

ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI BEBAN PENYEJUKAN PADA BANGUNAN YANG MENGGUNAKAN SISTEM PENGKONDISIAN UDARA (Studi kasus Gedung Kantor Pusat Politeknik Negeri Manado)

M.Y.Noorwahyu Budhyowati¹⁾, J.I.Kindangen, A.E.Tungka²⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Arsitektur Pascasarjana Unsrat

²⁾ Staf Pengajar Program Studi Arsitektur Pascasarjana Unsrat

Abstract

Indonesia has temperatures 24-32°C, air humidity 60-95% and low wind speeds. Thermally comfortable zone boundary is $24^{\circ}\text{C} < T < 26^{\circ}\text{C}$, $40\% < \text{RH} < 60\%$, $0,6 < V < 1,5\text{m/s}$. This condition causing the climate of Indonesia becomes uncomfortable. Air conditioning system (AC) is needed to help maintain thermal comfort. The drawback using air conditioning is the wasteful energy use, can reach 60% of total building energy. The amount of electricity used by AC depends on the amount of heat that must be removed to produce cool air. This research aims to analyze the factors that affect the cooling load on the building and get a reference to the way reducing the cooling load, so that the use of electricity more effectively and efficiently.

This research conducted by quantitative method with using a case study approach. The focus of research on the orientation of the building as well as the materials and construction techniques used in building walls. The data field collection in object research of Central Office Building of Manado State Polytechnic. Data processing and analysis using descriptive analysis. Data collection are divided on primary data that used in analysis, and secondary data that used as standards/ guidelines for analysis.

The results are cooling load on the object of study largely derived from solar radiation heat that into the building, occurred because the building elongated facade orientation tends to block the paths of the sun. Affect the amount of solar radiation intensity received of the building. Most of the walls of buildings using glass and no horizontal exterior shading to protect the vertical rays, thus allowing direct solar radiation through the glass and into the building.

The conclusions are that the biggest influenced on the cooling load in the Central Office Building of Manado State Polytechnic caused by the orientation of the building that allows the large amount of solar radiation touch the surface area of the glass.

Cooling load reduction could be done in a way; make the horizontal exterior shading but it could change the look of the building facade, or improve the quality of glass within; replacing single glass with double glass or changing the type of glass material, or paste the window film on glass that could be rejected infrared rays.

Keywords : cooling load, air conditioning system

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia merupakan negara beriklim tropis lembab dengan suhu udara berkisar 24-32°C, kelembaban udara 60-95%, dan kecepatan angin yang rendah. Kondisi ini menyebabkan iklim Indonesia secara termal menjadi tidak nyaman, karena tidak berada pada zona dimana komposisi udara nyaman secara termal. Kebutuhan kenyamanan termal untuk daerah tropis lembab dapat dicapai dengan batas $24^{\circ}\text{C} < T < 26^{\circ}\text{C}$, $40\% < \text{RH} < 60\%$, $0,6 < V < 1,5\text{m/s}$ (Satwiko, 2008).

Pencapaian kenyamanan termal dalam bangunan, dapat diusahakan dengan memasang mesin pengkondisian udara, namun sangat dibutuhkan upaya penggunaannya sehingga menjadi lebih efektif dan efisien karena kekurangan mesin ini terutama pada penggunaan energi listrik yang boros. Besarnya penggunaan listrik tergantung pada besar panas yang harus dikeluarkan mesin AC untuk menghasilkan udara sejuk sesuai kebutuhan suhu ruang. Pemahaman tentang beban penyejukan AC sangat dibutuhkan agar dapat diupayakan cara pengurangannya, sehingga kerja mesin AC menjadi ringan, listrik yang digunakan pun menjadi kecil.

Perumusan Masalah

Penggunaan energi listrik dalam proses pengoperasian AC pada bangunan tergantung pada besarnya beban penyejukan. Pertanyaannya adalah; bagaimana cara memahami beban penyejukan

pada bangunan yang menggunakan sistem pengkondisian udara, dan bagaimana cara mengurangi beban penyejukan, sehingga penggunaan listrik bisa efektif dan efisien ?

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi beban penyejukan pada bangunan yang menggunakan sistem pengkondisian udara.
2. Mendapatkan acuan cara mengurangi beban penyejukan, sehingga penggunaan listrik bisa efektif dan efisien.

