Volt	
Ukur dan catat amper seperti di bawah ini: EC Fan PANKE,						
1,7		Result		Acc. Criteria		Remarks
	U	2.5	Amps	1,5kW/ 3,4 A	Amps	
	V	2.5	Amps			
	W	2.6	Amps			
Ukur dan catat Leaving Coil Temperature						
1,8		Result		Acc. Criteria		Remarks
	Temperature Leaving Coil	19	°C		°C	
Ukur dan catat Temperature Ruangan yang dikondisikan						
1,9		Result		Acc. Criteria		Remarks
	Temperature Room	20	°C	21±2	°C	
Ukur dan catat Humidity						
1,10		Result		Acc. Criteria		Remarks
	Humidity Room	50	%	55±5	%	
Ukur dan catat amper Heater Stage1 seperti di bawah ini:						
1,11		Result		Acc. Criteria		Remarks
	Heater 1 (L-N)	6.1	Amps	1,3 Kw / 5,9A	Amps	
	Heater 2 (L-N)	6.1	Amps			
	Heater 3 (L-N)	6.4	Amps			

Berdasarkan hasil *Function Test* AHU pada unit AHU BRS-M 10 di RSUD Pagelaran, seluruh komponen unit telah berfungsi dengan baik dan menunjukkan status *OK* sesuai prosedur pengujian. Hasil pengukuran meliputi tegangan sumber listrik tiga fasa, arus motor *EC Fan*, temperatur *leaving coil*, temperatur ruangan, kelembaban ruangan, serta arus *Heater Stage 1* menunjukkan nilai yang berada dalam rentang penerimaan (*acceptance criteria*). Pengukuran arus *Heater Stage 1* dilakukan pada masing-masing elemen pemanas yang terhubung menggunakan konfigurasi Line–Neutral (L–N), yaitu Heater 1 (L–N) sebesar 6,1 A, Heater 2 (L–N) sebesar 6,1 A, dan Heater 3 (L–N) sebesar 6,4 A. Konfigurasi tersebut menunjukkan bahwa meskipun AHU menggunakan catu daya utama tiga fasa, setiap elemen *heater* dioperasikan pada rangkaian satu fasa (L–N), sehingga pengukuran arus dilakukan pada masing-masing *elemen heater*. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen AHU bekerja dengan normal dan unit dinyatakan siap digunakan untuk mendukung sistem pengkondisian udara pada ruang yang dikondisikan.

Tabel 5. *Data Fuction Test* AHU b

AIR HANDLING UNIT (COMMISSIONING) SHEET

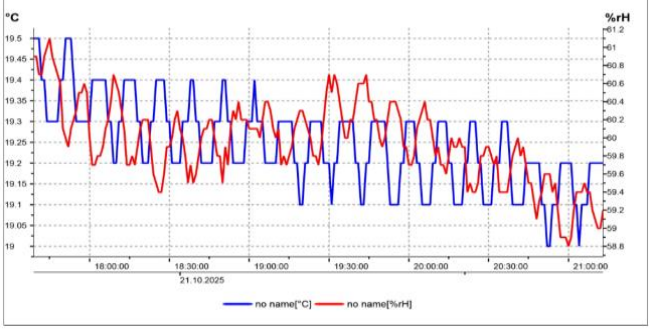
B. Function Test AHU

Project	: RSUD PAGELARAN			Date	: 10 September 2025	
Location	: Cianjur, Jawa Barat			Unit Model	: AHU BRS-M 10	
Area	: OK			S/N	: 2025AHUBRSM10003	
Ukur dan catat amper Heater Stage 2 seperti di bawah ini:						
1,12		Result		Acc. Criteria		Remarks
	Heater 4 (L-N)	6.3	Amps	1,3 Kw / 5,9A	Amps	
	Heater 5 (L-N)	6	Amps			
	Heater 6 (L-N)	6.3	Amps			
Ukur dan catat amper Stage 3 seperti di bawah ini:						
1,13		Result		Acc. Criteria		Remarks
	Heater 7 (L-N)	6	Amps	1,3 Kw / 5,9A	Amps	
	Heater 8 (L-N)	6.2	Amps			
	Heater 9 (L-N)	6.3	Amps			
AHU Capacity : 104.237 Btu/h						
Properties Air Inlet Outlet Ahu						
1,14	Ukur dan catat properties udara seperti di bawah ini					
	Inlet Ahu			Outlet Ahu		
	Result		Remarks	Result		Remarks
	T	23 °C		T	19 °C	
	RH	72%		RH	54%	

