

STUDI KOMPARASI *LIFE CYCLE COST* ENERGI SISTEM PENGUDARAAN AKTIF PADA GEDUNG Q UNIVERSITAS KRISTEN PETRA SURABAYA

Devina Kartika Santoso¹, Jimmy Priatman² dan Christina Eviutami Mediastika³

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

^{2,3} Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya

¹ devinakartikas@gmail.com, ² jpriatman@yahoo.com, ³ emediastika@gmail.com

ABSTRAK: Pemanasan global telah meningkat selama periode lima tahun terakhir. Permasalahan ini timbul karena semakin banyaknya bangunan bertingkat. Pada bangunan bertingkat, konsumsi energi terbesar adalah sistem tata udara, yaitu 55-65%. Sistem tata udara yang efisien dan ekonomis diperlukan untuk menghemat energi dan biaya operasional. Analisis *life cycle cost* (LCC) dibutuhkan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengudaraan selama umur pakai peralatan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi sistem dengan membandingkan beberapa alternatif. Sumber data diperoleh dari manajemen gedung dan beberapa *supplier* serta kontraktor mekanikal elektrikal. Penelitian dilakukan dengan menjumlahkan biaya awal (C), biaya operasional (O), biaya perawatan dan penggantian (M), dan nilai sisa dari barang pada akhir masa pakai. Sebelum dijumlahkan, biaya dikonversikan dengan metode *annual worth*. Penelitian ini menunjukkan bahwa evaluasi menggunakan metode LCC dapat menunjukkan penghematan biaya operasional hingga 34%.

Kata kunci: *life cycle cost*, sistem pengudaraan, *annual worth*

ABSTRACT: Global warming has been increasing since last five years. This problem emerges because of the development of high rise buildings. Air conditioning system has the largest percentage of building's energy consumption, that is, 55-65% of total building's energy consumption. An efficient and economic air-conditioning system is needed to save energy and operational cost as much as possible. Life cycle cost analysis is conducted to evaluate the air conditioning system by comparing some alternative systems. The data are retrieved from the building management and some supplier, also mechanical and electrical contractors. This research is conducted by calculating the investment cost (C), operational cost (O), maintenance and replacement cost (R), and salvage value (S). Before calculating life cycle cost, all cost is converted with annual worth method. Life cycle cost evaluation is capable to save operational cost up to 34%.

Keywords: *life cycle cost*, air conditioning system, *annual worth*

1. PENDAHULUAN

Laporan perubahan cuaca dan pemanasan global PBB mengungkapkan bahwa tahun 2019 menjadi tahun terpanas dalam lima tahun terakhir. Dikutip dari CNN, iklim pada periode ini naik 0,2 derajat celcius lebih hangat sejak 2011-2015 (CNN Indonesia, 2019). Sebagian besar permasalahan global muncul karena setiap Negara sedang berlomba-lomba membangun gedung pencakar langit (Susanto, 2012). Para investor mengharapkan sebuah bangunan dengan biaya awal yang minim, biaya operasional yang rendah serta umur bangunan yang panjang (Kirk & Dell'isola, 1995).

Masalah pemborosan energi secara global disebabkan oleh 80% faktor manusia dan 20% faktor teknis. Pada negara tropis seperti Indonesia, bangunan mengkonsumsi banyak energi untuk tata udara (55-65%), tata cahaya (12-17%), transportasi vertikal (10-15%), peralatan lain (9-13%). (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2011). Posisi Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa mengharuskan sebagian besar bangunan tinggi dilengkapi dengan *air conditioning system* (sistem pendingin ruangan). Hal ini juga mendorong para perencana untuk memikirkan cara untuk menghemat energi (Wikono, 2012).

Oleh karena itu, perencana perlu mempertimbangkan sistem pengudaraan yang efisien dan ekonomis untuk mengoptimalkan penggunaan sistem pengudaraan dalam bangunan. *Life cycle cost* sebagai suatu metode evaluasi, dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang efisien dengan mempertimbangkan nilai investasi hingga operasional (Iskandar, 2015). Penelitian berfokus pada evaluasi sistem pengudaraan aktif dengan menggunakan metode *life cycle cost* (LCC), sehingga dapat diketahui sistem pengudaraan aktif yang paling menguntungkan, dinilai dari hasil perhitungan LCC.

2. STUDI LITERATUR

2.1. Energi

Dalam Undang-Undang No.30 Tahun 2007, energi secara umum adalah kemampuan untuk melakukan suatu pekerjaan yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia dan elektromagnetika. Definisi dari energi dalam operasional sebuah bangunan meliputi, pemanas, pendingin (AC), ventilasi, pencahayaan dan perlengkapan lainnya (Satori & Hestnes, 2007). Biaya energi untuk sebuah bangunan pada umumnya terdiri dari pemanas, pendingin, ventilasi, pencahayaan dan peralatan listrik lainnya (Kirk & Dell'isola, 1995).