Manfaat Penelitian

1. Menambah wawasan mengenai faktor-faktor yang berpengaruh terhadap beban penyejukan AC.
2. Mendapat acuan cara mengurangi beban penyejukan pada bangunan ber-AC untuk mengurangi penggunaan listrik pada bangunan.
3. Berpartisipasi dalam program pemerintah tentang konservasi energi terutama dalam penghematan penggunaan listrik.
4. Dapat digunakan sebagai bahan kajian untuk penelitian lebih lanjut.

Batasan Penelitian

1. Analisis terhadap faktor terbesar yang berpengaruh pada beban penyejukan yaitu orientasi bangunan, bahan dan teknik konstruksi yang digunakan pada dinding bangunan.
2. Studi kasus yaitu Gedung Kantor Pusat Politeknik Negeri Manado, ruang yang diukur hanya pada ruang-ruang yang digunakan secara terus menerus oleh staf administrasi (lantai 2), dengan dinding pembatas luar yang mewakili sisi orientasi tertentu bangunan.

LANDASAN TEORI

Sistem Pengkondisian Udara

Kenyamanan termal dalam ruang dapat diciptakan dan dipertahankan dengan menggunakan sistem penghawaan yang dapat menyediakan kebutuhan udara segar yang sesuai dengan kebutuhan kenyamanan dalam ruang. Sistem penghawaan dapat dilakukan secara mekanis yang disebut Pengkondisian Udara (*Air Conditioning*), yaitu proses perlakuan terhadap udara di dalam bangunan untuk menciptakan kenyamanan bagi penghuninya. Prinsip utama mesin AC adalah mengangkut kelebihan panas (beban penyejukan atau *cooling load*) dari dalam ruang ke luar ruang.

Diagram Psikrometrik (*Psychrometric Chart*).

Diagram Psikrometrik adalah gambaran sifat-sifat termodinamika dari udara basah dan variasi sistem penyejukan udara. Diagram Psikrometrik dapat menjelaskan perubahan sifat-sifat udara yang penting, seperti suhu, rasio kelembaban, dan entalpi. Setiap titik pada diagram menunjukkan temperatur bola kering, temperatur bola basah, kelembaban relatif, kelembaban absolut (AH, *absolute humidity*) dan tekanan uap (*vapour pressure*). Selisih suhu bola kering dan suhu bola basah menunjukkan kelembaban udara. Jika suhu kedua bola sama berarti kelembaban relatifnya 100%. Pada saat itu uap air akan segera mengembun (Bradshaw, 1993).

Beban Penyejukan (*Cooling Load*).

Proses penyejukan pada mesin AC, intinya udara panas didalam ruangan dihisap kemudian diolah menggunakan komponen-komponen AC. Udara panas yang dihisap inilah yang menjadi beban penyejukan pada AC yaitu panas yang harus dibuang oleh AC dari dalam ruang keluar ruang agar suhu udara tetap dalam batas kenyamanan termal.

Beban penyejukan ruangan dibagi dalam 2 bagian yaitu :

1. Beban penyejukan luar (*external cooling load*).
Beban penyejukan ini terjadi akibat penambahan panas dalam ruangan yang dikondisikan karena sumber kalor dari luar yang masuk melalui selubung bangunan, partisi, ventilasi dan infiltrasi.
2. Beban penyejukan dalam (*internal cooling load*).
Beban penyejukan ini terjadi karena panas dari sumber yang ada dalam ruangan, yaitu manusia, penerangan, peralatan.

Faktor- faktor yang Mempengaruhi Beban Penyejukan

1. Faktor dari Luar (*external factor*): Panas bersal dari matahari (*solar heat gain*).

Panas yang masuk ke dalam ruangan menjadi beban panas dalam bangunan. Aliran Panas (*heat transfer*) didefinisikan sebagai perpindahan energi antara dua daerah karena perbedaan suhu (Bradshaw, 1993). Pada daerah dengan suhu rendah (dingin) mengandung energi panas lebih sedikit daripada daerah yang bersuhu tinggi (hangat). Perpindahan panas selalu terjadi dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah. Perpindahan panas tidak lagi terjadi antara dua daerah yang terisolasi satu sama lain, dan memiliki suhu yang sama. Keadaan ini dikatakan berada dalam keadaan kesetimbangan termal. Perpindahan panas dapat terjadi melalui media apapun yang memisahkan dua daerah.