Berdasarkan hasil lanjutan *Function Test* AHU pada unit AHU BRS-M 10 di RSUD Pagelaran, pengukuran arus pada *Heater Stage 2* dan *Heater Stage 3* menunjukkan bahwa seluruh elemen *heater* yang terhubung menggunakan konfigurasi Line–Neutral (L–N) memiliki nilai arus yang masih memenuhi kriteria penerimaan (*acceptance criteria*). Hal ini menunjukkan bahwa setiap elemen *heater* beroperasi secara normal dan mampu menghasilkan daya pemanasan sesuai spesifikasi. Selain itu, hasil pengukuran *properties* udara menunjukkan bahwa kondisi udara masuk (*return air*) ke AHU memiliki temperatur 23°C dengan kelembaban relatif 72% RH, sedangkan udara keluar (*supply air*) dari AHU memiliki temperatur 19°C dengan kelembaban relatif 54% RH. Penurunan temperatur sebesar 4°C yang diikuti dengan penurunan kelembaban relatif menunjukkan bahwa proses pendinginan dan pengkondisian udara pada AHU berlangsung dengan baik sesuai fungsi sistem.

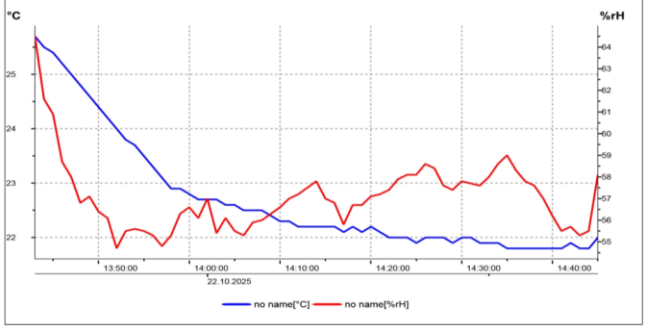
Pengambilan data temperatur dan kelembaban dilakukan untuk mengevaluasi performa AHU dalam menjaga kondisi udara ruang operasi. Pengukuran dilakukan secara kontinu menggunakan *data logger* sehingga perubahan temperatur dan kelembaban relatif dapat direkam secara *real-time*.

Instrument name:				10/29/2025	
Start time: 10/21/2025 5:39:00 PM		Minimum	Maximum	Mean value	Limit values
End time: 10/21/2025 9:13:00 PM	no name [°C]	19.0	19.5	19.247	30.0/70.0
Measurement channels: 2	no name [%rH]	58.8	61.1	59.955	0.0/100.0
Measured values: 215					
85541060					



Gambar 3. Gambar Data Pengukuran & Grafik data 1

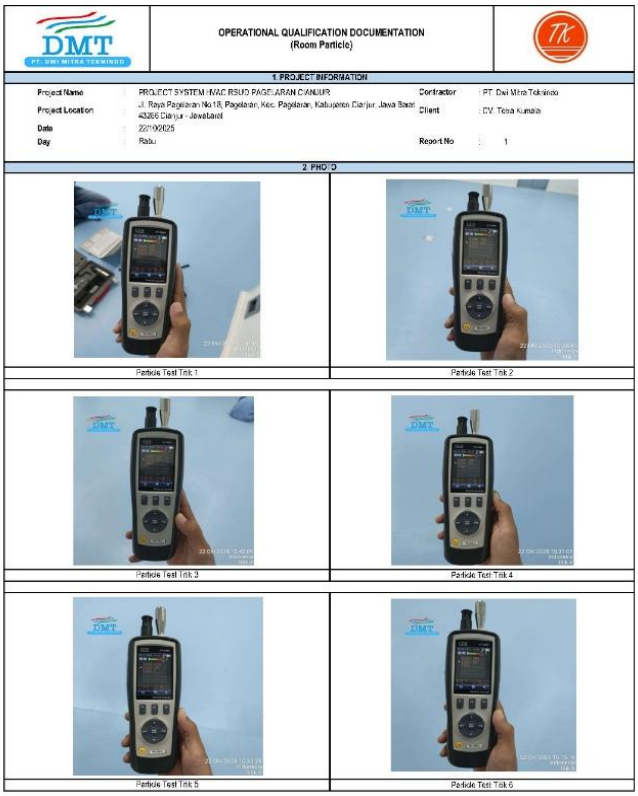
Instrument name:				10/23/2025	
Start time: 10/22/2025 1:43:00 PM		Minimum	Maximum	Mean value	Limit values
End time: 10/22/2025 2:45:00 PM	no name [°C]	21.8	25.7	22.697	0.0/70.0
Measurement channels: 2	no name [%rH]	54.7	64.5	57.078	0.0/100.0
Measured values: 63					
85536117					



