

PERANCANGAN SISTEM TATA UDARA PADA RUANG NICU DI LANTAI 3 RUMAH SAKIT “X”

Annisa Pramudhita¹, Rudi Hermawan²

^{1,2} Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, DKI Jakarta 12640 Indonesia
Email: ¹annisapramudhita@gmail.com, ²defaangkasa@yahoo.com

Abstrak

Salah satu upaya untuk mengurangi *Hospital-acquired Infections* (HAIs, atau yang biasa disebut dengan infeksi nosokomial) pada ruang NICU, adalah dengan merancang sistem tata udara khusus, yang ASHRAE HVAC *Design Manual for Hospital and Clinics*. Parameter-parameter yang perlu dikondisikan dalam sistem tata udara yaitu suhu, kelembaban udara relatif, tekanan ruangan, kebersihan udara, ventilasi, distribusi udara pada ruangan. Metode perhitungan kapasitas pendinginan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan *Cooling Load Temperature Difference* (CLTD). Sedangkan metode yang digunakan dalam merancang saluran distribusi udara adalah metode *Equal Friction Loss*. Dari hasil perhitungan, didapat kapasitas pendinginan yang dihasilkan oleh ruang NICU adalah sebesar 8,803 kW. Sedangkan kapasitas pemanasannya adalah sebesar 3,660 kW. Nilai total *pressure loss* untuk saluran udara yang dirancang adalah sebesar 44,85 Pa. Filter yang *built-in* dengan unit AC adalah pre-filter dan medium filter. Sehingga, HEPA filter diletakkan pada *ceiling*.

Kata Kunci: Sistem Tata Udara, Ruang NICU, HAIs, CLTD

Abstract

In order to reduce nosocomial infections, or generally known as Hospital-acquired Infections (HAIs) in NICU room, a special design of air conditioning system is needed, as per HVAC Design Manual for Hospital and Clinics. There are several parameters that concerned in air conditioning design such as temperature, Relative Humidity (RH), room pressure, air cleanliness, ventilation and room air distribution. Cooling Load Temperature Difference (CLTD) will be the main method in this research. Meanwhile, Equal Friction Loss method will be used in air duct sizing. From calculation, obtained that cooling load capacity 8,805 kW. Meanwhile heating capacity obtained 3,660 kW. Total pressure loss value for design air duct is 44,85 Pa.. Pre-filter and medium filter was built-in at AC unit, so HEPA filter is needed to be mounted in ceiling.

Keywords: Air Conditioning System, NICU, HAIs, CLTD

I. PENDAHULUAN

Hospital-acquired infections (HAIs, atau yang biasa disebut dengan infeksi nosokomial) menjadi salah satu masalah serius yang terjadi di rumah sakit. HAIs menyebar melalui kontak secara langsung maupun tidak langsung (Hemavathy, Bhaskaran and Sudha, 2016). Sebagian besar gejala infeksi nosokomial timbul saat masih dirawat di rumah sakit namun ada pula penyakit

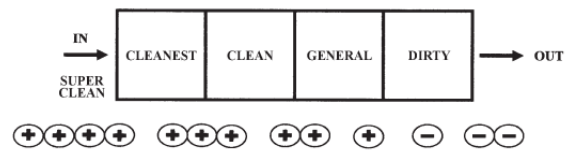
yang muncul setelah pasien pulang (Soleha TU, Rukmono P, 2015). Salah satu media yang menjadi penyebaran HAIs adalah udara. Menurut ASHRAE HVAC *Design Manual for Hospital and Clinics*, untuk mencegah penyebaran penyakit melalui udara, maka diperlukan sistem tata udara yang khusus. Parameter-parameter yang perlu dikondisikan dalam sistem tata udara yaitu suhu, kelembaban udara relatif, tekanan ruangan,

kebersihan udara, ventilasi, distribusi udara pada ruangan.

Oleh karenanya, penggunaan alat penyegar udara standar di ruang NICU, tidak direkomendasikan. Hal ini disebabkan oleh fungsi dari alat penyegar udara standar tersebut hanya dapat mengendalikan suhu ruangan. Sedangkan untuk mencapai kenyamanan termal dan kesehatan, terdapat rentang kelembaban relatif udara untuk pengendalian infeksi dan hidupnya *microorganismes*. Meskipun tubuh manusia umumnya dapat bertahan pada variasi RH dari 35% hingga 75%, namun kondisi yang terlalu kering dan terlalu lembab dapat mengganggu kenyamanan. Dalam perancangan sistem tata udara, maksimum 60% RH umumnya dapat digunakan untuk kondisi kenyamanan *thermal* dan mengurangi resiko pertumbuhan jamur dan debu tungau (Koenigshofer, 2013). Udara yang terlalu kering menyebabkan keringnya lapisan mukosa dan dapat menyebabkan infeksi saluran pernapasan akut. Udara yang terlalu lembab dapat dapat menyebabkan tumbuhnya bermacam-macam jamur dan spora (Jayanti dkk, 2016). Oleh karenanya, diperlukan *electric heater* untuk mengatur RH dalam ruangan.

Dalam memilih alat penyegar udara, diperlukan perhitungan kapasitas pendinginan yang berfungsi untuk menghitung kalor yang harus ditangani oleh peralatan pengondisian udara dalam mempertahankan kondisi nyaman pada ruangan tertentu. Perhitungan kapasitas pendinginan ini berdasar pada buku *Cooling Load Calculation Manual* yang diterbitkan oleh ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*). Perhitungan kapasitas pendinginan yang berkaitan dengan kondisi lingkungan yang mendekati harga ekstrim yang biasa ditemui, didasarkan pada kondisi puncak.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah sistem ventilasi yang berkaitan dengan tekanan udara. Tekanan udara antara ruang NICU dengan ruangan lain di sekitarnya, perlu direncanakan agar udara yang mengandung penyakit dari suatu ruangan tidak menyebar ke ruangan-ruangan sekitarnya. Sesuai dengan fungsinya, beberapa ruangan memerlukan tekanan ruangan yang positif atau negatif terhadap ruangan sekitarnya. Gambar 1 menunjukkan rangkaian ruangan yang memerlukan tekanan positif atau negatif, relatif terhadap ruangan di sekitarnya.