Emisivitas Bahan. Material diatas suhu nol mutlak memancarkan radiasi elektromagnetik. Emisivitas (ϵ) permukaan adalah kemampuan material untuk meradiasikan kembali energi yang diserapnya. Nilai maksimum emisivitas permukaan benda hitam sempurna yang dipancarkan adalah 1,0 sementara obyek yang sesungguhnya memiliki nilai emisivitas kurang dari satu (ASHRAE Handbook Committee, 2001).

Proses perpindahan panas. Perpindahan panas ke dalam bangunan terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Radiasi matahari yang mengenai kaca sebagian akan dipantulkan kembali ke lingkungan (*reflected*), sebagian akan diserap oleh bahan (*absorbed*), dan sebagian lagi akan diteruskan oleh kaca ke dalam bangunan (*transmitted*). Panas yang diteruskan oleh kaca ini menjadi beban penyejukan dalam bangunan. Besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = A \cdot SHGF \cdot SC \quad (1)$$

Radiasi matahari yang mengenai dinding sebagian akan dipantulkan kembali ke lingkungan (*reflected*), sebagian akan dipancarkan kembali secara radiasi, juga secara konveksi oleh udara sekitar dinding, sebagian akan diserap oleh bahan (*absorbed*) dan akan masuk ke dalam bangunan secara konduksi. Besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_c = A \cdot U \cdot T \quad (2)$$

Meminimalkan penyerapan radiasi panas matahari dapat diusahakan antara lain dengan mengorientasikan bangunan ke arah Utara –Selatan, apabila orientasi Timur – Barat tidak dapat dihindari, usahakan sisi Timur–Barat bangunan terbayangi secara maksimal (Satwiko, 2008). Fasade terbuka sebaiknya menghadap ke Selatan atau ke Utara. Orientasi ini dapat meniadakan radiasi langsung dari cahaya matahari rendah dan konsentrasi tertentu yang menimbulkan penambahan panas (Lippsmeier, 1994).

Transmitan (*U-Value*). Bahan bangunan turut menentukan nilai transmitansi termal, kesalahan dalam menentukan transmitansi termal dapat menimbulkan kesalahan dalam perhitungan beban penyejukan. Angka konduktan elemen bangunan yang sudah memasukkan faktor konduktan permukaan disebut Transmitan (Transmittance, U), sehingga rumus perhitungan untuk transmitan adalah :

$$\text{Nilai U} = \frac{1}{\text{Nilai R}} \quad (3)$$

Bila elemen bangunan berlapis maka $U = 1 / R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

2. Faktor dari Dalam (*Internal Factor*)

Panas yang berasal dari dalam bangunan yaitu panas yang dihasilkan oleh: 1. Manusia, dimana tubuh melepas panas melalui empat cara yaitu konveksi, konduksi, radiasi, dan penguapan. 2. Penerangan, cahaya buatan menghasilkan panas dalam ruangan sehingga diperlukan pemilihan dan desain yang baik agar penggunaannya sesuai dengan tujuan yang dimaksud. 3. Peralatan, dimana pada saat digunakan dapat menghasilkan panas dalam ruang. Panas ini menjadi beban penyejukan mesin AC.

Metode Perhitungan Beban Penyejukan yang Digunakan.

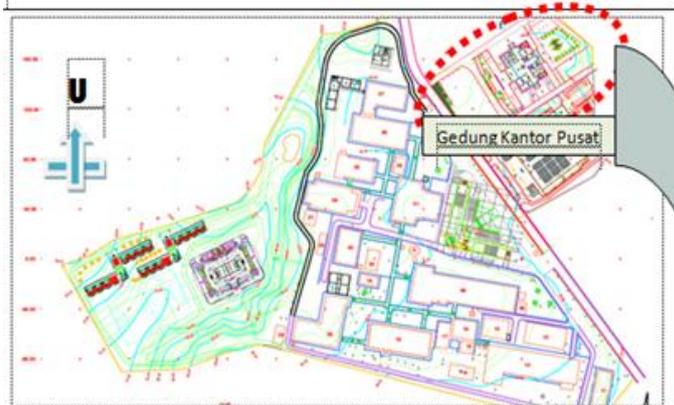
Metode perhitungan beban penyejukan mengacu pada ASHRAE Handbook Committee (2001), untuk bangunan non hunian (*nonresidential cooling load procedures*), juga oleh Satwiko (2008). Perhitungan menggunakan Metode Keseimbangan Termal (*Heat Balance Method of Cooling Load Calculation*).

