



## Simulasi Audit Energi pada Rumah Sakit Umum Daerah Banyumas

### *Energy Audit Simulation at Banyumas Hospital*

Isra' Nuur Darmawan

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma Purwokerto  
isra.nuur.darmawan@unwiku.ac.id

#### Abstrak

Rumah Sakit memiliki konsumsi energi yang besar dan menurut Peraturan Pemerintah No.70 Tahun 2009 Pasal 12, termasuk kategori wajib melakukan manajemen energi. Manajemen harus dilakukan dengan tetap menjaga keamanan dan kenyamanan pasien selama perawatan untuk membantu proses penyembuhan pasien. Penelitian ini bertujuan menyimulasikan konsumsi energi dari RSUD Banyumas sebagai pertimbangan langkah penghematan energi dengan tetap menjaga kualitas pelayanan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan model 3D *DesignBuilder* yang dianalisis dengan *software EnergyPlus*. Digunakan data cuaca dari daerah Surakarta yang memiliki kemiripan iklim dengan Banyumas karena data *EnergyPlus* tidak memiliki rekam data Banyumas. Hasil simulasi penggunaan selama 1 tahun menunjukkan penggunaan energi sebesar 3.366.904,81 kWh, dengan 92% merupakan pendingin dan 8% merupakan pencahayaan. Skenario penghematan energi menggantikan *Constant Air Volume* menjadi *Variable Air Volume* menghasilkan 7,94% penghematan dengan nominal Rp. 247.293.126,57 dan nilai IKE sebesar 254,97 kWh/m<sup>2</sup> sehingga masih tergolong bangunan hijau menurut standar GBCI.

**Kata Kunci:** *design builder, EnergyPlus, penghematan energi, sistem CAV, sistem VAV.*

#### Abstract

Hospitals have a large energy consumption and according to Government Regulation No. 70 of 2009 Article 12, are included in the category of compulsory energy management. Management must be done while maintaining the safety and comfort of the patient during treatment to help the patient's healing process. This study aims to simulate the energy consumption of Banyumas Regional Hospital as a consideration for energy saving measures while maintaining service quality. Simulations are carried out using the *DesignBuilder 3D* model which is analyzed using *EnergyPlus* software. Weather data from the Surakarta area are used which have similar climates to Banyumas because *EnergyPlus* data does not have Banyumas data records. The simulation results for 1 year show that the energy use is 3,366,904.81 kWh, with 92% being coolant and 8% being lighting. The energy saving scenario replacing *Constant Air Volume* to *Variable Air Volume* results in 7.94% savings with a nominal value of Rp. 247,293,126.57 and the IKE value of 254.97 kWh / m<sup>2</sup> so that it is still classified as a green building according to GBCI standards.

**Keywords:** *design builder, EnergyPlus, saving energy, system CAV, system VAV.*

#### PENDAHULUAN

Permintaan energi meningkat setiap hari karena konsumsi energi semakin besar. Manajemen konsumsi energi merupakan masalah penting karena ada banyak manfaat untuk manajemen energi lingkungan, ekonomi, dan sosial. Rumah sakit adalah sektor utama yang mengonsumsi sejumlah besar energi dan berdasarkan PP no. 70 tahun 2009, wajib melakukan manajemen energi mulai dari konservasi, audit, rekomendasi audit berkala dan

pelaporan hasil audit energi ke pihak berwenang [1]. Sekitar 7% dari konsumsi listrik di semua bangunan komersial dikonsumsi oleh bangunan perawatan kesehatan. Penelitian terbaru yang membahas konsumsi energi dan mengevaluasi beberapa teknologi di rumah sakit mendapatkan hasil ada beberapa tantangan dalam pengelolaan energi di rumah sakit yang membuat proses manajemen lebih sulit dan rumit [2].

Mayoritas konsumsi energi di sektor bangunan pelayanan disebabkan tingginya intensitas energi di rumah

sakit dan fasilitas perawatan inap. Pada kasus di rumah sakit, tingginya konsumsi energi disebabkan oleh pola dan operasional berkesinambungan yang memerlukan permintaan energi berbeda dan substansial berdasarkan layanan khusus yang disediakan. Di samping itu, sistem penghangat ventilasi dan penyejuk udara yang mutakhir diperlukan untuk menjamin kualitas kontrol pada iklim internal rumah sakit [3]. Di waktu yang sama, perubahan udara yang tinggi dan infiltrasi menuntut tingkat kualitas udara dalam yang ketat. Hal ini dibutuhkan oleh fasilitas ruang operasi, kamar rawat inap, unit perawatan intensif, klinik rawat jalan, dll. Guna menjamin dan menjaga tingkat kualitas udara dalam ruangan, penggunaan pemanas dan pendingin yang kontinu, serta beban listrik untuk menjaga kenyamanan termal dibutuhkan konsumsi energi yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tipe bangunan lainnya [4,5].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem tata udara serta mendapatkan perkiraan konsumsi energi berdasarkan rancangan RSUD Banyumas menggunakan perangkat lunak *DesignBuilder* dengan *plug-in EnergyPlus*. Pada sistem tata udara akan dibuat dua pemodelan sistem yaitu CAV (*Constant Air Volume*) dan VAV (*Variable Air Volume*).

### Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan nilai konsumsi energi pada rancang bangun RSUD Banyumas dengan menggunakan simulasi *EnergyPlus* dengan skenario *Variable Air Volume* (VAV) dan *Constant Air Volume* (CAV).
2. Mengidentifikasi peluang penghematan energi dengan skenario CAV dan VAV
3. Mencari nilai penghematan energi yang dihasilkan dari penerapan CAV dan VAV.

### Rumah Sakit

Berdasarkan undang-undang No. 44 Tahun 2009 tentang rumah sakit [6], yang dimaksudkan dengan Rumah sakit adalah institusi pelayanan untuk kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan untuk individu secara paripurna, menyediakan layanan rawat inap, layanan rawat jalan, dan instalasi gawat darurat.

### Kenyamanan Bangunan

Pada umumnya merancang sebuah bangunan memiliki tujuan untuk mendapatkan kenyamanan maksimum untuk manusia. Sebenarnya ada dua aspek kenyamanan yang harus ada dalam karya arsitektur, yaitu kenyamanan fisik dan kenyamanan psikis. Kenyamanan psikis bersifat personal yang tidak terukur secara kuantitatif. Melainkan kenyamanan fisik lebih bersifat umum. Kenyamanan fisik meliputi:

- 1) Kenyamanan ruang (*spatial comfort*)

- 2) Kenyamanan penglihatan (*visual comfort*)
- 3) Kenyamanan pendengaran (*audio comfort*)
- 4) Kenyamanan termal (*thermal comfort*)

Pada penelitian Karyono [7], berpendapat bahwa standar kenyamanan *thermal* di Indonesia menggunakan standar Amerika [8] menyarankan suhu yang nyaman dengan tingkat temperatur antara 22,5°C sampai dengan 26°C.

### Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

IKE (Intensitas Konsumsi Energi) listrik adalah istilah yang merepresentasikan besarnya pemakaian energi dalam sebuah bangunan atau gedung yang telah diterapkan di banyak Negara, salah satunya dengan standar ASEAN-APEC. Satuan yang digunakan untuk mewakili nilai tersebut adalah kWh/m<sup>2</sup>/tahun [9].

Sebagai target besarnya Intensitas Konsumsi Energi (IKE) listrik yang diterapkan di Indonesia, menggunakan SNI 03-6196-2000 dengan target (IKE) listrik untuk bangunan gedung di Indonesia berdasarkan tipe atau jenis bangunannya adalah seperti Tabel 1 di bawah ini:

**Tabel 1.** Standar IKE Listrik pada Bangunan Gedung di Indonesia Tahun 2000

No	Jenis Gedung	IKE (kWh/m <sup>2</sup> per tahun)
1	Perkantoran	240
2	Pusat Perbelanjaan	330
3	Hotel dan apartemen	300
4	Rumah Sakit	380

### Simulasi Energi Bangunan

Rencana simulasi terdiri dari dua set simulasi terutama terdiri dari analisis kinerja energi bangunan: Simulasi awal dan simulasi energi. Simulasi awal dilakukan untuk mengalibrasi model maya, dari mana suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan udara, dan tingkat penerangan diperoleh untuk perbandingan dengan nilai yang terukur. Simulasi energi digunakan untuk memperkirakan konsumsi energi bangunan dan kenaikan panas [10,11].

Model yang dikembangkan untuk menyimulasikan pemindaian sistem energi bangunan dibagi ke dalam banyak jenis. Pada dasarnya, model digolongkan sebagai model fisik, simbolis, dan mental. Model simbolis relatif kurang kompleks dan karena itu sering digunakan. Model bisa menjadi model tematik dan non-matematis. Model simulasi dikalibrasi terhadap data konsumsi dikumpulkan dan pengukuran infiltrasi eksperimental dari bangunan yang sebenarnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan strategi insulasi dinding eksternal yang sesuai saja, penghematan energi hingga 30% direalisasikan [12].

## Sistem Tata Udara (HVAC)

Sistem tata udara atau biasa disebut dengan HVAC (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*) merupakan proses pengkondisian udara dengan parameter pemanasan (*heating*) dan pendinginan (*cooling*), humidifikasi (*humidifying*) dan dehumidifikasi (*dehumidifying*), pembersihan (*cleaning*), pergerakan udara (*air movement*), serta ventilasi (*ventilating*) [13]. Sistem pengkondisian ini bertujuan untuk mengendalikan dan mempertahankan temperatur dan kelembaban udara, pergerakan udara, kebersihan udara, tingkat kebisingan, dan tekanan diferensial di dalam ruang pada batas-batas yang telah ditetapkan untuk kenyamanan dan kesehatan pengguna ruang yang dikondisikan untuk beraktivitas dan produktif. Dalam aplikasinya, kenyamanan termal bagi penghuni didasarkan melalui dua hal, yaitu temperatur dan kelembaban. Manusia akan merasakan kenyamanan secara *thermal* jika temperatur ruangan antara 20–26°C, dengan kelembaban 45-55%, dan kecepatan udara 0,25 m/s.