Gambar 1. Pengkondisian Pergerakan Udara melalui *Pressure Relationships* (Koenigshofer, 2013)

Perencanaan ventilasi berkaitan dengan distribusi/pergerakan aliran udara. Aliran udara seringkali sulit dikontrol karena efek bukaan pintu, gerakan petugas dan pasien, perbedaan suhu. Pada beberapa fungsi bangunan, minimum *Air Change per Hour* (ACH) digunakan untuk mencegah penyebaran penyakit (Azimi and Stephens, 2013). *Air Change per Hour* juga digunakan untuk mengurangi waktu paparan yang disebabkan oleh *microorganismes* melalui benda-benda, staff maupun pasien dalam ruangan (Koenigshofer, 2013). Pergantian udara yang tinggi juga dapat mempersingkat dilusi pathogen dan mengurangi resiko infeksi yang ditransmisikan melalui udara (Sundari *et al.*, 2017).

Ruang perawatan NICU, merupakan ruangan khusus untuk merawat bayi baru lahir yang mengalami masalah kesehatan. Pada ruang NICU, perlu dipasang HEPA Filter pada keluaran diffuser, setelah udara dari luar dan udara resirkulasi tercampur (Licina *et al.*, 2016).

Grille *return* dan *exhaust* dapat diletakkan di *ceiling*. Namun, untuk peletakan grille di bawah, dapat membuat laju aliran udara menjadi laminar. Syarat untuk udara laminar adalah memiliki bilangan Reynold < 2100 . Penentuan ukuran grille *return* dan *exhaust* dapat berdasarkan *core velocity* sebesar 1,5 hingga 2,5 m/s untuk mengendalikan kebisingan dan mengurangi *pressure drop* (Koenigshofer, 2013). Selain itu, letak kasur untuk pasien perlu diletakkan dekat dengan *return grille* (Abduladheem *et al.*, 2013).

Tingkat kebersihan pada ruangan NICU dapat dikondisikan dengan menggunakan filter udara. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007 (ASHRAE 2007) menetapkan prosedur pengetesan untuk mengevaluasi performansi peralatan filter udara. Hasil dari pengetesan tersebut adalah MERV (*Minimum Efficiency Reporting Value*). Tabel 1 merupakan nilai MERV dan efisiensi filter berdasarkan ukuran partikel.

Berdasarkan fungsi dari ruangan yang akan di filtrasi, terdapat syarat-syarat penggunaan *prefiltration* dan *final filtration*.

Tabel 1. MERV dan Efisiensi Filter berdasarkan Ukuran Partikel (Koenigshofer, 2013)

MERV	0.3-1.0 μm	1.0-3.0 μm	3.0-10 μm
Category E-3			
6	—	—	35 to 50%
7	—	—	50 to 70%
8	—	—	70 to 85%
9	—	—	85% +
Category E-2			
10	—	60 to 65%	85% +
11	—	65 to 80%	85% +
12	—	80% +	85% +
Category E-1			
13	< 75%	90% +	99% +
14	75 to 85%	90% +	99% +
15	85 to 95%	90% +	99% +
17	99%	99%	99%

Source: Adapted from ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007 (ASHRAE 2007).

Tabel 2. Nilai Efisiensi Filter Minimal (Koenigshofer, 2013)

Space Designation (According to Function)	Filter Bank No. 1, MERV ^a	Filter Bank No. 2, MERV ^a
Classes B and C surgery; inpatient and ambulatory diagnostic and therapeutic radiology; inpatient delivery and recovery spaces	7	14
Inpatient care, treatment and diagnosis, and those spaces providing direct service or clean supplies and clean processing (except as noted below); All (rooms)	7	14
Protective environment rooms (PE)	7	17 (HEPA) ^c
Laboratories; Class A surgery and associated semirestricted spaces	13 ^b	N/R ^d
Administrative; bulk storage, soiled holding spaces; food preparation spaces; and laundries	7	N/R
All other outpatient spaces	7	N/R
Skilled nurses facilities	7	N/R

Source: ASHRAE (2008).

Notes:

- a. Minimum efficiency reporting value (MERV) is based on method of testing described in ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007.
- b. Additional prefilters may be used to reduce maintenance for filters with efficiencies higher than MERV 7.
- c. Filter Bank #2 may be MERV 14 if MERV 17 tertiary terminal filter is provided for these spaces.
- d. N/R = not required.

Perancangan sistem distribusi udara (*air duct*) untuk sistem tata udara dapat dilakukan setelah kalor yang dihasilkan oleh total ruangan dan *supply* udara ruangan telah dihitung. Distribusi udara yang baik akan mempengaruhi tingkat kenyamanan penghuni. Oleh karenanya, dalam merancang saluran distribusi udara, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan yaitu penurunan tekanan pada saluran udara lurus (*major losses*) dan penurunan tekanan udara pada sambungan (*minor losses*) (Wang, 2000).

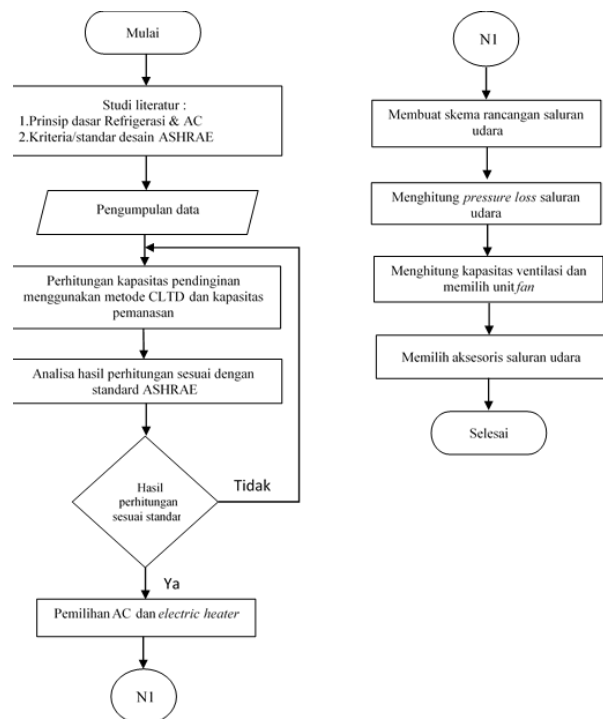
Dalam merancang *air duct* dengan ukuran persegi, terdapat *aspect ratio* yang direkomendasikan, yaitu mendekati 1:1, untuk mengurangi *friction loss* dan berpengaruh terhadap biaya yang digunakan. Semakin besar *aspect ratio*, semakin besar ketebalan metal yang akan digunakan, juga semakin berat *air duct* yang terpasang. Yang berakibat pada penambahan biaya yang digunakan. Untuk design *air velocity* yang

digunakan adalah maksimal 15 m/s di *main duct* (Wang, 2000).