Beban yang diperhitungkan adalah saat terjadi beban maksimum.
Untuk daerah tropis rumus yang digunakan :

$$Q_m = Q_i + Q_s + Q_c + Q_v \quad (4)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Manado, di Gedung Kantor Pusat Politeknik Negeri Manado, jalan Politeknik, kelurahan Buha, kecamatan Mapanget, Manado, Sulawesi Utara.



Lay Out Plan Kampus Politeknik Negeri Manado
Sumber: DED Politeknik Negeri Manado 2011



Gedung 4 lantai dengan *basement* yang juga dimanfaatkan sebagai ruang kerja. Total Luas bangunan 4800 m², digunakan sejak tahun 2013, berfungsi sebagai Kantor Pusat Administrasi Kampus.

Ruang yang diukur adalah ruang-ruang staf administrasi yang digunakan secara terus menerus selama kegiatan kerja dari jam 08.00-17.00, dengan dinding pembatas luar yang dapat mewakili masing-masing orientasi bangunan. Ruang-ruang tersebut berada di lantai 2.

Kenyamanan termal, gedung ini menggunakan sistem pengkondisian udara (AC). Dinyalakan dari awal kegiatan sampai berakhirnya kegiatan kerja. Penggunaan AC mempengaruhi besarnya energi listrik yang digunakan. Energi listrik yang digunakan tergantung pada besarnya beban penyejukan dalam ruangan yang dikondisikan.

Jenis / Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif. Menggunakan metode pendekatan studi kasus. Pengambilan data lapangan dilakukan melalui pengukuran di obyek studi. Pengolahan data menggunakan metode analisis deskriptif. Fokus penelitian pada orientasi bangunan serta bahan dan teknik konstruksi yang digunakan pada dinding bangunan. Kerangka Rancangan Penelitian dibuat untuk mencapai tujuan penelitian yang terdiri dari tahap awal penelitian berupa latar belakang dan perumusan masalah, tujuan, dan kajian pustaka. Tahap proses penelitian berupa pengumpulan data/informasi, analisis, dan hasil penelitian. Tahap akhir yaitu kesimpulan.

Variabel Penelitian : Orientasi bangunan, bahan dan teknik konstruksi yang digunakan pada dinding bangunan, dan faktor internal (manusia, penerangan, peralatan).

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan secara formal dan informal. Pengumpulan data diawali dengan identifikasi terhadap data-data yang dibutuhkan dalam proses penelitian. Data yang digunakan dibagi atas dua yaitu data primer merupakan data utama yang digunakan dalam proses analisis dan sekunder yaitu data yang digunakan sebagai standar dan pedoman dalam analisis.