Salah satu jenis sistem tata udara yang sering digunakan adalah jenis *all air system*, yaitu fluida yang didinginkan dan dialirkan ketiap-tiap ruangan berupa udara dingin. Udara tersebut didistribusikan melalui saluran udara atau *ducting*. Sistem tata udara *all air system* itu terbagi lagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Sistem *Constant Air Volume* (CAV)
2. Sistem *Variable Air Volume* (VAV)

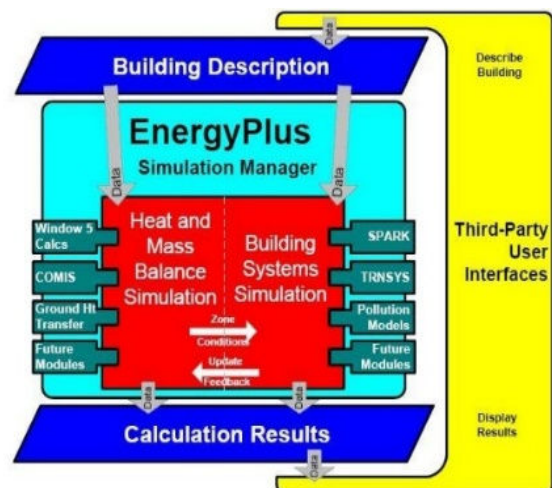
CAV adalah sistem tata udara *all air system* yaitu laju volume aliran udaranya konstan atau tetap sepanjang waktu AHU (*Air Handling Unit*) bekerja, hal ini dapat menjadi sistem boros energi dikarenakan beban berubah-ubah, sepanjang hari mulai dari beban pagi hari, dan beban puncak siang hari hingga beban pada sore hari.

VAV adalah sistem udara yang memvariasikan laju aliran volume udara sesuai dengan parameter kenyamanan termal ruangan yang telah ditentukan, sehingga terjadi pengurangan beban daya penggunaan listrik selama sistem beroperasi. Pengurangan beban daya yang terbesar berasal dari kipas karena dapat mengatur laju aliran udara.

Tujuan utama sistem HVAC adalah untuk menjaga suhu dan kadar air ruang bangunan sesuai dengan nilai ambang yang diinginkan, dengan mempertimbangkan pertimbangan terhadap gerak udara dan kualitas dan kebisingan. Perhitungan beban pendinginan dan pemanasan adalah basis desain utama dari sistem dan komponen HVAC. Alasan di balik melakukan perhitungan beban pendinginan dan pemanasan adalah untuk memastikan bahwa sistem HVAC yang dirancang sesuai tujuan yang dimaksudkan untuk mempertahankan kondisi kenyamanan yang dibutuhkan di dalam ruang bangunan [14].

Menggunakan teknik solusi terpadu di *EnergyPlus*, rujukan paling serius dari simulasi sekuensial BLAST dan DOE-2 dapat dipecahkan dan prediksi temperatur ruang yang tidak akurat karena tidak ada umpan balik dari modul HVAC terhadap perhitungan beban. Tepat prediksi suhu ruang sangat penting untuk rekayasa sistem hemat energi dan ukuran sistem, ukuran tanaman, kenyamanan penghuni dan kesehatan penghuni bergantung pada suhu ruang. Simulasi terpadu juga memungkinkan pengguna mengevaluasi sejumlah proses yang tidak bisa dilakukan oleh BLAST atau DOE-2 simulasi dengan baik.

Gambar 1 menunjukkan keseluruhan struktur program. *EnergyPlus* memiliki tiga komponen dasar yakni; manajemen simulasi, panas dan modul simulasi keseimbangan massa, serta modul simulasi sistem bangunan. Manajemen simulasi mengendalikan seluruh proses simulasi. Perhitungan keseimbangan panas didasarkan pada IBLAST dan versi penelitian BLAST dengan sistem HVAC yang terintegrasi dan disimulasikan pada beban bangunan [15].



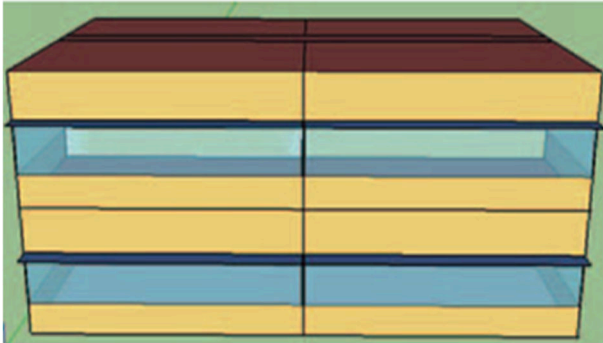
Gambar 1. Gambaran umum sistem *EnergyPlus*

## Data HVAC Bangunan menggunakan *EnergyPlus*

Seperti yang telah diuraikan pada bagian Analisis Sensitivitas dan Validasi dari Model *EnergyPlus*. Jenis bangunan di seluruh dunia menyumbang porsi signifikan dari total konsumsi energi, yaitu sekitar 30-40%. Bangunan Singapura menghabiskan lebih dari 30% total daya Singapura di tahun 2012, yaitu sebesar 42,6 miliar kWh. Pada tahun 2010, *Business Monitor International* (BMI) memperkirakan bahwa antara tahun 2010 dan 2014, total konsumsi energi Singapura akan meningkat sebesar 12% karena kenaikan populasi. Sistem Pemanasan, Ventilasi dan penyejuk udara (HVAC) mengonsumsi sekitar 40% sampai 50% dari total energi yang dikonsumsi oleh bangunan.