Gambar 4. Gambar Data Pengukuran & Grafik data 2

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur dan kelembaban ruangan pada tanggal 21 Oktober 2025 pukul 17.39 hingga 21.13, diperoleh temperatur minimum 19,0°C, maksimum 19,5°C, dan rata-rata 19,247°C, sedangkan kelembaban relatif (*Relative Humidity/RH*) minimum 58,8%, maksimum 61,1%, dan rata-rata 59,955%. Grafik menunjukkan bahwa temperatur dan kelembaban relatif stabil selama proses pengukuran dengan fluktuasi yang kecil. Jika dibandingkan dengan target desain ruang operasi yaitu 22 ± 2°C (rentang yang diizinkan 20–24°C), temperatur hasil pengukuran berada di bawah batas minimum yang dipersyaratkan, yaitu berkisar antara 19,0–19,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan sistem AHU masih terlalu besar atau pengaturan kontrol temperatur belum mencapai nilai setpoint yang diinginkan. Sementara itu, hasil pengukuran kelembaban relatif berada pada rentang 58,8–61,1% RH dengan rata-rata 59,955% RH. Apabila dibandingkan dengan batas toleransi 55 ± 5% RH (rentang 50–60% RH), nilai rata-rata kelembaban masih berada dalam batas yang dipersyaratkan, meskipun nilai maksimum 61,1% RH sesekali melebihi batas atas sebesar 1,1% RH. Secara keseluruhan, sistem AHU mampu menjaga kestabilan temperatur dan kelembaban selama pengujian, namun masih diperlukan optimasi pengaturan kontrol agar seluruh parameter memenuhi standar desain ruang operasi secara konsisten.

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur dan kelembaban ruangan pada tanggal 22 Oktober 2025 pukul 12.43–14.45, diperoleh temperatur awal 25,7°C yang secara bertahap menurun hingga mencapai temperatur terendah 21,8°C dengan rata-rata 22,7°C, menunjukkan proses pendinginan ruangan yang berlangsung secara konsisten. Apabila dibandingkan dengan target desain ruang operasi yaitu 22 ± 2°C (rentang 20–24°C), temperatur rata-rata 22,7°C telah memenuhi kriteria yang dipersyaratkan. Namun, temperatur awal sebesar 25,7°C masih berada di atas batas maksimum yang ditentukan, sehingga sistem AHU memerlukan waktu untuk menurunkan temperatur hingga mencapai kondisi operasi yang diinginkan. Setelah proses pendinginan berlangsung, temperatur berhasil berada pada rentang target dan relatif stabil selama pengukuran. Sementara itu, kelembaban relatif (*Relative Humidity/RH*) berada pada kisaran 54,7–64,5% dengan rata-rata 57,1%. Jika dibandingkan dengan target 55 ± 5% RH (rentang 50–60% RH), nilai rata-rata kelembaban masih memenuhi batas yang dipersyaratkan. Akan tetapi, nilai maksimum 64,5% RH melebihi batas atas sebesar 4,5% RH, sehingga pada beberapa waktu terjadi peningkatan kelembaban di luar rentang desain. Kondisi ini kemungkinan dipengaruhi oleh proses penurunan temperatur, infiltrasi udara luar, atau beban kelembaban di dalam ruangan. Secara keseluruhan, sistem AHU mampu mencapai temperatur dan kelembaban yang mendekati kondisi desain, meskipun masih diperlukan optimasi pengendalian kelembaban agar fluktuasi RH dapat dipertahankan tetap berada dalam rentang 50–60% RH secara konsisten



Gambar 5. Pengukuran partikel di dalam ruangan

Berdasarkan *Operational Qualification (Room Particle)* pada proyek sistem HVAC RSUD Pagelaran Cianjur, pengukuran jumlah partikel dilakukan pada enam titik representatif menggunakan *particle counter* terkalibrasi dengan *metode* sampling yang konsisten pada tiap titik bertujuan untuk slah satu syarat memenuhi keriteria ISO Class 6. Secara umum, pengukuran ini mengindikasikan bahwa proses verifikasi kondisi partikel ruangan telah dilaksanakan dengan baik sebagai bagian dari validasi kinerja sistem HVAC yang terpasang.

Pengukuran jumlah partikel dilakukan menggunakan *particle counter* pada enam titik pengukuran yang tersebar di dalam ruang operasi. Seluruh titik pengukuran ditempatkan pada ketinggian sekitar 1,6 meter dari lantai atau setengah tinggi ruangan, sehingga mewakili kondisi udara pada area kerja di ruang operasi. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan persyaratan standar ISO 14644-1:2015 Kelas 6. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh titik pengukuran memenuhi standar yang ditetapkan. Nilai konsentrasi partikel tertinggi untuk ukuran 0,3 µm sebesar 1.456 partikel diperoleh pada titik pengukuran ke-6, untuk ukuran 0,5 µm sebesar 600 partikel pada titik pengukuran ke-2, dan untuk ukuran 5,0 µm sebesar 13 partikel pada titik pengukuran ke-1. Seluruh nilai maksimum tersebut masih berada di bawah batas konsentrasi partikel yang dipersyaratkan oleh standar ISO 14644-1:2015 Kelas 6.