Pada penelitian ini akan dipaparkan bagaimana merancang sistem tata udara untuk ruang NICU dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem tata udara untuk mengurangi resiko HAIs.

II. METODE

Tahapan Penelitian



Gambar 2. Tahapan Penelitian

1. Studi literatur dilakukan untuk mencari dasar-dasar teori dan perhitungan yang digunakan, yaitu dasar teori sistem tata udara dan kriteria/standar desain sistem tata udara pada ruang NICU.
2. Data yang dikumpulkan berupa gambar, ukuran ruangan, fungsi ruangan, desain temperatur udara luar dan parameter desain dari ruangan yang akan dikondisikan.
3. Perhitungan dan analisa hasil perhitungan terdiri dari perhitungan beban pendinginan, yang dilakukan dengan metode CLTD (*Cooling Load Temperature Difference*). Beban pemanasan akan dilakukan analisis psikrometrik. Hasil perhitungan akan dianalisa apakah sesuai dengan ASHRAE *check figure table*.

4. Seleksi peralatan AC dilakukan secara manual menggunakan katalog.
5. Pembuatan skema rancangan saluran udara dapat mempermudah untuk perhitungan *pressure loss air duct*.
6. Menghitung *pressure loss air duct* baik dari saluran lurus maupun sambungan.
7. Menghitung kapasitas ventilasi dan unitnya diseleksi secara manual menggunakan katalog *product*.
8. Memilih aksesoris saluran udara seperti diffuser, grille, louvre, dan filter.
9. Kesimpulan yang merupakan hasil akhir yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan.

Kondisi Lingkungan

Sebelum menghitung kapasitas pendinginan, diperlukan data kondisi lingkungan, dengan bulan terpanas adalah pada bulan November.

1. Lokasi = Jakarta
2. Letak geografis = 5° 19' 12" -6° 23' 54" LS
3. Arah bangunan = Menghadap utara
4. Kelembaban relatif = 60%
5. Temp. *ambient,max* = 35°C

Temperatur *ambient* yang digunakan pada perhitungan adalah temperatur *ambient* rata-rata menggunakan rumus (1) sebagai berikut.

$$T_o = T_{o,max} - \frac{dr}{2} \tag{1}$$

Dimana nilai :

$$T_o \text{ (temp. } ambient \text{ rata-rata)} = 28,5^\circ\text{C} = 83,3^\circ\text{F}$$

$$T_{o,max} \text{ (temp. } ambient \text{ maksimal)} = 35^\circ\text{C}$$

$$dr \text{ (daily range, selisih } T_{o,max} \text{ dan } T_{o,min} \text{)} = 13^\circ\text{C}$$

Kondisi Konstruksi Bangunan

Kondisi konstruksi bangunan diperlukan untuk mengetahui nilai koefisien perpindahan panas (U).

Nilai R dan SH×WT material dapat dilihat pada tabel 3.11 ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual*. Nilai U dapat dicari dengan menjumlahkan nilai resistansi *thermal* (R_t) dengan persamaan (2) dan (3) sebagai berikut.

$$U = \frac{1}{R_t} \tag{2}$$

Keterangan :

U = Koefisien perpindahan panas (BTU/hr.ft².°F)

R_t =Nilai total penjumlahan resistansi *thermal* (hr.ft².°F/BTU)

$$R_t = R_1 + R_2 + R_n \tag{3}$$

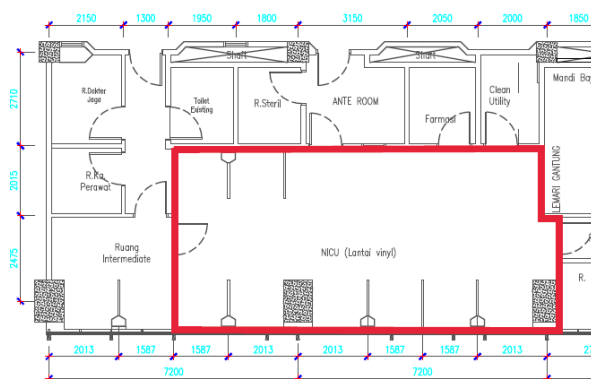
Keterangan :

R_t = Nilai total penjumlahan resistansi *thermal* (hr.ft².°F/BTU)

R_1, R_2, R_n = Nilai resistansi *thermal* lapisan 1,2, hingga lapisan *n* (hr.ft².°F/BTU)

Nilai U dan SH×WT digunakan untuk menentukan grup dinding, yang klasifikasinya terdapat pada tabel 3.9 ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual*.