Contoh model bangunan, tipe umum yang digunakan dalam pekerjaan ini, ditunjukkan pada Gambar 2. Materi

bangunan sama seperti biasanya digunakan dalam konstruksi, seperti beton, gips, kaca, insulasi atap, dan begitu seterusnya. Sifat bahan bangunan seperti panas, kerapatan dan konduktivitas spesifik akan diatur ke faktor normal. Untuk seluruh bangunan, ada dua lantai, masing-masing lantai memiliki 4 kamar kecil, 2 kamar berada di depan, dan yang lainnya ada di belakang, dengan tangga di antaranya. Tiga sisi permukaan masing-masing ruangan akan dihiasi dengan jendela. Jadi, untuk model bangunan ini, permukaannya akan terpapar sinar matahari dan angin, atau tidak.



Gambar 2. Membangun konstruksi model *EnergyPlus*

Model HVAC memuat profil berbagai jenis bangunan, yaitu perumahan dan komersial yang dikembangkan dan dianalisis. Perangkat lunak *EnergyPlus* digunakan untuk simulasi dan analisis. Dari analisis terperinci, di bangunan tempat tinggal, peralatan listrik tidak akan lama digunakan dalam kehidupan sehari-hari, namun sistem HVAC berjalan untuk jangka waktu lama. Jadi, bobot pada total energi fasilitas akan lebih tinggi [16]. Bangunan komersial akan sedikit berbeda, karena banyak jenis peralatan listrik yang digunakan selama jam kerja. Konsumsi energi akan tinggi, dan akibatnya akan menyebabkan persentase konsumsi energi sistem HVAC lebih rendah dibandingkan dengan bangunan residensial. Percobaan yang berbeda dilakukan, dalam hal mengubah suhu operasi, dan mengubah jadwal. Perbedaan dalam pemanfaatan energi dicatat. Antara bangunan residensial dan komersial yang terakhir menunjukkan dampak akhir pekan pada konsumsi energi. Dengan demikian, penjadwalan yang berbeda untuk hari kerja dan akhir pekan dapat diimplementasikan di gedung komersial untuk mendapatkan lebih banyak penghematan energi [17].

Metode yang dapat mengurangi pengeluaran pada objek tertentu dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu metode pada tingkat kamar dan metode di tingkat bangunan. Metode di tingkat ruang kontrol pemanasan dan pendinginan hanya dalam satu ruangan (misalnya, sensor kehadiran yang mengendalikan radiator *valve*), sedangkan metode lainnya mengurangi konsumsi energi untuk keseluruhan bangunan, seperti suhu air *chiller* manajemen tergantung pada suhu sekitar. Cara pengurangan konsumsi

semua sumber energi di Bangunan dapat dicapai sangat banyak, dan ruang lingkup dan peluang untuk mengembangkan teknologi baru tumbuh hampir setiap hari.

Berdasarkan hal tersebut di atas, dua tujuan ditetapkan sebagai subjek penelitian ini adalah.

1. Membuat alat sederhana yang bisa digunakan untuk pemodelan bangunan, estimasi konsumsi energi dan pilihan penghematan; mendefinisikan model matematis (empiris atau eksperimental) yang dapat menggambarkan metode terbaik yang menggunakan penghematan yang dapat dicapai; dan menerapkan sistem saran ahli untuk membantu menentukan solusi terbaik untuk objek yang diberikan.

2. Mengalibrasi alat dengan menggunakan solusi perangkat lunak yang ada (bagian dari penilaian konsumsi energi), dengan menggunakan data yang diperoleh dari lapangan (bagian dari penilaian tabungan), dan akhirnya untuk benar-benar memverifikasi keseluruhan masalah dalam praktik [18].

## METODE PENELITIAN

Metodologi yang diusulkan dalam penelitian ini didasarkan pada simulasi komputer menggunakan *EnergyPlus*. Berkenaan dengan simulasi gedung rumah sakit, *EnergyPlus* adalah perangkat lunak yang baik dan diakui dalam analisis energi bangunan karena bebas memodelkan pemanasan, pendinginan, pencahayaan, ventilasi dan energi lainnya mengalir serta air pada bangunan [19,20].

## Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Bahan Penelitian

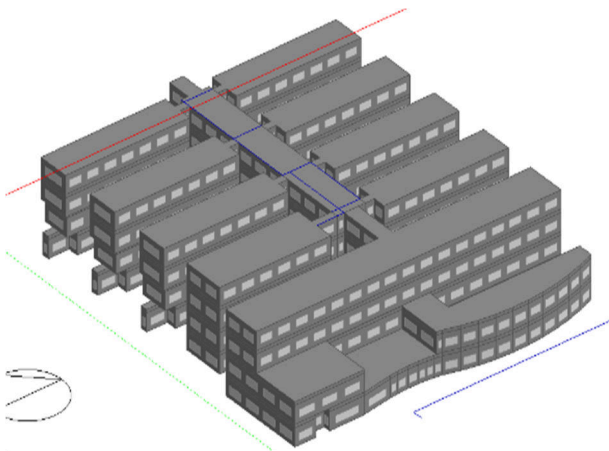
No	Bahan Penelitian	Sumber Bahan
1	Gambar tata letak bangunan rancang bangun RSUD Banyumas	Kantor DPU (Dinas Pekerjaan Umum) Banyumas
2	Gambar potongan bangunan rancang bangun RSUD Banyumas	Kantor DPU (Dinas Pekerjaan Umum) Banyumas
3	Data cuaca daerah Surakarta	Forum Grup Yahoo <i>EnergyPlus</i>
4	Standar sistem pencahayaan dan tata udara	SNI