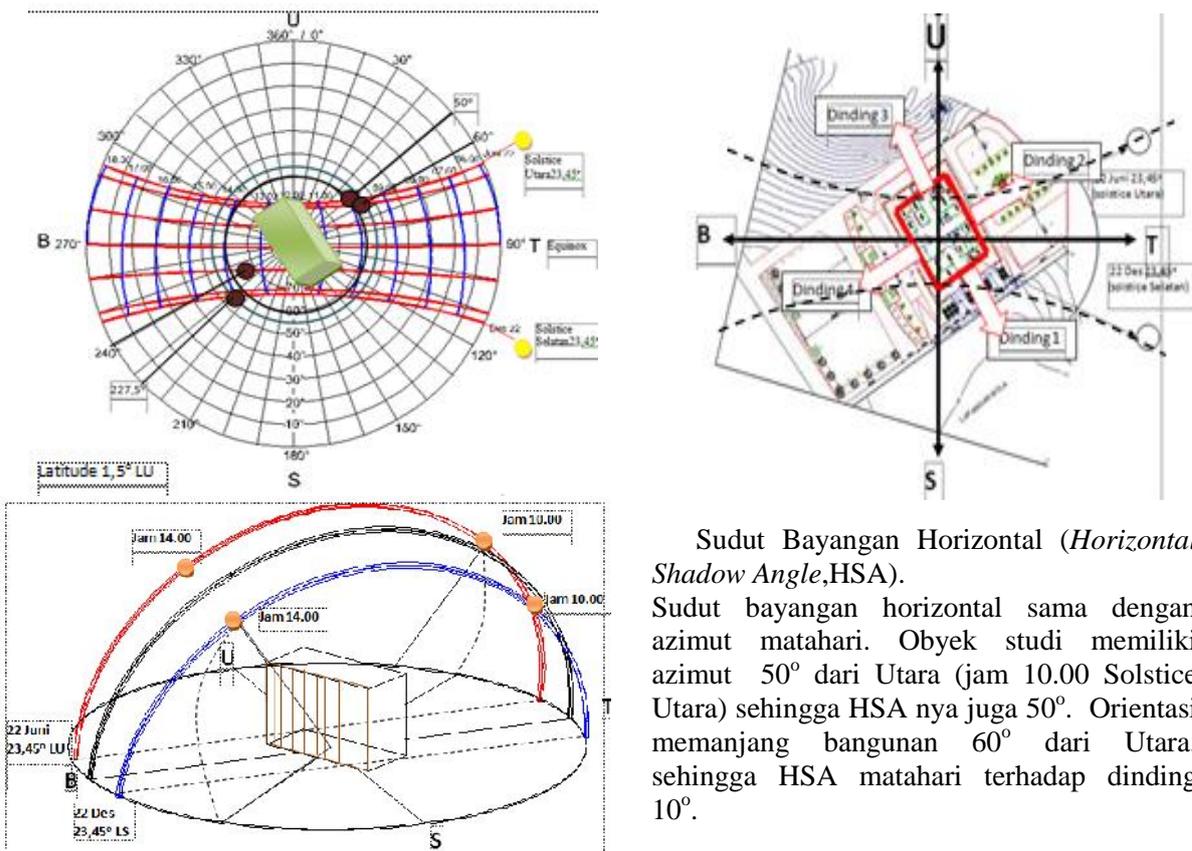
Peralatan dan Pengukuran

1. Seperangkat komputer dengan program-program yang digunakan untuk pengolahan data dan analisis yaitu program MS Excel, program MS Word, program Power Point, program The Psycho Tool (diagram psikrometrik), dan program Auto CAD untuk penggambaran.

2. Meter roll, digunakan untuk mengukur luasan dinding dan jendela untuk perhitungan beban penyejukan, juga untuk mengukur panjang pembayangan luar yang ada.
3. Skala Pengukuran :
 - 1) Perhitungan Nilai Transmitan (W/m^2K)
 Nilai transmitan digunakan untuk mengetahui kemampuan material mengalirkan panas ke dalam ruangan yang dapat menjadi beban panas dalam ruang.
 - 2) Perhitungan Beban Penyejukan (*Cooling Load*) menggunakan Metode Keseimbangan Termal dengan rumus untuk daerah tropis. Perhitungan beban penyejukan pada obyek studi digunakan hanya untuk mengetahui faktor-faktor terbesar yang berpengaruh pada beban panas dalam ruang dan dianalisis lebih lanjut sehingga mendapatkan cara efektif untuk mengurangi beban panas.
4. Faktor Pengukuran
 - 1) SNI 6389:2011 dan BMKG Sulut (intensitas radiasi matahari).
 - 2) Peraturan Menteri ESDM No.0031 tahun 2005 (suhu udara dalam ruang untuk perhitungan cooling load).
 - 3) ASHRAE Handbook Committee, 2001 (nilai k, faktor diversity peralatan kantor).
 - 4) Bradshaw, 1993 (nilai k, faktor SHGF, faktor diversity manusia dan lampu)
 - 5) Satwiko, 2008 (nilai k, nilai f_o , panas yang dikeluarkan karena aktivitas manusia, konduktan lapisan udara luar (f_o)).

HASIL dan PEMBAHASAN

Letak Geografis Kota Manado : $124^{\circ} 40' 55'' - 124^{\circ} 55' 54''$ BT dan $1^{\circ} 25' 43'' - 1^{\circ} 38' 56''$ LU (diambil $1,5^{\circ}$ LU)



Sudut Bayangan Horizontal (*Horizontal Shadow Angle, HSA*).

Sudut bayangan horizontal sama dengan azimuth matahari. Obyek studi memiliki azimuth 50° dari Utara (jam 10.00 Solstice Utara) sehingga HSA nya juga 50° . Orientasi memanjang bangunan 60° dari Utara, sehingga HSA matahari terhadap dinding 10° .

Pada 21 Mei jam 09.30 azimuth matahari 60° dari Utara sehingga HSA nya juga 60° . Orientasi memanjang bangunan 60° dari Utara, pada saat ini posisi matahari menjadi tegak lurus dengan dinding. Orientasi gedung dimana sinar matahari cenderung tegak lurus fasade memanjang gedung membuat panas matahari leluasa masuk ke dalam ruangan sehingga perlindungan terhadap bayangan horizontal kurang efektif dilakukan.