Gambar Struktur dan Dimensi Bangunan



Gambar 3. Gambar *Layout* Ruang NICU

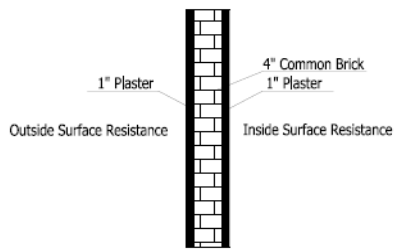
Dari gambar struktur tersebut, didapat dimensi ruangan yang akan dikondisikan :

- Panjang Ruangan : 10,8 m
- Lebar Ruangan : 5,47 m
- Tinggi Ceiling : 3,5 m
- Elevasi : 10,5 m

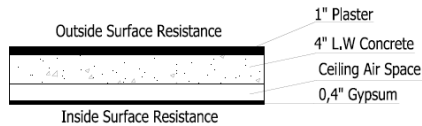
Parameter Rancangan Sistem Tata Udara

Parameter sistem tata udara yang akan dirancang mengacu dari Tabel 3 pada ASHRAE Handbook 2009, *Ventilation Requirements for Areas Affecting Patient Care in Hospital and Outpatient Facilities*. Berdasarkan fungsi ruangan, maka didapat parameter rancangan sistem tata udara untuk ruang NICU sebagai berikut:

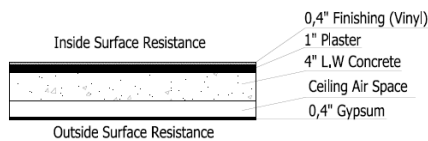
- Temperatur Rancangan : 22°C
- RH Rancangan : 50%
- Tekanan Udara Rancangan : +5 ~ +10 Pa
- Min. ACH Total : 6
- Min. ACH OA : 2



Gambar 4. Ilustrasi Lapisan Dinding Luar dan Partisi



Gambar 5. Ilustrasi Lapisan Atap



Gambar 6. Ilustrasi Lapisan Lantai

Kalor yang dihasilkan oleh Internal Ruangan

• **Daftar Peralatan**

Peralatan medis dan elektronik yang menghasilkan panas sensibel, nilai konsumsi daya rata-rata dapat dilihat pada tabel 6 dan tabel 8 pada ASHRAE handbook 2009 chapter 18 mengenai Non-Residential Cooling.

Tabel 3. Daftar Peralatan di Ruang NICU

Nama Peralatan	Jumlah	Konsumsi Daya Rata-Rata (Watt)	Daya Total (Watt)
Ventilator	5	125	750
Monitor	8	80	640
Komputer	1	73	73

• **Daftar Alat Penerangan**

Peralatan penerangan pada ruang NICU berdasarkan gambar rancangan instalasi elektrikal.

Tabel 4. Daftar Alat Penerangan di Ruang NICU

Jenis Lampu	Daya Setiap Lampu (Watt)	Jumlah Lampu	Total Daya Penerangan (Watt)
Exam Light TLD (3x18 Watt)	54	8	432
Down Light LED 7 Watt	7	11	77

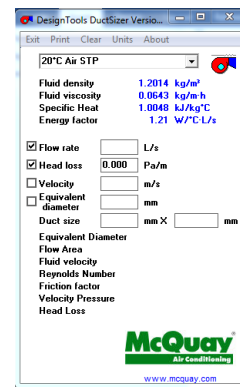
• **Jumlah Penghuni**

Jumlah penghuni pada ruang NICU adalah 11 orang.

Duct Sizing Menggunakan Aplikasi Duct Sizer

Dalam menentukan dimensi air duct digunakan metode Equal Friction. Nilai yang direkomendasikan adalah 0,8 hingga 1 Pa/m (Wang, 2000). Oleh karenanya, dalam menentukan dimensi HxW (HeightxWidth, atau TinggixLebar), digunakan software Duct Sizer yang dikeluarkan oleh McQuay International.

Dengan menggunakan metode Equal Friction, maka parameter yang menjadi input adalah Flow Rate dan Head Loss. Nilai kecepatan dan ukuran air duct akan didapatkan yang kemudian digunakan untuk menghitung pressure loss.



Gambar 7. Tampilan software Duct Sizer by McQuay International

Perhitungan Pressure Loss pada Air Duct

Nilai pressure loss pada saluran udara lurus (Major Losses) dapat dihitung menggunakan persamaan Darcy and Colebrook.

$$\Delta P_f = \frac{fL}{D_e} \times \frac{\rho v^2}{2g} \tag{4}$$

Keterangan :

- ΔP_f = Friction loss/Major Losses (Pa)
- f = friction factor, dilihat pada diagram Moody
- L = Panjang saluran air duct (m)
- D_e = Diameter equivalent (m)
- v = Kecepatan (m/s)
- ρ = Density (kg/m³)

Sedangkan untuk menghitung diameter equivalent, persamaan yang digunakan yaitu persamaan berikut.

$$D_e = \frac{1,3(a \times b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}} \quad (5)$$

Keterangan :

D_e = Diameter *equivalent* (mm)
 a, b = Dimensi 2 sisi *air duct* (mm)

Nilai penurunan tekanan pada sambungan *air duct* (*Minor Losses*) didapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$P_v = 0,602 \times v^2 \quad (6)$$

Keterangan :

P_v = Tekanan akibat aliran kecepatan (Pa)
 v = Kecepatan udara dalam saluran (m/s)

Nilai penurunan tekanan total didapat dari penjumlahan dari rugi tekanan pada saluran lurus (*Major Losses*) dengan rugi tekanan pada sambungan (*Minor Losses*).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua data terkumpul dan kapasitas pendinginan dihitung, didapat jam beban puncak yang ditentukan berdasarkan nilai kapasitas pendinginan terbesar. Jam beban puncak untuk ruang NICU adalah pukul 16:00.

Nilai U Konstruksi Bangunan

Setelah dilakukan perhitungan untuk dinding luar, dinding partisi, atap dan lantai, berikut adalah nilai U masing-masing konstruksi:

Dinding luar dan partisi

$$U = 0,46 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$\text{Grup Dinding} = D$$

Atap

$$U = 0,14 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$\text{Nomor Atap} = 3$$

Lantai

$$U = 0,14 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Perhitungan Kapasitas Pendinginan

Jenis-jenis kalor yang dihasilkan dalam menghitung kapasitas pendinginan terbagi atas 3 bagian besar :

- Kalor yang dihasilkan oleh dinding luar, dinding partisi, atap, kaca, pintu dan atap (Eksternal).
- Kalor yang ditimbulkan oleh manusia, penerangan, peralatan (Internal), dan
- Kalor akibat dari ventilasi dan infiltrasi (Irfan, Syed Faheem; Syed, Mujeeb Ali; Syed

Suleman; Syed, Obaid Ur Rahman; Syed, 2017).