## Deskripsi Bangunan

Gedung Rumah Sakit Banyumas di koordinat 7.5290975253607595 Lintang Selatan dan 109.29241314232799 Lintang Utara. Luas Gedung Rumah Sakit Banyumas terukur 20.974 m<sup>2</sup>. Gedung ini memiliki 4 lantai yang masing-masing lantai memiliki berbagai ruangan sesuai dengan fungsinya.

Model geometri bangunan Rumah sakit dibuat dengan perangkat lunak *DesignBuilder* yang dilengkapi dengan plug-in *EnergyPlus*. *DesignBuilder* menerjemahkan beberapa fitur pemodelan yang disediakan di *EnergyPlus*, sehingga dapat diinput tanpa harus membuka window editor *EnergyPlus*. Fitur-fitur yang disediakan seperti zona, material, dan konstruksi.

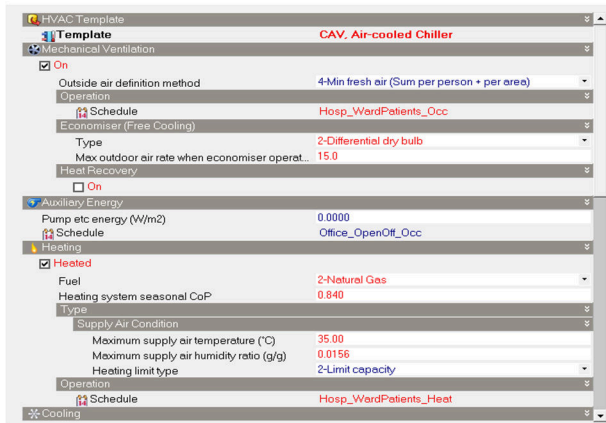
Pada model bangunan Rumah Sakit Banyumas gedung dibuat berdasarkan *AsBuild Drawing* yang didapatkan dari pihak DPU (Dinas Pekerjaan Umum) Banyumas. Guna menyesuaikan kemampuan *software EnergyPlus*, maka dilakukan *sampling* pada model bangunan. Sampling dilakukan karena keterbatasan *software* untuk melakukan simulasi. Model ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Model simulasi RSUD Banyumas

**Pemodelan Sistem Tata Udara**

Dalam menyimulasikan model sistem udara, digunakan objek HVAC *Template*. Objek HVAC *Template* merupakan objek *EnergyPlus* yang dimaksudkan untuk tipe HVAC yang “umum” dan memiliki input minimal. Berdasarkan data yang diperoleh maka objek HVAC *Template* yang dipilih untuk penyusunan model sistem tata udara Rumah Sakit Banyumas Gedung L1 disajikan dalam Gambar 4.



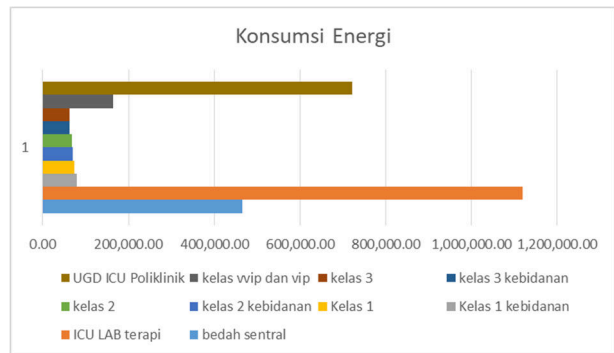
**Gambar 4.** Template model simulasi RSUD Banyumas

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Simulasi *EnergyPlus* dengan *Template* HVAC jenis VAV**

**Konsumsi Energi Sistem Tata Udara**

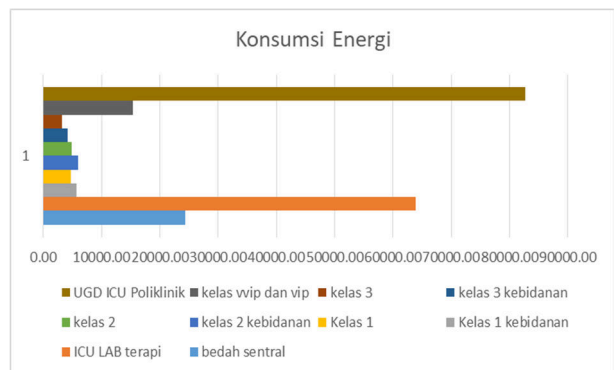
Pada konsumsi energi sistem tata udara bangunan Rumah Sakit Banyumas, didapatkan jumlah konsumsi energi total sebesar 2.884.382,13 kWh untuk sistem tata udara. Konsumsi energi tata udara setiap tahunnya meliputi komponen yang beroperasi pada sistem tersebut, yaitu *heating* dan *cooling*. Data tiap komponen disajikan dalam Gambar 5.