5. KESIMPULAN

1. Perancangan dan pembuatan *Air Handling Unit (AHU)* 10 PK dengan sistem *Direct Expansion (DX)* untuk ruang operasi di RSUD Pagelaran Cianjur telah berhasil direalisasikan sesuai dengan rancangan. Berdasarkan hasil *commissioning* dan *function test*, seluruh komponen AHU berfungsi dengan baik sehingga sistem siap digunakan untuk pengkondisian udara ruang operasi.
2. Hasil evaluasi performa AHU menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kondisi temperatur dan kelembapan ruang operasi. Pada pengukuran pertama diperoleh temperatur rata-rata 19,247°C dengan RH rata-rata 59,955%, sedangkan pada pengukuran kedua diperoleh temperatur rata-rata 22,7°C dengan RH rata-rata 57,1%. Secara umum, sistem mampu mencapai kondisi temperatur dan kelembapan yang mendekati parameter rancangan 22 ± 2°C dan 55 ± 5% RH, meskipun masih terdapat sedikit penyimpangan pada beberapa hasil pengukuran.
3. Hasil pengukuran jumlah partikel udara pada enam titik menggunakan *particle counter* menunjukkan bahwa seluruh nilai konsentrasi partikel untuk ukuran 0,3 µm, 0,5 µm, dan 5,0 µm masih berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan oleh ISO 14644-1:2015 Class 6. Dengan demikian, sistem AHU yang dirancang mampu memenuhi standar kebersihan udara untuk ruang operasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung dan PT. Dwi Mitra Teknindo atas bantuan dana beasiswa kuliah RPL dan fasilitas yang telah diberikan sangat berarti bagi kelancaran dan keberhasilan penelitian kami.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Pedoman teknis prasarana sistem tata udara pada bangunan rumah sakit. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia; 2012.
2. *World Health Organization*. *Natural ventilation for infection control in health-care settings*. Geneva: World Health Organization; 2009.
3. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. *2023 ASHRAE Handbook—HVAC Applications*. Atlanta: ASHRAE; 2023.
4. *Centers for Disease Control and Prevention*. *Summary of recommendations: Environmental infection control—Ventilation requirements for operating rooms*. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention; 2024.
5. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers; American Society for Healthcare Engineering*. *ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2021: Ventilation of health care facilities*. Atlanta: ASHRAE; 2021.

6. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. HVAC design manual for hospitals and clinics*. 2nd ed. Atlanta: ASHRAE; 2021.
7. *International Organization for Standardization. ISO 16890-1:2016: Air filters for general ventilation—Part 1: Technical specifications, requirements and classification system based upon particulate matter efficiency (ePM)*. Geneva: International Organization for Standardization; 2016.
8. *ISO 14644-1:2015: Cleanrooms and associated controlled environments—Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration*. Geneva: International Organization for Standardization; 2015.
9. *International Organization for Standardization*. *ISO 14644-2:2015: Cleanrooms and associated controlled environments—Part 2: Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration*. Geneva: International Organization for Standardization; 2015
10. Balaras CA, Dascalaki E, Gaglia A. *HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. Energy Build.* 2007;39(4):454-470.
11. *Brandt C, Hott U, Sohr D, Daschner F, Gastmeier P, Rüden H. Operating room ventilation with laminar airflow shows no protective effect on the surgical site infection rate in orthopedic and abdominal surgery*. *Ann Surg. 2008.* doi:10.1097/SLA.0b013e31818b757d
12. *Bischoff P, Kubilay NZ, Allegranzi B, Egger M, Gastmeier P. Effect of laminar airflow ventilation on surgical site infections: a systematic review and meta-analysis. Lancet Infect Dis. 2017;17(5):553-561. doi:10.1016/S1473-3099(17)30059-2.*
13. Autodesk. *Autodesk Inventor: 3D modeling software for designers and engineers* [Internet]. San Francisco: Autodesk; 2026.
14. International Organization for Standardization. *ISO 16890-2:2016: Air filters for general ventilation—Part 2: Measurement of fractional efficiency and air flow resistance*. Geneva: International Organization for Standardization; 2016.
15. International Organization for Standardization. *ISO 14644-3:2019: Cleanrooms and associated controlled environments—Part 3: Test methods*. Geneva: International Organization for Standardization; 2019.