Rumus perhitungan kalor mengacu pada buku *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. ASHRAE, 1980 (ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual*).

Perpindahan Kalor yang Berasal dari Luar (External)

• Kalor yang Dihasilkan Dinding Luar ($Q_{wall,ex}$)

Sebelum menghitung kalor yang dihasilkan oleh dinding luar yang terkena sinar matahari langsung pada ruang NICU, perlu dihitung nilai $CLTD_{corr}$ menggunakan persamaan berikut.

$$CLTD_{corr} = CLTD + LM \times K + (78 - T_r) + (T_o - 85) \quad (7)$$

Dimana nilai :

$$CLTD = 33$$

$$LM \text{ (Latitude Month)} = -3$$

$$K \text{ (Koefisien warna dinding)} = 0,65$$

$$T_r \text{ (Temp. Ruang Rancangan)} = 69,2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_o \text{ (Temp. Udara Luar)} = 83,3 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$CLTD_{corr} \text{ (CLTD Corrected)} = 26,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Nilai CLTD didapat dari tabel 3.10 sedangkan LM dan K didapat dari tabel 3.12 ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual*. Sedangkan nilai kalor yang dihasilkan oleh dinding luar dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Q_{wall,ex} = \frac{U_{wall,ex} \times A_{wall,ex} \times CLTD_{corr}}{3,412} \quad (8)$$

Keterangan :

$$Q_{wall,ex} \text{ (Kalor dinding luar)} = 4,976 \text{ Watt}$$

$$U_{wall,ex} \text{ (U dinding luar)} = 0,46 \text{ BTU/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$A_{wall,ex} \text{ (Luas dinding luar)} = 406,67 \text{ ft}^2$$

$$CLTD_{corr} = 26,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$3,412 \text{ (konversi satuan ke SI)}$$

• Kalor yang Dihasilkan Dinding Partisi ($Q_{wall,in}$)

Kalor yang dihasilkan oleh dinding partisi bagian barat dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{wall,in} = \frac{U_{wall,in} \times A_{wall,in} \times TD}{3,412} \quad (9)$$

Dimana nilai :

$Q_{wall,in}$ (Kalor dinding partisi) = 42,05 Watt
 $U_{wall,in}$ (U dinding) = 0,46 BTU/hr.ft².°F
 $A_{wall,in}$ (Luas dinding) = 174,3 ft²
 TD (Beda temperatur) = 1,8°F
 3,412 (konversi satuan ke SI)

Dengan menggunakan persamaan yang sama, didapat nilai kalor untuk dinding partisi lainnya.

Dinding Selatan dan Utara

$Q_{wall,in}$ (Kalor dinding partisi) = 282,51 Watt
 $U_{wall,in}$ (U dinding) = 0,46 BTU/hr.ft².°F
 $A_{wall,in}$ (Luas dinding) = 180,1 ft²
 TD (Beda temperatur) = 11,7°F
 3,412 (konversi satuan ke SI)

• **Kalor yang Dihasilkan Atap (Q_{roof})**

Kalor yang dihasilkan oleh atap yang tidak terkena sinar matahari langsung dapat dihitung secara konduksi dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{roof} = \frac{U_{roof} \times A_{roof} \times TD}{3,412} \quad (10)$$

Dimana nilai :

Q_{roof} (Kalor Atap) = 302,35 Watt
 U_{roof} (U Atap) = 0,14 BTU/hr.ft².°F
 A_{roof} (Luas atap) = 635,6ft²
 TD (Beda temperatur) = 11,7°F
 3,412 (konversi satuan ke SI)

• **Kalor yang Dihasilkan Lantai (Q_{floor})**

Kalor yang dihasilkan oleh lantai dapat dihitung secara konduksi dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{floor} = \frac{U_{floor} \times A_{floor} \times TD}{3,412} \quad (11)$$

Dimana nilai :

Q_{floor} (Kalor Lantai) = 302,35 Watt
 U_{roof} (U Lantai) = 0,14 BTU/hr.ft².°F
 A_{roof} (Luas Lantai) = 635,6ft²
 TD (Beda temperatur) = 11,7°F
 3,412 (konversi satuan ke SI)

Perpindahan Kalor yang Berasal dari Internal

• **Kalor yang Dihasilkan oleh Penghuni (Q_{person})**

Kalor sensibel dan laten yang dihasilkan manusia dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{person,sensible} = \frac{q_s/p \times n \times CLF}{3,412} \quad (12)$$

$$Q_{person,latent} = \frac{q_l/p \times n}{3,412} \quad (13)$$

Dimana nilai :

$Q_{person,sensible}$ (Kalor sensibel manusia) = 609,32 Watt
 $Q_{person,latent}$ (Kalor laten oleh manusia) = 451,34 Watt
 q_s/p (Kalor sensibel per orang per jam) = 210 BTU/hr
 q_l/p (Kalor laten per orang per jam) = 140 BTU/hr
 n (jumlah orang) = 11 orang
 CLF (*Cooling Load Factor*) = 0,9

Kalor per orang (q_s/p & q_l/p) diperoleh dari Tabel 4.5 pada buku ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual*. Jam operasional untuk ruang NICU diasumsikan 24 jam. Sehingga nilai CLF untuk penghuni ruang NICU dilihat pada tabel 4.6 pada buku ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual* adalah 0,9.

• **Kalor yang Dihasilkan oleh Peralatan Penerangan (Q_{lights})**

Kalor yang dihasilkan oleh peralatan penerangan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_{lights} = q \times F_u \times F_s \times CLF \quad (14)$$

Dimana nilai :

Q_{lights} (Kalor dari peralatan penerangan) = 661,7 Watt
 Q (Daya total dari lampu) = 509 Watt
 F_u (Faktor dari lampu yang menyala) = 1
 F_s (*Factor Ballast*) = 1,3
 CLF (*Cooling Load Factor*) = 1

Lampu pada ruangan NICU menyala ketika sistem pendingin menyala sehingga lampu menyala selama 24 jam. Nilai CLF dengan kondisi

tersebut adalah 1. Total lampu yang digunakan, yaitu semua lampu. Sehingga $F_u = 1$. Sedangkan lampu yang digunakan per armatur adalah 1 dengan daya lampu tidak lebih dari 60 Watt sehingga pada Tabel 4.14 pada buku ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual*, diperoleh nilai $F_s = 1,3$.