Sudut bayangan vertikal (*Vertical Shadow Angle, VSA*).

Sudut bayangan vertikal sama dengan altitude matahari. Posisi matahari pada jam 10.00 saat berada di Solstice Utara memiliki altitude 60°. Sudut bayangan vertikalnya adalah 60° dan jam 14.00 saat matahari berada di Solstice Selatan memiliki altitude 55°. Sudut bayangan vertikalnya adalah 55°. Matahari langsung yang datang secara vertikal dapat dihindari dengan membuat pembayangan horisontal dengan panjang 2,25 m jika dipasang sejajar plat lantai, tinggi dari muka lantai 4,00m dan 1,60 m jika dipasang di atas jendela, tinggi dari muka lantai 3,00m. Panjang 1,20m jika dipasang di atas jendela dengan kemiringan 30°, tinggi dari muka lantai 2,50m, dan panjang 0,85m dipasang di atas jendela dengan kemiringan 15°, dibuat dengan kisi-kisi agar tidak masif, panjang 20 cm dipasang dengan kemiringan 30°, tinggi dari muka lantai 2,00m. Berfungsi sebagai *double skin façade*, bentuk ini tidak menghalangi sudut pandang keluar ruangan. Perbaikan ini dapat membuat perubahan pada tampilan fasade bangunan.

Analisis Bahan dan Teknik Konstruksi Komponen Dinding Bangunan

Pemilihan bahan yang sesuai, membantu membuat ruangan menjadi dingin. Perpaduan beberapa jenis bahan yang sesuai dan tepat menghasilkan bangunan yang sejuk. Ketepatan dalam penggunaan bahan dan teknik konstruksi selubung bangunan memungkinkan penghematan energi karena kerja AC tidak berat. Kualitas bahan pembuat dinding menentukan kualitas udara dalam ruang, sehingga ketepatan pemilihan sangat dibutuhkan. Tabel 1. memperlihatkan urutan bahan dasar dinding yang memiliki nilai konduktivitas dari yang terkecil.

Tabel 1. Bahan Dasar Dinding

Bahan Dasar Dinding	Ketebalan (d)	Konduktivitas (k)	Resistan (R)
	m	W/mK	m ² K/W
1. Panel Polystyrene	0,120	0,039	3,077
2. Bata Ringan	0,200	0,530	0,377
3. Batako Padat	0,150	0,720	0,208
4. Batu Bata Merah	0,100	0,890	0,112
5. Batako Berlubang	0,100	1,110	0,090
6. Kayu 1,3 cm	0,130	0,150	0,867
7. Kaca 3 mm	0,003	0,917	0,003

Sumber : Hasil analisis

Referensi nilai k : AHRAE *Handbook Committee* (2001), Bradshaw (1993), Satwiko (2008), Pabrikan.

Jenis material pada dinding bangunan mempengaruhi panas yang mengalir ke dalam bangunan (U-Value). Nilai U dinding 3,06 nilai absorpsi dinding = 0,6. Bahan dan teknik konstruksi ini memungkinkan besarnya radiasi matahari yang mengalir ke dalam bangunan. Pengurangan nilai transmittan (U) dinding dapat dilakukan dengan memodifikasi nilai U yang memiliki nilai kecil. Modifikasi ini memungkinkan pengurangan terhadap panas yang masuk ke dalam bangunan.

Kaca yang digunakan pada gedung yaitu kaca bening 5 mm memiliki nilai transmittan 5,7 W/m²K. Konstruksi kaca ini memungkinkan panas yang besar menembus kaca. Pengurangan panas yang masuk dalam bangunan dapat dilakukan dengan pengurangan intensitas radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan.

Perbaikan dapat dilakukan dengan memasang pembayang vertikal /horizontal dengan ukuran yang sesuai sehingga jendela ternaungi dari sinar matahari langsung, memperbaiki kualitas kaca untuk mengurangi panas yang menembus kaca yaitu modifikasi nilai transmittan (U-value), memperbaiki kualitas kaca dengan jenis kaca yang menolak radiasi matahari, atau dapat juga dengan melapisi kaca menggunakan kaca film yang dapat menolak panas.