**Gambar 5.** Konsumsi energi listrik sistem tata udara

**Konsumsi Energi Sistem Tata Cahaya**

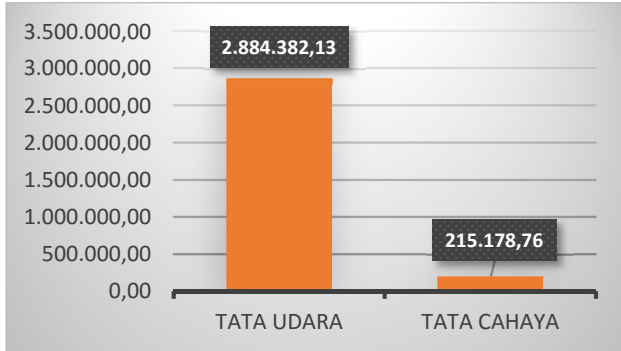
Konsumsi energi pada sistem tata cahaya bangunan Rumah Sakit Banyumas disajikan dalam rentang per-tahunnya. Konsumsi energi sistem tata cahaya dibagi berdasarkan zona termal dengan menggunakan penerangan dalam (*interior lights*), yaitu zona UGD ICU Poliklinik, zona kelas VVIP dan VIP, zona kelas 3, zona kelas 3 kebidanan, zona kelas 2, zona kelas 2 kebidanan, zona kelas 1, zona kelas 1 kebidanan, zona ICU Lab terapi, zona bedah sentral. Konsumsi energi tertinggi untuk sistem tata cahaya terjadi pada zona ICU Lab Terapi, yaitu sebesar 63.876,75 kWh. Sedangkan konsumsi paling rendah adalah zona kelas 3, yaitu sebesar 3280,76 kWh. Total konsumsi energi sistem tata cahaya ditunjukkan pada Gambar 6, dengan nilai mencapai 215.178,76 kWh per-tahunnya.



**Gambar 6.** Konsumsi energi listrik sistem tata cahaya

### Konsumsi Energi Keseluruhan Bangunan

Konsumsi energi pada keseluruhan bangunan dibagi untuk setiap sistem. Konsumsi energi paling tinggi adalah 93% untuk sistem tata udara dan untuk yang paling rendah 7% untuk sistem tata cahaya. Pembagian konsumsi energi keseluruhan bangunan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Konsumsi energi listrik seluruh bangunan

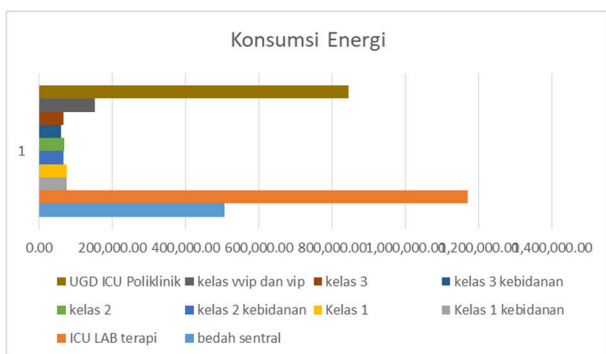
### Intensitas Konsumsi Energi Bangunan

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) menjadi salah satu parameter yang menentukan kinerja energi di bangunan (*building energy performance*). IKE merupakan nilai total konsumsi energi bangunan dibagi dengan luas lantai bangunan selama satu tahun sehingga satuan untuk menyatakan nilai IKE adalah kWh/m<sup>2</sup>/tahun [10]. Nilai IKE untuk simulasi bangunan Rumah Sakit Banyumas adalah 253,97 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Nilai ini dihitung dari nilai konsumsi energi keseluruhan Rumah Sakit Banyumas yang bernilai 3.099.560,89 kWh dibagi luas total lantai sebesar 12.204,26 m<sup>2</sup>.

### Hasil Simulasi EnergyPlus dengan Template HVAC jenis CAV

#### Konsumsi Energi Sistem Tata Udara

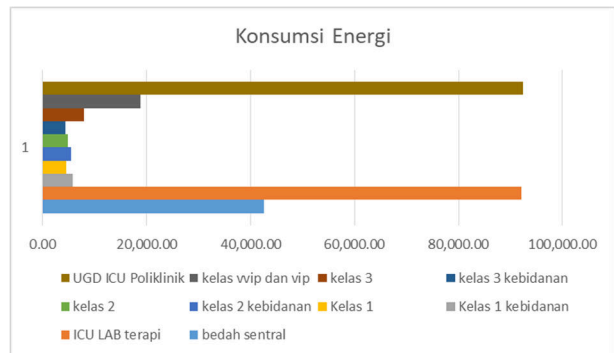
Dengan sistem CAV konsumsi energi sistem tata udara pada bangunan Rumah Sakit Banyumas menghasilkan nilai 3.088.064,89 kWh. Konsumsi energi tata udara setiap tahunnya meliputi komponen yang beroperasi pada sistem tersebut, yaitu *heating* dan *cooling*. Data tiap komponen disajikan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Konsumsi energi listrik sistem tata udara