Di Indonesia, rata-rata bangunan membutuhkan energi untuk tata udara sebesar 55-65%, tata cahaya sebesar 12-17%, transportasi vertikal sebesar 10-15%, dan peralatan elektronik lain sebanyak 9-13% (Gunawan, 2012). Maka diperlukan manajemen energi yang tepat, untuk memberikan dampak penurunan biaya operasional gedung (Patrick & Fardo, 1982).

2.2. Sistem Pengudaraan

Sistem pengudaraan pada sebuah bangunan seringkali disebut sebagai hvac (*heating, ventilation, air conditioning*). Sistem hvac di desain untuk menciptakan lingkungan yang nyaman bagi pengguna bangunan, dengan mengubah dan mengontrol kondisi udara diluar hingga tercapai kenyamanan di dalam ruangan. Sistem hvac diklasifikasikan menjadi sistem sentral

dan sistem desentralisasi. Sistem sentral mengontrol suhu keseluruhan bangunan, sedangkan sistem desentralisasi hanya spesifik pada ruangan tertentu.

2.3. Klasifikasi Sistem Sentral

2.3.1. Sistem All Air

Sistem *all air* adalah sistem yang menyalurkan energi dan udara melalui saluran *ducting* antara *air handling unit* (AHU) dan ruangan yang akan dikontrol suhunya (Mcquiston, Parker, & Spitler, 2005). Sistem *all air* memungkinkan pengguna untuk mengontrol kualitas udara, namun membutuhkan banyak ruang untuk komponen-komponennya, serta kurang efisien untuk mendistribusikan udara dalam jumlah besar pada jarak tertentu, karena membutuhkan daya yang sangat besar. Sistem *all air* memiliki beberapa tipe yaitu (Lechner, 2009):

- Sistem *single duct* dengan CAV mengatur suhu dengan menggunakan satu *thermostat*. Udara disalurkan melalui satu *ducting* besar yang memiliki cabang pada setiap ruang.
- Sistem *variable air volume* (VAV) memiliki panel kontrol pada jalur *ducting* suplai. *Thermostat* terletak pada setiap ruang, sehingga memungkinkan pengaturan suhu yang berbeda pada tiap ruang.
- Sistem *multizone* menggunakan lebih dari satu *ducting*. Penyaluran udara ke *ducting* melalui *air handling unit* (AHU) sehingga pada setiap lantai harus memiliki satu AHU. Udara segar yang berasal dari luar ruangan sebelum masuk kedalam akan diatur suhunya melalui *thermostat* pada setiap AHU.
- Sistem *double duct* mengatur suhu dalam ruang dengan cara mencampurkan suhu panas dan suhu dingin kemudian menyalurkannya pada ruang. Sistem ini membutuhkan dua *ducting*, oleh karena itu kurang efisien dan membutuhkan biaya yang besar.

2.3.2. Sistem All Water

Sistem *all water* terdiri dari komponen utama berupa *fan coil*. Sistem ini bekerja dengan cara mendinginkan atau menghangatkan suhu ruang dengan mensirkulasikan air kedalam pipa *fan-coil*. Sistem *fan coil* memiliki beberapa jenis yaitu, sistem dengan tiga pipa dan empat pipa. Sistem dengan tiga pipa terdiri dari satu pipa air dingin, satu pipa air panas serta satu pipa *return*. Sistem ini dinilai kurang efisien karena kedua air bercampur sehingga ada kondensasi pada *coil* pendingin dan harus dikeringkan.

Sistem empat pipa terdiri dari pipa suplai dan *return* bagi air panas dan air dingin. Sistem *all water* memiliki fleksibilitas ruang karena lebih mudah disesuaikan dengan modul bangunan. Kelemahan sistem ini adalah kurangnya kontrol pada kualitas udara.

2.3.3. Sistem Variable Refrigerant Volume (VRV)

Variable refrigerant volume adalah sebuah sistem konfigurasi pengudaraan dengan satu *outdoor* unit dan beberapa *indoor* unit. Istilah *refrigerant volume* mengacu pada kemampuan sistem untuk mengatur aliran udara yang mengalir melalui *indoor* unit. Pengaturan ini memampukan sistem VRV untuk mengontrol pengudaraan dalam ruangan dengan lebih efisien, karena dapat disesuaikan dengan kebutuhan tiap ruang.

Indoor unit dihubungkan dengan *outdoor unit* yang kemudian meresponnya dengan membedakan kecepatan dari kompresor, sesuai dengan kebutuhan pendinginan dalam ruang, seperti terlihat pada Gambar 1. Sistem VRV dapat mengefisienkan penghematan energi dengan rentang 11% hingga 17%, dibanding dengan sistem konvensional (CEDEngineering, 2020).

2.4. Life Cycle Cost

Life cycle cost didefinisikan sebagai semua biaya yang digunakan sepanjang masa pakai meliputi persiapan, pra-desain, akuisisi dan biaya lain yang berhubungan langsung dengan kepemilikan atau penggunaan aset (New South Wales Treasury, 2004). Dalam ISO 1586 (2008), *Life cycle cost* adalah total biaya dari proses desain dan konstruksi bangunan, operasional dan pemeliharaan serta nilai diakhir siklusnya. Komponen-komponen *life cycle cost* yang dijabarkan dalam *cost breakdown structure (CBS)* antara lain, (1) biaya desain dan konstruksi, (2) biaya operasional, (3) biaya pemeliharaan, (4) *salvage value* (nilai sisa).