• Kalor yang Dihasilkan oleh Peralatan Elektronik ($Q_{equipment}$)

Kalor yang dihasilkan oleh peralatan elektronik secara sensibel dan laten dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_{equip,sensible} = C_s \times Q \times CLF \quad (15)$$

$$Q_{equip,latent} = C_l \times Q \quad (16)$$

Dimana nilai :

$Q_{equip,sensible}$ (Kalor sensibel peralatan) = 649,09 Watt

$Q_{equip,latent}$ (Kalor laten peralatan) = 254,66 Watt

C_s (Coefficient Sensible) = 0,33

Q (Manufacture's Input Rating) = 2138 Watt

Q (Manufacture's Input Rating) Laten = 1498 Watt

CLF (Cooling Load Factor) = 0,92

Diketahui alat penyegar udara di dalam ruangan NICU beroperasi selama 24 jam. Sehingga nilai CLF terdapat pada tabel 4.11 buku ASHRAE GRP 158 *Cooling Load and Heating Load Calculation Manual*.

Perpindahan Kalor akibat Infiltrasi

Infiltrasi merupakan aliran udara luar yang memasuki ruangan melalui celah dan bukaan lainnya yang tidak disengaja (Rudoy, 1980). Kalor yang ditimbulkan oleh infiltrasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{inf,sensible} = 1,23 \times \Delta T \times V_{inf} \quad (17)$$

$$Q_{inf,latent} = 3,01 \times \Delta \omega \times V_{inf} \quad (18)$$

Dimana nilai :

$Q_{inf,sensible}$ (Kalor infiltrasi sensibel) = 183,69 Watt

$Q_{inf,latent}$ (Kalor infiltrasi laten) = 673,59 Watt

ΔT (Perbedaan temperatur) = 6,5°C

$\Delta \omega$ (Perbedaan rasio kelembaban) = 9,74 g_v/kg_a

V_{inf} (Debit udara infiltrasi) = 22,98 L/s

Debit infiltrasi untuk ruang isolasi negatif dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut. Nilai ACH infiltrasi dapat digunakan 0,15 hingga

0,4 (Wang, 2000). ACH yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 0,4.

$$V_{inf,sensible} = ACH \times Vol \quad (19)$$

Dimana nilai :

V_{inf} (Debit udara infiltrasi) = 22,98 Liter/detik

ACH (Air Change per Hour) = 0,4

Vol (Volume ruangan) = 206,77 m³

Untuk mengubah satuan dari m³/h menjadi Liter/detik, maka hasil perhitungan tersebut dikalikan dengan nilai 0,2778. Sedangkan nilai rasio kelembaban ditentukan menggunakan Diagram Psikrometrik. Diperlukan 2 parameter untuk menentukan rasio kelembaban. Untuk menentukan rasio kelembaban ruangan maka gunakan temperatur rancangan 22°C dan RH rancangan 50%. Sehingga didapat rasio kelembaban ruangan sebesar 5 g_v/kg_a. Sedangkan untuk rasio kelembaban udara luar menggunakan nilai temperatur udara luar rata-rata 28,5°C dengan kelembaban maksimal 60%, maka didapat nilai rasio kelembaban udara luar (ω_o) sebesar 14,74 g_v/kg_a.

Perpindahan Kalor akibat Ventilasi

Perhitungan kalor yang dihasilkan oleh ventilasi diperlukan untuk menentukan $OASH$ (*Outside Air Sensible Heat*) dan $OALH$ (*Outside Air Latent Heat*) yang dibutuhkan pada analisis psikometrik. Nilai $OASH$ dan $OALH$ diperoleh menggunakan rumus berikut.

$$OASH = 1,23 \times \Delta T \times V_{vent} \quad (20)$$

$$OALH = 3,01 \times \Delta \omega \times V_{vent} \quad (21)$$

Keterangan :

$OASH$ (Kalor ventilasi sensibel) = 918,46 Watt

$OALH$ (Kalor ventilasi laten) = 3.367,96 Watt

ΔT (Perbedaan temperatur udara) = 6,5°C

$\Delta \omega$ (Perbedaan rasio kelembaban) = 9,74 g_v/kg_a

V_{vent} (Debit udara ventilasi) = 114,18 L/s

Debit ventilasi dapat dihitung menggunakan persamaan (19), sama halnya dengan menghitung debit infiltrasi. Namun nilai ACH didapat dari ACH udara luar yaitu 2. Sedangkan nilai perbedaan temperatur udara dan rasio kelembaban udara sama dengan nilai untuk menghitung kalor infiltrasi.

Kalor Total pada Ruangan

Total kalor sensibel (*RSHG/Room Sensible Heat Gain*) yang dihasilkan oleh ruangan pada beban puncak, dapat dihitung menggunakan persamaan (21) sebagai berikut.

$$RSHG = Q_{wall,ex} + Q_{wall,in} + Q_{roof} + Q_{floor} + Q_{pers,sensible} + Q_{lights} + Q_{equip,sens}$$

$$RSHG = 4,976 + 607,7 + 302,35 + 302,35 + 609,35 + 661,7 + 649,09$$

Sehingga nilai RSHG adalah sebesar 3.137,52 Watt.

Sedangkan total kalor laten (*RLHG/Room Latent Heat Gain*) ruangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$RLHG = Q_{pers,latent} + Q_{equip,latent} + Q_{inf,latent}$$

$$RLHG = 451,34 + 254,66 + 673,59$$

Sehingga nilai RLHG adalah sebesar 1.379,59 Watt.