Analisis Beban Internal

Manusia (*people*). Panas yang dikeluarkan manusia menjadi beban panas dalam bangunan. Kepadatan penghuni dalam ruang berpengaruh terhadap panas yang dihasilkan dalam ruang. Berpengaruh juga terhadap nilai *diversity* dalam ruang dimana ruang dengan kepadatan tinggi memiliki nilai *diversity* yang tinggi pula, hal ini berpengaruh terhadap beban panas oleh peralatan yang digunakan. Kepadatan ruang pada obyek studi bervariasi dari densitas ringan hingga berat.

Jenis pakaian yang digunakan, ukuran tubuh, dan faktor psikologis juga mempengaruhi panas yang dihasilkan manusia. Stres pada manusia menyebabkan penambahan panas pada tubuh. Stres pada manusia dalam kantor dapat disebabkan karena faktor ketidaknyamanan psikologis dalam ruang (tidak nyaman dalam situasi kerja, tidak nyaman dalam kecukupan penerangan, tidak nyaman terhadap situasi ruang). Perilaku manusia pada ruangan ber-AC juga berpengaruh terhadap penambahan panas ruang misalnya dengan membiarkan pintu atau jendela terbuka saat AC dinyalakan menyebabkan masuknya panas dari luar ruangan.

Penerangan (*Lighting*). Penerangan buatan membutuhkan energi. Energi yang digunakan oleh lampu menghasilkan panas pada ruangan. Semakin banyak lampu yang digunakan semakin banyak pula panas yang dihasilkan. Panas yang di hasilkan oleh lampu inilah yang menjadi beban penyejukan pada mesin AC.

Peralatan (*Equipment*). Peralatan yang digunakan untuk mendukung aktivitas dalam ruang terutama peralatan elektronik menghasilkan panas. Panas yang keluar dari masing-masing peralatan tersebut akan menjadi beban panas untuk ruangan yang menggunakan mesin pengkondisian udara. Setiap peralatan yang ada menghasilkan panas yang berbeda-beda untuk itu perlu diperhitungkan besar panas yang ada.

Ruang yang diteliti

Ruang yang diteliti adalah ruang-ruang yang digunakan untuk staf administrasi (lantai 2). Aktivitas kerja berlangsung secara terus menerus sepanjang hari dari jam 08.00 – 17.00. Kenyamanan termal ruang-ruang ini dicapai dengan menggunakan AC Ruang-ruang ini memiliki dinding pembatas ruang luar pada orientasi Barat Daya, Tenggara, Timur Laut, dan Barat Laut.



Kepadatan ruang ditentukan oleh banyaknya penghuni yang melakukan aktivitas kerja tetap dalam ruang. Berpengaruh terhadap panas yang dihasilkan manusia. Kepadatan ruang juga berpengaruh terhadap pemakaian lampu dan peralatan dalam ruang yang disebut faktor *diversity*, yaitu faktor dimana jumlah *internal heat* tidak selamanya terjadi secara bersamaan.

Ruang dengan kepadatan tinggi menghasilkan nilai faktor diversity yang besar, sebaliknya ruang dengan kepadatan rendah menghasilkan nilai faktot *diversity* yang kecil. Perbedaan kepadatan dapat menyebabkan perbedaan dalam beban penyejukan. Ruang-ruang yang diteliti memiliki kepadatan ruang ringan hingga berat.

Perhitungan Beban Penyejukan

Perhitungan beban penyejukan dengan menggunakan Metode Keseimbangan Termal untuk bangunan *nonresidential* (ASHRAE Handbook Committee (2001)). Suhu kota Manado rata-rata tertinggi 30°C Kelembaban Udara 84 % (Data BMKG Sulut).

Suhu di dalam bangunan (T_1) dikondisikan tetap 25°C (Permen ESDM no.0031 th 2005, tentang Tata Cara Penghematan Energi).