Life cycle sebuah sistem atau produk, dapat dibagi menjadi lima fase utama yaitu, (1) fase konsep dan pendefinisian, (2) fase desain dan pengembangannya, (3) fase produksi dan pemasangan, (4) fase operasional dan pemeliharaan, (5) fase akhir siklus (Norman, 1990). Secara intrinsik, semua fase menjadi bagian dari keseluruhan siklus hidup dari sebuah bangunan. Konsep *life cycle cost* adalah sebuah proses untuk menentukan biaya paling efektif di antara banyak alternatif yang tersedia (Kirk & Dell'isola, 1995, p.36).

Fuller dan Peterson (1995) dalam *Life Cycle Costing Manual* menyatakan bahwa, LCC terdiri dari biaya awal, biaya perawatan, biaya operasional, biaya perubahan dan penggantian serta nilai sisa (*salvage value*). Perhitungan LCC menggunakan rumus yang terdapat dalam *life cycle costing manual* yaitu:

$$LCC = C + M + O + R - S$$

C = Biaya awal (*present cost*, Rp.)

M = Biaya perawatan (*annual cost*, Rp/bulan)

O = Biaya Operasional (biaya penggunaan energi, Rp/bulan)

R = Biaya penggantian (*annual cost*, Rp/bulan)

S = *Salvage value* (*future cost*, Rp)

Untuk keperluan analisis ekonomis, maka biaya pada masa sekarang (*present value*) dan biaya di masa depan (*future cost*) dinyatakan dengan menggunakan *constant dollar*, yaitu nilai mata uang yang disesuaikan dengan nilai pada suatu waktu tertentu. Perubahan biaya yang terjadi pada masa yang akan datang (*future cost*), maka dalam menghitung LCC diperlukan adanya faktor suku bunga (Kirk & Dell'isola, 1995).

Life cycle cost merupakan bagian dari *engineering economic*, maka dibutuhkan diagram *cash flows*. *Cash flow engineering* memuat beberapa konfigurasi, misalnya biaya yang terjadi hanya sekali, dan biaya annual yang bernilai konstan dalam suatu periode tertentu. Untuk melakukan

perhitungan, maka diperlukan konversi nilai dalam *cash flow*, sehingga perhitungan menjadi ekuivalen.

LCC dinyatakan dalam *annual worth* maka biaya awal (*present value*) harus dikonversikan menjadi *annual worth* dengan rumus :

$$A = P(A/P, i\%, n) \dots\dots\dots(1)$$

Demikian pula untuk *future value*, dikonversikan menjadi *annual worth* dengan rumus :

$$A = F(A/F, i\%, n) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- A = *annual worth*
- P = *present value*
- F = *future value*
- n = periode
- i = % bunga per tahun
- (A/P, i%, n) = *capital recovery factor*
- (A/F, i%, n) = *sinking fund factor*

Nilai sisa atau nilai sisa adalah nilai dari barang/sistem saat masa pakai sudah terlewati. Nilai sisa suatu sistem saat masa pakai sudah usai diasumsikan nol untuk menyederhanakan perhitungan *life cycle cost* selama masa penelitian (Stanford University, 2005).

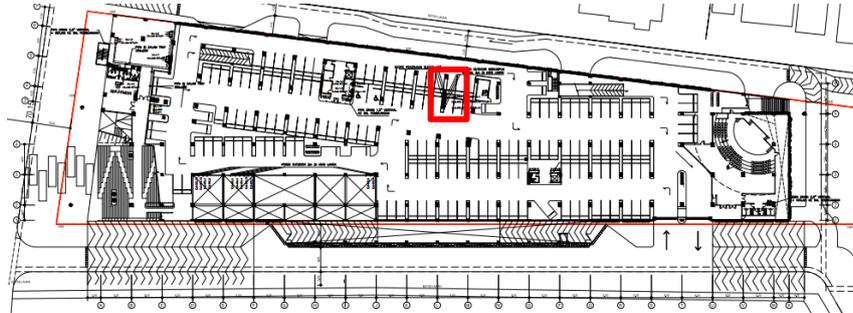
3. METODE PENELITIAN

Analisis data dilakukan dengan menggunakan *spreadsheet* pada program *Microsoft excel*. Setiap komponen LCC, biaya awal (C), biaya operasional (O), biaya perawatan dan penggantian (M), serta nilai sisa (S) dikonversikan dengan menggunakan metode *annual worth*, sehingga perhitungan menjadi ekuivalen. Perhitungan data dilakukan setelah semua data sistem eksisting dan sistem alternatif terkumpul. Untuk menghitung biaya operasional dibutuhkan besar daya yang digunakan, lama penggunaan dan tarif listrik yang berlaku. Nilai sisa dari peralatan merupakan hasil pembagian biaya awal dengan hasil bagi umur pakai dan lama penelitian. Semua biaya yang sudah dikonversikan kemudian dijumlahkan sehingga diperoleh hasil LCC dari setiap sistem. Hasil yang ingin didapatkan adalah evaluasi sistem eksisting dengan membandingkannya dengan sistem alternatif.