### Konsumsi Energi Sistem Tata Cahaya

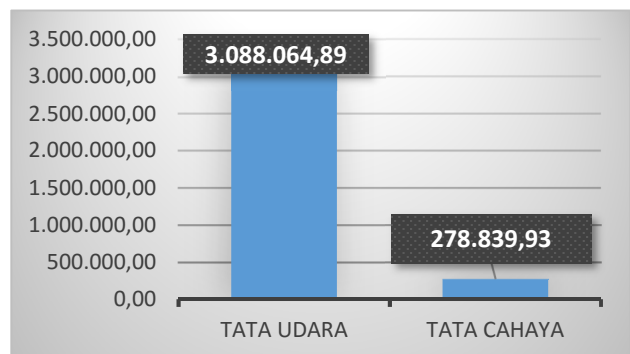
Konsumsi energi pada sistem tata cahaya bangunan Rumah Sakit Banyumas disajikan dalam rentang per-tahunnya. Konsumsi energi sistem tata cahaya dibagi berdasarkan zona termal dengan menggunakan penerangan dalam (*interior lights*), yaitu zona UGD ICU Poliklinik, zona kelas VVIP dan VIP, zona kelas 3, zona kelas 3 kebidanan, zona kelas 2, zona kelas 2 kebidanan, zona kelas 1, zona kelas 1 kebidanan, zona ICU Lab terapi, zona bedah sentral. Konsumsi energi tertinggi untuk sistem tata cahaya terjadi pada zona ICU Lab Terapi, yaitu sebesar 92.148,79 kWh. Sedangkan konsumsi paling rendah adalah zona kelas 3 kebidanan, yaitu sebesar 4.328,28 kWh. Total konsumsi energi sistem tata cahaya ditunjukkan pada Gambar 9, dengan nilai mencapai 278.839,93 kWh per-tahunnya.



Gambar 9. Konsumsi energi listrik sistem tata cahaya

#### Konsumsi Energi Keseluruhan Bangunan

Konsumsi energi pada keseluruhan bangunan dibagi untuk setiap sistem. Konsumsi energi paling tinggi adalah 92% untuk sistem tata udara dan untuk yang paling rendah 8% untuk sistem tata cahaya. Pembagian konsumsi energi keseluruhan bangunan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Konsumsi energi listrik seluruh bangunan

### Intensitas Konsumsi Energi Bangunan

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) menjadi salah satu parameter yang menentukan kinerja energi di bangunan (*building energy performance*). IKE merupakan nilai total konsumsi energi bangunan dibagi dengan luas lantai

bangunan selama satu tahun sehingga satuan untuk menyatakan nilai IKE adalah kWh/m<sup>2</sup>/tahun [10]. Nilai IKE untuk simulasi bangunan Rumah Sakit Banyumas adalah 275,88 kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Nilai ini dihitung dari nilai konsumsi energi keseluruhan Rumah Sakit Banyumas yang bernilai 3.366.904,81 dibagi luas total lantai sebesar 12.204,26 m<sup>2</sup>.

**Analisis Sistem Constant Air Volume (CAV) dibandingkan Sistem Variable Air Volume (VAV)**

Penghematan konsumsi energi bangunan Rumah Sakit Banyumas dengan penerapan sistem VAV ditunjukkan oleh Tabel 3.

**Tabel 3.** Perbandingan Konsumsi Energi Sistem CAV dan VAV

Parameter	Sistem HVAC		Penghematan	
	CAV	VAV	kWh	%
Konsumsi energi sistem tata udara	3.088.064,89	2.884.382,13	203.682,76	6,6
Konsumsi energi sistem tata cahaya	278.839,93	215.178,76	63.661,16	22,83
Konsumsi energi keseluruhan bangunan	3.366.904,81	3.099.560,89	267.343,92	7,94

Nilai yang dihasilkan VAV lebih rendah dibandingkan dengan nilai yang dihasilkan CAV, karena berdasarkan simulasi yang dijalankan melalui *software EnergyPlus* VAV mempertimbangkan kondisi iklim, waktu operasional, waktu puncak beban, dan faktor lainnya dalam mempekerjakan AHU. Dibandingkan dengan CAV yang menjalankan AHU secara konstan sepanjang hari, total penggunaan energi yang dibutuhkan akan menjadi lebih sedikit.

Nilai penghematan energi sistem keseluruhan bangunan adalah sebesar 267.343,92 kWh atau 7,94 % per tahun. Penghematan konsumsi energi pada simulasi bangunan Rumah Sakit Banyumas yang menerapkan sistem VAV mencapai 962,44 GJ/tahun, dengan asumsi tarif dasar listrik sosial (bersubsidi) Rp. 925,00 / kWh maka dapat menghemat Rp. 247.293.126,57 per tahun.

**PENUTUP**

**Simpulan**

1. Dengan menggunakan perangkat *EnergyPlus* dengan parameter yang diberikan, konsumsi energi keseluruhan simulasi bangunan Rumah Sakit Banyumas sebesar 3.099.560,89 kWh dengan nilai IKE mencapai 253,97 kWh/m<sup>2</sup>/tahun untuk VAV dan 3.366.904,81 kWh dengan nilai IKE mencapai 275,88 kWh/m<sup>2</sup>/tahun untuk CAV.