Nilai total kalor ruangan dan nilai RSHF dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$RTHG = RSHG + RLHG$$

$$RSHF = \frac{RSH}{RSH + RLH}$$

Dimana nilai :
RTHG (Kalor Total Ruangan) = 4.517,11 Watt
RSHF (*Room Sensible Heat Factor*)= 0,69

Dalam menentukan *Grand Total Heat* (GTH) digunakan persamaan berikut.

$$GSH = RSH + OASH$$

$$GLH = RLH + OALH$$

$$GTH = GSH + GLH$$

$$GSH = 3.137,52 + 918,46 = 4.055,98 \text{ Watt}$$

$$GLH = 1.379,59 + 3.367,96 = 4.747,55 \text{ Watt}$$

$$GTH = 4.055,98 + 4.747,55 = 8.803,53 \text{ Watt}$$

Kapasitas Electric Heater

Electric heater berfungsi untuk menjaga RH ruangan. Sebelum menghitung kapasitas *electric heater*, udara yang di *supply* ke ruangan secara teoritis perlu dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_{sa} = \frac{RSH}{1,23 \times (T_{ra} - T_{la})}$$

RSH (Kalor Total Sensibel Ruangan) = 3.137,52 Watt

$$T_{ra} \text{ (Temp. Udara Ruangan)} = 21^\circ\text{C}$$

$$T_{la} \text{ (Temp. Udara Keluaran Koil)} = 15^\circ\text{C}$$

$$V_{sa} \text{ (Debit Udara Supply)} = 425,14 \text{ L/s}$$

Rumus yang digunakan dalam menghitung kapasitas pemanasan adalah persamaan berikut.

$$Q_{reheat} = 1,23 \times (T_{sa} - T_{la}) \times V_{sa}$$

Dimana :
Q_{reheat} (Kapasitas Pemanasan) = 3.660,45 Watt
ΔT (Perbedaan temperatur) = 7°C
V_{sa} (Debit udara supply) = 425,14 L/s

Perhitungan Pressure Loss Supply dan Return Air Duct

Dari hasil perhitungan kalor total, maka didapat unit dari suatu produsen AC internasional, dengan debit sebesar 949,6 L/s. Debit ini yang akan digunakan untuk perhitungan *pressure loss air duct*. Tentukan jumlah diffuser yang akan menjadi outlet udara dari setiap unit. Untuk nilai debit udara balik (*V_{return}*) maka dari nilai debit udara *supply* dikurangi dengan debit udara *fresh air*. Debit udara *fresh air* merupakan 15% dari debit udara *supply*.

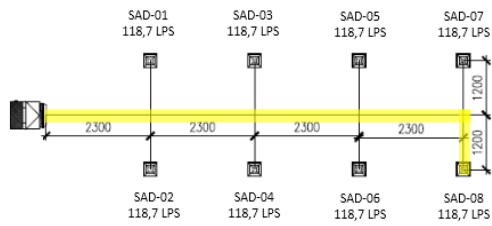
Tabel 5. Nilai Debit *Supply* dan Jumlah Diffuser

V _{supply} (Lps)	Jumlah Diffuser	V _{supply per Diffuser} (Lps)	Ukuran Diffuser
949,6	8	118,7	Ceiling HEPA Filter

Tabel 6. Nilai Debit *Return* dan Jumlah Grille

V _{return} (Lps)	Jumlah Grille	V _{return per Grille} (Lps)	Ukuran Grille
807,16	2	403,58	600 mm × 350 mm

Setelah menentukan jumlah diffuser dan debit setiap diffuser dan grille, selanjutnya membuat skema aliran udara pada ruangan, dan memilih saluran ke outlet terjauh untuk menghitung *pressure loss*.



Gambar 8. Skema Saluran Terjauh Supply Air

Tabel 7. Ukuran Supply Air Duct

Duct	Debit (L/s)	Pa/m	H (mm) X W (mm)	v (m/s)
Unit - Cabang 1	949,6	0,8	450 X 400	5,68
Cabang 1 - Cabang 2	712,2	0,8	450 X 350	5,3
Cabang 2 - Cabang 3	474,8	0,8	350 X 300	4,8
Cabang 3 - Elbow	118,7	0,8	200 X 200	3,4
Elbow - SAD-8	118,7	0,8	200 X 200	3,4



Gambar 9. Skema Saluran Terjauh Return Air

Tabel 8. Ukuran Return Air Duct

Duct	Debit (L/s)	Pa/m	H (mm) X W (mm)	v (m/s)
RAG-02 to RAG-01	403,58	0,80	300 X 300	4,80
RAG-01 to Elbow 1	807,16	0,80	450 X 400	5,70
Elbow 1 to Elbow 2	807,16	0,80	450 X 400	5,70
Elbow 2 to IU-2	807,16	0,80	450 X 400	5,70

Dengan memasukkan parameter debit dan *friction loss per meter* (Pa/m) pada *duct sizer*, maka didapat kecepatan dan ukuran *duct*.

- **Pressure Loss pada Saluran Lurus**
Menghitung *pressure loss* pada saluran lurus, digunakan persamaan (5) dan (4). Sehingga hasil perhitungannya tertuang pada tabel 9 dan 10.
- **Pressure Loss pada Sambungan**
Sedangkan untuk menghitung *pressure loss* sambungan digunakan rumus (6). Sehingga hasil perhitungannya tertuang pada tabel 11 dan 12.

Tabel 9. Pressure Loss Saluran Lurus Udara Supply

Duct	H (mm) X W (mm)	Dh (mm)	Re	f	v (m/s)	L (m)	ΔP_f (Pa)
Unit to Cabang 1	450 X 400	428	161.394	0.015	5,68	2,3	1,6
Cabang 1 to Cabang 2	450 X 350	400	140.654	0.015	5,3	2,3	1,5
Cabang 2 to Cabang 3	350 X 300	327	104.137	0.016	4,8	2,3	1,6
Cabang 3 to Elbow	200 X 200	202	45.562	0.019	3,4	2,3	1,5
Elbow to SAD-8	200 X 200	202	45.562	0.023	3,4	1,2	0,9
Total ΔP_f (Pa)							7,0

Tabel 10. Pressure Loss Saluran Lurus Udara Return

Duct	H (mm) X W (mm)	Dh (mm)	Re	f	v (m/s)	L (m)	ΔP_f (Pa)
RAG02 to RAG01	300 X 300	300	95.616	0.059	4,80	4,45	12,10
RAG01 to Elbow 1	450 X 400	423,5	160.297	0.055	5,70	5	12,66
Elbow 1 to Elbow 2	450 X 400	423,5	160.297	0.055	5,70	0,7	1,77
Elbow 2 to IU-2	450 X 400	423,5	160.297	0.055	5,70	0,515	1,30
Total ΔP_f (Pa)							27,83