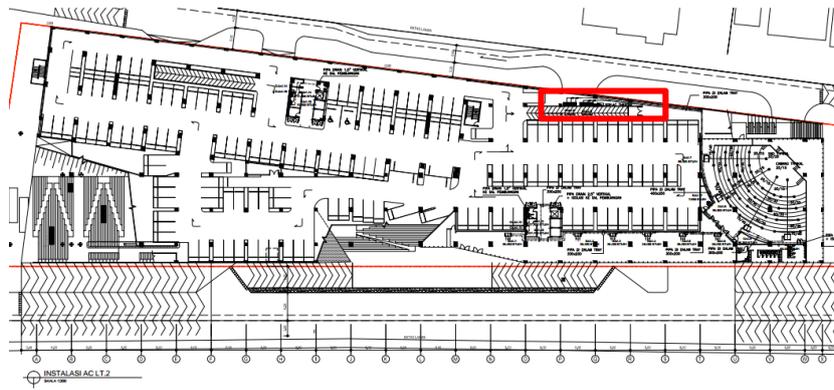
4. ANALISIS DATA DAN PERBANDINGAN

Penelitian dilakukan pada Gedung Q Universitas Kristen Petra. Sistem alternatif dipilih berdasarkan beberapa kriteria, yaitu: dapat melayani bangunan dengan beban pendinginan sebesar 12.000.000 btuh, termasuk kategori sistem pengudaraan sentral, serta mampu melayani bangunan dengan luas 21.000 m². Bangunan publik seperti universitas disarankan menggunakan sistem sentral (Mcquiston, Parker, & Spitler, 2005) Universitas di Indonesia yang menggunakan sistem sentral adalah Universitas Indonesia yang menggunakan sistem *chiller*. Maka sistem alternatif yang dipilih adalah sistem *chiller air-cooled* dan sistem *chiller watercooled*. Umur pakai peralatan sistem pengudaraan sentral dalam penelitian adalah 15 tahun (ASHRAE, 2004). Suku bunga di Indonesia tahun 2019-2020 adalah 4,75% (Bank

Indonesia, 2019). Biaya instalasi peralatan mencakup komponen-komponen yang mendukung pengoperasian sistem pengudaraan. Sistem *variable refrigerant volume* (VRV) terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu *unit outdoor* dan *unit indoor*. *Outdoor* sistem eksisting (VRV) yang terpasang di gedung Q diletakkan pada lantai 1, 2, 6, 8, 10 pada gedung P1 dan P2 serta pada lantai 12 gedung P1. Gambar peletakan unit *outdoor* pada lantai 1 dapat dilihat pada Gambar 1.