2. Penerapan strategi penghematan konsumsi energi listrik keseluruhan bangunan pada simulasi RSUD Banyumas mencapai penghematan sebesar 7,94% dari selisih antara CAV dan VAV atau setara Rp. 247.293.126,57 per tahun.
3. Konsumsi energi untuk sistem tata udara merupakan konsumsi yang terbesar dengan nilai konsumsi sebesar 93% (VAV) dan 92% (CAV) dari total konsumsi energi keseluruhan bangunan, disusul dengan konsumsi energi listrik sistem tata cahaya sebesar 7% (VAV) dan 8% (CAV).
4. Dari hasil simulasi ditemukan bahwa dengan menerapkan sistem VAV pada bagian HVAC RSUD Banyumas, dapat dilakukan konservasi energi dengan tetap menjaga indeks IKE sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 70 tahun 2009.

**Saran**

Sistem *Variable Air Volume* (VAV) merupakan sistem yang cocok untuk di terapkan pada masterplan bangunan RSUD Banyumas dibandingkan sistem *Constant Air Volume* (CAV).

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2009 Tentang Konservasi energi, Ed., "www.bpkp.go.id," Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2009 Tentang Konservasi Energi, 2009.
- [2] S. Alhurayess and M. Darwish, "Analysis of energy management in hospitals," *47th Int. Conf. Univ. Power Eng. Conf.*, pp. 1–4, 2012, doi: 10.1109/UPEC.2012.6398665.
- [3] M. M. Rahman, M. G. Rasul, and M. M. K. Khan, "Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 10, pp. 2994–3004, 2010, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.04.005.
- [4] M. A. Aktacir, O. Büyükalaca, and T. Yilmaz, "Life-cycle cost analysis for constant-air-volume and variable-air-volume air-conditioning systems," *Appl. Energy*, vol. 83, no. 6, pp. 606–627, 2006, doi: 10.1016/j.apenergy.2005.06.002.
- [5] A. Buonomano, F. Calise, G. Ferruzzi, and A. Palombo, "Dynamic energy performance analysis: Case study for energy efficiency retrofits of hospital buildings," *Energy*, vol. 78, pp. 555–572, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.10.042.
- [6] Depkes, "Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2009 Tentang Rumah Sakit," p. 1, 2009, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [7] Tri Harso Karyono, "Penelitian Kenyamanan Termis Di Jakarta Sebagai Acuan Suhu Nyaman Manusia Indonesia," *Dimens. (Jurnal Tek. Arsitektur)*, vol. 29,

- no. 1, pp. 24–33, 2001.
- [8] D. B. Crawley *et al.*, “EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program,” *Energy Build.*, vol. 33, no. 4, pp. 319–331, 2001, doi: 10.1016/S0378-7788(00)00114-6.
- [9] E. Efendi, “Audit Sistem Pencahayaan dan Sistem Pendingin Ruangan di Gedung Rumah Sakit Umum Daerah ( RSUD ) Cilegon,” vol. 2, no. 2, pp. 21–27, 2013.
- [10] J. Cárdenas, G. Osma, C. Caicedo, A. Torres, S. Sánchez, and G. Ordóñez, “Building energy analysis of Electrical Engineering Building from DesignBuilder tool: Calibration and simulations,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 138, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1757-899X/138/1/012013.
- [11] W. Pereira, A. Bögl, and T. Natschläger, “Sensitivity analysis and validation of an EnergyPlus model of a house in Upper Austria,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 472–481, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.409.
- [12] W. A. Friess, K. Rakhshan, T. A. Hendawi, and S. Tajerzadeh, “Wall insulation measures for residential villas in Dubai: A case study in energy efficiency,” *Energy Build.*, vol. 44, no. 1, pp. 26–32, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.005.
- [13] S. K. Wang, *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*. 2000.
- [14] V. S. K. V. Harish and A. Kumar, “A review on modeling and simulation of building energy systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 56, pp. 1272–1292, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.12.040.
- [15] D. B. Crawley *et al.*, “EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program,” *Energy Build.*, vol. 33, no. 4, pp. 319–331, 2001, doi: 10.1016/S0378-7788(00)00114-6.
- [16] V. Martinaitis, E. K. Zavadskas, V. Motuzienė, and T. Vilutienė, “Importance of occupancy information when simulating energy demand of energy efficient house: A case study,” *Energy Build.*, vol. 101, pp. 64–75, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.04.031.
- [17] D. Wang, A. Ukil, and U. Manandhar, “Building HVAC load profiling using EnergyPlus,” *Proc. 2015 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia, ISGT ASIA 2015*, 2016, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2015.7386983.
- [18] V. Čongradac, B. Prebiračević, N. Jorgovanović, and D. Stanišić, “Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals,” *Energy Build.*, vol. 48, pp. 146–154, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.01.022.
- [19] A. Boyano, P. Hernandez, and O. Wolf, “Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations,” *Energy Build.*, vol. 65, pp. 19–28, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.05.039.
- [20] N. Fumo, P. Mago, and R. Luck, “Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models,” *Energy Build.*, vol. 42, no. 12, pp. 2331–2337, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.07.027.