Tabel 11. Pressure Loss pada Sambungan Udara Supply

Duct	v (m/s)	Vp (Pa)	C	TP (Pa)
Elbow 1	4,2	10,62	0,20	2,12
Total TP (Pa)				2,12

Tabel 12. Pressure Loss pada Sambungan Udara Return

Duct	v (m/s)	Vp (Pa)	C	TP (Pa)
Elbow 1	5,70	19,56	0,20	3,91
Elbow 2	5,70	19,56	0,20	3,91
Total TP (Pa)				7,82

Nilai C untuk elbow dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 13. Nilai C untuk Elbow

CR3-1 Elbow, Smooth Radius, Without Vanes

C_p Values											
r/W	H/W										
	0.25	0.50	0.75	1.0	1.50	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.50	1.53	1.38	1.29	1.18	1.06	1.00	1.00	1.06	1.12	1.16	1.18
0.75	0.57	0.52	0.48	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.00	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.50	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.00	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15
Angle Factor K											
θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K	0.00	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

• **Pressure Loss Air Duct Total**

Setelah *pressure loss* pada saluran udara *supply* dan *return* dihitung, maka selanjutnya menghitung *pressure loss air duct total* dengan menjumlahkan *pressure loss* pada saluran lurus dan sambungan.

Tabel 14. Nilai Pressure Loss Air Duct Total

ΔP_f (Pa)	TP (Pa)	Total Pressure Loss (Pa)
34,9	9,95	44,85

Menentukan Kebutuhan Filter

Setelah memilih unit dan menghitung *pressure loss* pada *air duct*, maka dapat diketahui kebutuhan filter sesuai dengan fungsi ruangan.

Untuk ruang NICU, termasuk pada klasifikasi *inpatient care* dan *AII rooms*. Sehingga minimal diperlukan filter dengan nilai MERV 7 dan MERV 14. Prefilter diperlukan untuk mengurangi maintenance pada filter dengan nilai MERV lebih dari 7. Nilai efisiensi filter setiap kategori MERV dapat dilihat pada tabel 2, sesuai dengan ukuran partikel yang disaring. Tabel berikut merupakan tabulasi kebutuhan filter untuk *Indoor Unit*.

Tabel 15. Tabulasi Kebutuhan Filter

Filter 1	Filter 2	Filter 3
MERV-7 (Built in unit)	MERV-11 (Built in unit)	MERV-15 (In ceiling)

IV. PENUTUP

Kesimpulan

1. Salah satu upaya untuk mengurangi *Hospital-acquired Infections* (HAIs) pada ruang NICU dan sekitarnya, adalah dengan merancang sistem tata udara khusus dengan parameter yang dikondisikan adalah mengatur *Air Change Rate*, mengatur tingkat kebersihan, mengatur kelembaban dan tekanan udara ruangan sesuai dengan ASHRAE HVAC *Design Manual for Hospital and Clinics*.
2. Kapasitas pendinginan dari hasil perhitungan adalah sebesar 8,805 kW. Sedangkan kapasitas pemanasan untuk *electric heater* adalah sebesar 3,660 kW.
3. Pada saluran distribusi udara yang dirancang, didapat *total pressure loss* adalah sebesar 44,85 Pa.
4. Terdapat Pre-Filter, Medium Filter yang *built-in unit* dan HEPA Filter yang akan diletakkan di *ceiling* ruangan.

Saran

Perhitungan debit infiltrasi dapat menggunakan perhitungan melalui celah-celah pintu dan jendela untuk memperoleh hasil perhitungan kapasitas yang lebih optimal.

V. DAFTAR PUSTAKA

Abduladheem, A. *et al.* (2013) 'Ventilation Air Distribution in Hospital Operating', *International Journal of Science and Research*, 2(11), pp. 81–85. Available at: www.ijsr.net.

Azimi, P. and Stephens, B. (2013) 'HVAC Filtration for Controlling Infectious Airborne Disease Transmission in Indoor Environments: Predicting Risk Reductions and Operational Costs', *Building and Environment*. doi: 10.1016/j.buildenv.2013.08.025.

Hemavathy, V., Bhaskaran, G. and Sudha, Y. (2016) 'A Descriptive Study to Assess the Knowledge on Infection Control among Staff Nurses in I.C.U in Selected Hospitals in Chennai', *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(1), pp. 1341–1343. doi: 10.21275/v5i1.nov152925.

Irfan, Syed Faheem; Syed, Mujeeb Ali; Syed Suleman; Syed, Obaid Ur Rahman; Syed, W. U. (2017) 'Design for Thermal Comfort during Summer & Psychometry Tool for Human Comfort', *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 6(2), pp. 276–283. Available at: <https://www.ijsr.net/archive/v6i2/ART2017609.pdf>.

Koenigshofer, D. (2013) *HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics*. 2nd edn. ASHRAE.

Licina, D. *et al.* (2016) 'Concentrations and Sources of Airborne Particles in A Neonatal Intensive Care Unit', *PLOS ONE*, 11(5), pp. 1–17. doi: 10.1371/journal.pone.0154991.

Rudoy, W. (1980) *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. ASHRAE.

Soleha TU, Rukmono P, H. G. (2015) 'Kualitas Mikrobiologi Udara di Ruang Neonatal Intensive Care Unit (NICU) Air Microbiological Quality from Neonatal Intensive Care Unit (NICU) General', *Majority*, 4, pp. 143–148.

Sundari, T. *et al.* (2017) 'Peran Sistem Tata Udara dalam Pencegahan dan Pengendalian Infeksi Di Ruang Isolasi Airborne RSPI Prof . Dr . Sulianti Saroso', *The Indonesian Journal of Infectious Diseases*, 4(1).

Wang, S. K. (2000) *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, *Choice Reviews Online*. McGraw-Hill. doi: 10.5860/choice.32-0959.