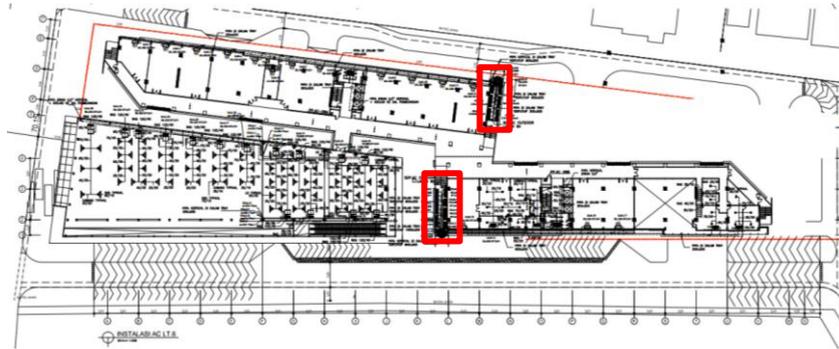


Gambar 1 Denah posisi outdoor vrv pada lantai 1

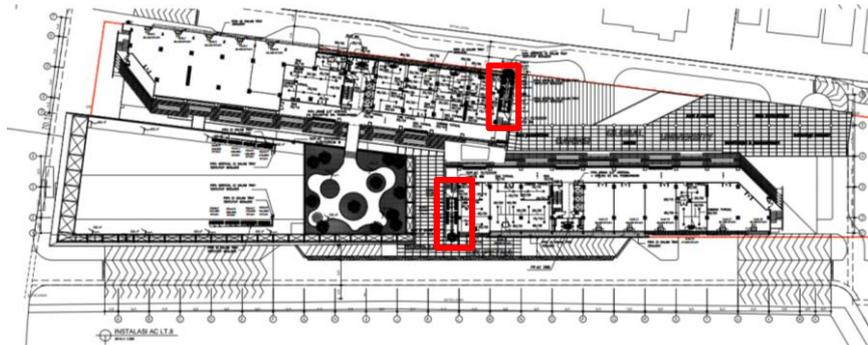


Gambar 2 Denah posisi outdoor vrv pada lantai 2

Outdoor unit pada lantai 2, melayani ruang *amplitheater*. Posisi *outdoor unit* pada lantai 2 terdapat pada Gambar 2. *Indoor unit* pada lantai 3, 4, 5, dan 6 pada gedung P1 dan P2 didukung oleh *outdoor unit* yang diletakkan pada lantai 6, seperti terlihat pada Gambar 3. *Indoor unit* pada lantai 7, 8 dan 9 pada gedung P1 di dukung dengan *outdoor unit* pada lantai 8 gedung P1 sedangkan lantai 7 dan 8 pada gedung P2 didukung oleh *outdoor unit* yang berada pada lantai 6 gedung P2. Gambar skema peletakan *outdoor unit* pada lantai 8 terdapat pada Gambar 4.

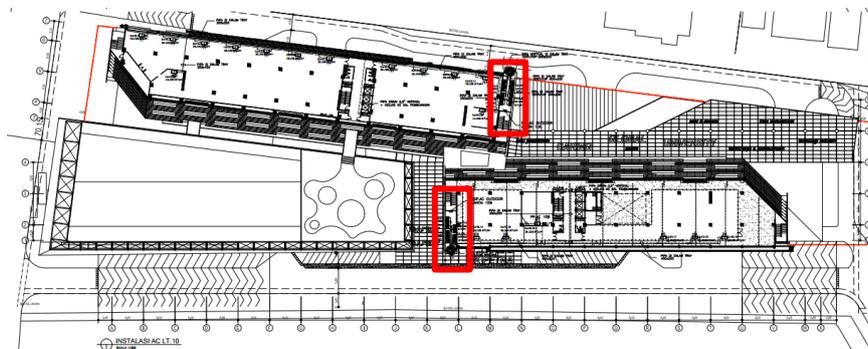


Gambar 3 Denah posisi outdoor vrv pada lantai 6

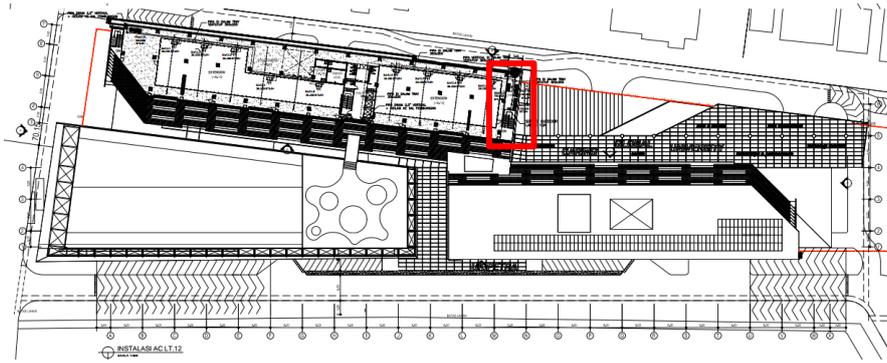


Gambar 4 Denah posisi outdoor vrv pada lantai 8

Outdoor unit yang melayani lantai 9 dan 10 gedung P1 dan P2, diletakkan pada lantai 10 gedung P1 dan P2 seperti terlihat pada Gambar 5. *Outdoor unit* yang mendukung *indoor unit* lantai 11 dan 12 gedung P1, terletak pada lantai 12 gedung P1. Skema peletakan *outdoor unit* terdapat pada Gambar 6.



Gambar 5 Denah posisi outdoor vrv pada lantai 10



Gambar 6 Denah posisi outdoor vrv pada lantai 12

Biaya instalasi sistem *chiller* mencakup komponen pendukung berupa *air handling unit* (AHU). Peletakan *chiller water-cooled* dan pompa berada di lantai *basement*, seperti pada Gambar 7. Pada lantai 1-3, AHU terletak ditengah kedua bangunan karena sebagian besar area yang dilayani berada di area tengah podium, terlihat pada Gambar 8.



Gambar 7 Denah peletakan *chiller* dan pompa lantai basement



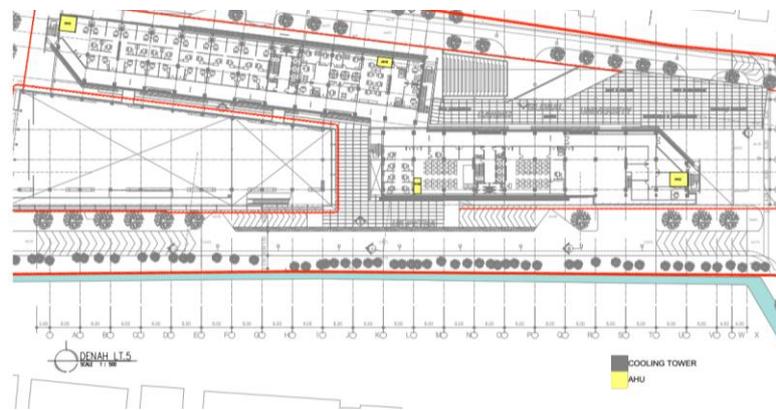
Gambar 8 Denah peletakan ahu pada lantai 1 -3

Pada lantai 4, AHU yang melayani area perkuliahan dan auditorium dibedakan karena kebutuhan auditorium yang besar, seperti terdapat pada Gambar 9. letakAHU pada lantai 50-

10 berada di ujung kanan dan kiri bangunan untuk melayani dua area ruang kelas dan studio. Peletakan dapat dilihat pada Gambar 10.

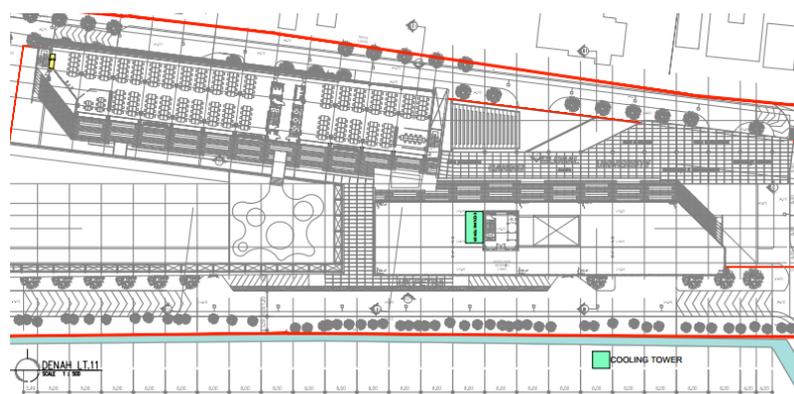


Gambar 9 Denah peletakan ahu pada lantai 4



Gambar 10 Denah peletakan ahu pada lantai 5-10

Cooling tower diletakkan pada lantai 11, seperti pada Gambar 11. Sedangkan untuk sistem *chiller air-cooled*, peletakan AHU sama dengan sistem *watercooled*, namun *chiller* diletakkan pada *rooftop* dilantai 11, terdapat pada Gambar 12.



Gambar 11 Denah peletakan *cooling tower*

Penambahan AHU dan saluran *ducting* mempengaruhi biaya investasi awal masing-masing sistem. Tabel 1 memperlihatkan perbedaan biaya investasi awal untuk setiap sistem.

Tabel 1. Biaya investasi sistem pengudaraan

| | Biaya Investasi Total |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Sistem Eksisting (VRV) | Rp. 13.730.799.960 |
| Alternatif 1 (<i>Water cooled</i>) | Rp. 18.772.340.823 |
| Alternatif 2 (<i>Air cooled</i>) | Rp. 19.053.673.807 |

Biaya operasional sistem VRV dihitung mengalikan kebutuhan daya dengan tarif listrik yang berlaku. Perhitungan ketiga sistem dapat dilihat pada Tabel 2. Sistem *chiller water cooled* mengkonsumsi daya sebesar 0,72 KW/TR, untuk menghitung besar konsumsi, kebutuhan daya dikali dengan 0,72KW/TR (Abraxas Energy, 2017). Maka besar daya yang digunakan gedung P1 dan P2 adalah : $800 \text{ TR} \times 0,72 \text{ KW/TR} = 576 \text{ KW}$. Dan besar daya yang digunakan auditorium : $400 \text{ TR} \times 0,72 \text{ KW/TR} = 288 \text{ KW}$.

Sistem *chiller air cooled* mengkonsumsi daya sebesar 1,23KW /TR, untuk menghitung besar konsumsi, kebutuhan daya dikali dengan 1,23KW /TR (Abraxas Energy, 2017). Kapasitas daya yang dibutuhkan *chiller air cooled* adalah $800 \text{ TR} \times 1.23 \text{ KW/TR} = 984 \text{ KW}$ untuk gedung p1 dan p2, sedangkan besar daya yang digunakan auditorium : $400 \text{ TR} \times 1.23 \text{ KW/TR} = 429 \text{ KW}$.

Tabel 2. Biaya operasional sistem pengudaraan

| | Daya yang dibutuhkan (KW) | Lama Pemakaian (Jam/hr) | Jumlah Hari Kerja (hari/th) | Tariff (Rp/Kwh) | Total Biaya (Rp/th) |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------|
| P1 & P2 | 648,78 | 10 | 265 | 956 | Rp. 1.632.952.007 |
| Auditorium | 263,44 | 5 | 36 | 956 | Rp. 45.332.755 |
| Total Biaya Operasional | | | | | Rp. 1.632.178.800 |
| | | | | | |
| P1 & P2 | 576 | 10 | 265 | 956 | Rp. 1.459.238.400 |
| Auditorium | 288 | 5 | 36 | 956 | Rp. 49.559.040 |
| Total Biaya Operasional | | | | | Rp. 1.508.797.440 |
| | | | | | |
| P1 & P2 | 648,78 | 10 | 265 | 956 | Rp. 2.492.865.600 |
| Auditorium | 263,44 | 5 | 36 | 956 | Rp. 84.663.360 |
| Total Biaya Operasional | | | | | Rp. 2.577.528.960 |

Perawatan dan penggantian komponen sistem HVAC dilakukan beberapa kali dalam satu tahun. Biaya penggantian diasumsikan sebesar Rp. 194.000 per Ton (ASHRAE, 2004). Maka perhitungan biaya untuk ketiga jenis sistem AC adalah $1070 \text{ ton} \times \text{Rp. } 194.000 = \text{Rp. } 207.580.000/\text{tahun}$. Daftar biaya perawatan terdapat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Biaya perawatan dan penggantian

| Alternatif | Total Biaya Perawatan |
|--------------------------------------|-----------------------|
| | Rp |
| Eksisting (VRV) | Rp. 207.580.000 |
| Alternatif 1 (<i>Water cooled</i>) | Rp. 207.580.000 |
| Alternatif 2 (<i>Air cooled</i>) | Rp. 207.580.000 |

Nilai sisa suatu sistem saat masa pakai sudah usai diasumsikan nol untuk menyederhanakan perhitungan *life cycle cost* selama masa penelitian (Stanford University, 2005).

Tabel 5. Nilai sisa (*salvage value*)

| Jenis Sistem | Biaya Awal | Salvage Value |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| Eksisting (VRV) | Rp 14.434.083.065 | Rp 0 |
| Alternatif 1 (<i>Water cooled</i>) | Rp 20.643.759.757 | Rp 0 |
| Alternatif 2 (<i>Air cooled</i>) | Rp 19.053.673.807 | Rp 0 |

4.1. Nilai *Life Cycle Cost*

Nilai *life cycle cost* sistem pengudaraan dihitung setelah semua komponen biaya *life cycle cost* terkumpul. Hasil perhitungan *life cycle cost* terdapat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan *life cycle cost*

| | VRV | <i>Water Cooled Chiller</i> | <i>Air Cooled Chiller</i> |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Biaya investasi | Rp. 1.300.596.949 | Rp. 1.778.137.418 | Rp. 1.587.311.536 |
| Biaya operasional | Rp. 1.688.952.007 | Rp. 1.508.797.440 | Rp. 2.577.528.960 |
| Biaya perawatan dan penggantian | Rp. 207.580.000 | Rp. 207.580.000 | Rp. 207.580.000 |
| Nilai sisa | 0 | 0 | 0 |
| LCC | Rp. 3.197.128.956 | Rp 3.494.514.858 | Rp. 4.589.894.558 |
| LCC Minimum | Rp. 3.197.128.956 | | |

Hasil perhitungan LCC memperlihatkan bahwa nilai LCC sistem VRV merupakan nilai LCC paling minimum. Masing-masing komponen biaya juga menunjukkan peringkat persentase setiap komponen. Persentase setiap komponen dapat menjadi acuan dalam melakukan efisiensi biaya. Peringkat dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Peringkat jenis pembiayaan sistem pengudaraan

| Jenis biaya | Presentase |
|---------------------------------|------------|
| Biaya investasi | 51% |
| Biaya operasional | 33% |
| Biaya perawatan dan penggantian | 12% |
| Nilai sisa | 4% |

Ditinjau dari peringkat pembiayaan, biaya investasi dan biaya operasional merupakan dua komponen dengan persentase yang besar. Biaya investasi sebesar 51% dari total nilai *life cycle cost*, sedangkan biaya operasional sebesar 33% dari total nilai *life cycle cost*. Tabel 8 memperlihatkan perbandingan biaya investasi awal. Biaya investasi awal paling minim adalah biaya dari sistem *variable refrigerant volume* (VRV).

Sistem *chiller water cooled* dan *air cooled* membutuhkan banyak komponen pendukung seperti *air handling unit* (AHU), pompa, *cooling tower* serta *ducting* yang cukup besar untuk mendistribusikan udara, sehingga biaya investasi awal menjadi lebih besar dibanding dengan sistem eksisting yaitu sistem VRV.

Tabel 8. Perbandingan biaya investasi

| | Biaya Investasi |
|----------------------------------------------|--------------------------|
| Eksisting (VRV) | Rp 13.730.799.960 |
| Alternatif 1 (<i>water cooled chiller</i>) | Rp 18.772.340.823 |
| Alternatif 2 (<i>air cooled chiller</i>) | Rp 19.053.673.807 |
| Biaya minimum | Rp 13.730.799.960 |

Ditinjau dari besarnya biaya operasional, sistem *water cooled chiller* memiliki nilai yang terendah, dengan efisiensi daya sebesar 0,72 KW/TR. Perbandingan biaya operasional terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan biaya operasional

| | Biaya Operasional |
|----------------------------------------------|--------------------------|
| Eksisting (VRV) | Rp. 1.688.952.007 |
| Alternatif 1 (<i>water cooled chiller</i>) | Rp. 1.508.797.440 |
| Alternatif 2 (<i>air cooled chiller</i>) | Rp. 2.577.528.960 |
| Biaya minimum | Rp. 1.508.797.440 |

Biaya operasional sistem *water cooled chiller* lebih hemat 12%, jika dibandingkan dengan sistem VRV. Sistem VRV dibandingkan dengan sistem *air cooled chiller*, dapat menghasilkan penghematan sebesar 34%. Presentase penghematan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Persentase penghematan biaya operasional

| | Operasional alternative | Operasional eksisting | Persentase penghematan |
|----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| Alternatif 1 (<i>water cooled chiller</i>) | Rp. 1.508.797.440 | Rp. 1.688.952.007 | -(12%) |
| Alternatif 2 (<i>air cooled chiller</i>) | Rp. 2.577.528.960 | Rp. 1.688.952.007 | 34% |

5. KESIMPULAN

Studi komparasi *life cycle cost* sistem pengudaraan dapat dilakukan dengan membandingkan sistem eksisting dengan beberapa sistem lain sebagai alternatif. Dalam perhitungan *life cycle cost*, komponen pembiayaan sistem pengudaraan terbesar adalah biaya investasi, yaitu sebesar 51% dan biaya operasional sebesar 33%. Sistem eksisting (vrv) dapat menghemat penggunaan ruang bagi jalur pendistribusian udara sehingga kapasitas ruang tidak berkurang. Jalur pendistribusian udara pada sistem eksisting, lebih kecil sehingga dapat menghemat biaya instalasi.

Nilai *life cycle cost* (LCC) sistem eksisting (sistem vrv) adalah nilai paling minimum dibanding dengan pilihan alternatif lainnya (*air cooled chiller* dan *water cooled chiller*). Dilihat dari besarnya biaya operasional, sistem eksisting (sistem vrv) lebih hemat 34% dibanding dengan sistem *air cooled chiller*, dan 12% lebih tinggi dibanding dengan sistem *water cooled chiller*.

6. DAFTAR REFERENSI

- Abraxas Energy. (2017). *Typical HVAC Rules of Thumb*. Retrieved May 20, from <https://www.abraxasenergy.com/energy-resources/toolbox/hvac-rules-of-thumb/>
- ASHRAE. (2004). *Heating, Ventilating And Air-Conditioning System and Equipment*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- CEDEngineering. (2020, April). "VAC Variable Refrigerant Flow (Vrf) Systems. Retrieved May 15, 2020 from <https://www.cedengineering.com/courses/hvac-variable-refrigerant-flow-vrf-systems>
- CNN Indonesia. (2019, September). Laporan Perubahan Iklim Pbb: 2019 jadi Tahun Terpanas. *CNN Indonesia*. Retrieved July 21, 2019 from <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20190923121304-199-432939/laporan-perubahan-iklim-pbb-2019-jadi-tahun-terpanas>
- Fuller, S. K., & Petersen, S. R. (1995). *Life Cycle Costing Manual for the Federal Energy Program*. Washington: US.Government Printing Office.
- Gunawan, B., Budiharjo, Juwana, J. S., Priatman, J., Sujatmiko, W., & Sulistiyanto, T. (2012). *Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia*. Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia.
- Iskandar, A. (2015). Studi Komparasi Life Cycle Cost pada Gedung Apartemen. *Dimensi Utama Teknik Sipil*.2(1),1-8.
- ISO. (2008). *ISO 15686-5:2008 Buildings and Constructed Assets — Service-Life Planning — Part 5: Life-Cycle Costing*. Retrieved July 29, 2019 from ISO: <https://www.iso.org/standard/39843.html>
- Indonesia. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2011). *Pemborosan Energi 80 Persen Faktor Manusia*. Retrieved July 21, 2019 from <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/pemborosan-energi-80-persen-faktor-manusia>
- Kirk, S. J., & Dell'isola, A. J. (1995). *Life Cycle Costing for Design Professionals*, 2nd ed. United State: McGraw-Hill.
- Lechner, N. (2009). *Heating, Cooling, Lighting Sustainable Design Methods for Architects*. United Kingdom: John Wiley and Sons Ltd.
- McQuiston, F. C., Parker, J. D., & Spitler, J. D. (2005). *Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design*, sixth edition. United State of America: Argosy Publishing.
- New South Wales Treasury. (2004). *Life Cycle Costing Guidelines*. New South Wales: NSW Treasury.
- Norman, G. (1990). *Life Cycle Costing*. Emerald.
- Patrick, D. R., & Fardo, S. W. (1982). *Energy Management and Conservation*. Michigan: Prentice-Hall.
- Satori, I., & Hestnes, A. G. (2007). Energy Used in the Life Cycle of Conventional and Low-Energy Building. *Journal Energy and Building, Vol 39*, 249-257.
- Stanford University. (2005). *Guidelines for Life Cycle Cost Analysis*. (p. 14). California: Stanford University.
- Susanto, Y. R. (2012). *Optimasi Pencahayaan Alami dan Buatan pada Gedung Universitas Kristen Petra (p1 dan p2)*.(Tesis No. 01000179/MTS/2012).Unpublished thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Wikono, C. R. (2012). *Optimasi Hybrid Penghawaan dan Pencahayaan pada Gedung Universitas Kristen Petra (p1 & p2)*.(Tesis No. 01000178/MTS/2012). Unpublished thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.