Tabel 2. Nilai Beban Penyejukan Obyek Studi

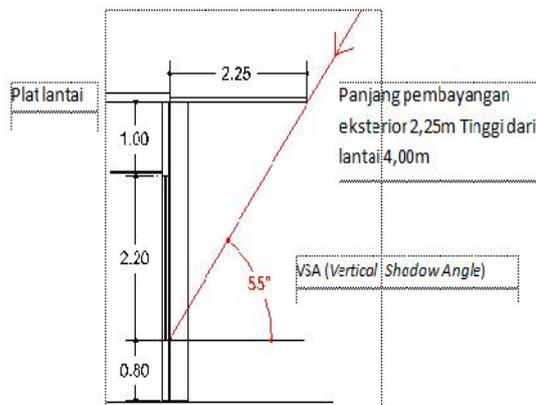
RUANG	UKURAN	Q_i (panas beban internal) Watt	Q_s (panas yang menembus kaca) Watt	Q_e (panas melalui dinding + panas melalui kaca) Watt	Q_v	Q_m (beban penyejukan)	
						Watt	Btu
I	4x10x3,1	1792,6	2881	703,14	0	5376,74	18432
II	6x10x3,1	1602,4	1210	481,48	0	3293,88	11280
III	6x10x3,1	1917,4	1210	481,51	0	3608,91	12343
IV	4x10x3,1	1411,1	2668	953,4	0	5032,5	17280
V	10x10x3,1	2122,4	2219	656,18	0	4997,58	17160
VI	10x10x3,1	2004,25	2219	656,18	0	4879,43	16800

Sumber : Hasil analisis

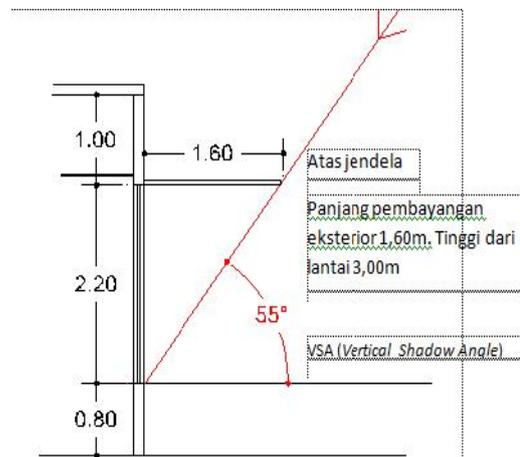
Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa beban penyejukan terbesar secara berturut berasal dari Q_s (panas yang menembus kaca), Q_i (panas dari beban internal), dan Q_c (panas melalui dinding dan kaca). Panas yang menembus kaca (Q_s) pada ruang I lebih besar daripada ruang IV meskipun luas bidang kaca sama. Hal ini disebabkan karena perbedaan orientasi pada sisi dinding, sehingga mendapatkan radiasi matahari yang berbeda pula. Ruang I salah satu sisi dinding menghadap Barat Laut mempunyai nilai SHGF yang lebih besar daripada ruang IV yang salah satu sisi dindingnya menghadap Tenggara. Panas melalui dinding + panas melalui kaca (Q_c) pada ruang IV lebih besar daripada ruang I, hal ini disebabkan karena suhu permukaan luar dinding (T) sebelah Tenggara lebih besar daripada sebelah Barat Laut.

Hasil Penelitian

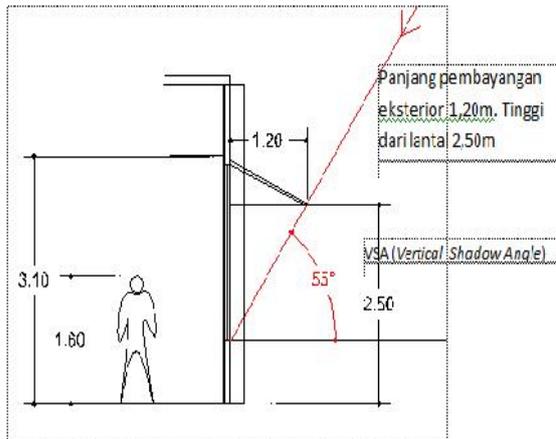
1. Faktor yang paling besar pengaruhnya terhadap beban penyejukan di Gedung Kantor Pusat Politeknik Negeri Manado adalah panas yang berasal dari radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan, terjadi karena :
 - 1) Orientasi fasade memanjang bangunan cenderung menghadang matahari.
Berpengaruh terhadap banyaknya intensitas radiasi matahari yang diterima bangunan, juga terhadap konduktan lapisan udara luar (f_o), dan terhadap perbedaan suhu permukaan (T).
 - 2) Jenis material dan teknik konstruksi selubung bangunan.
Nilai Transmittan dinding bangunan $3,06 \text{ W/m}^2\text{K}$, nilai absorpsi panas $0,60$, memungkinkan besarnya panas yang dipindahkan ke dalam bangunan, tetapi karena bangunan sebagian besar menggunakan kaca dengan nilai transmittan $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, maka panas dari kaca menjadi lebih besar perannya.
 - 3) Tidak ada naungan/pembayangan luar secara horizontal yang melindungi kaca dari radiasi matahari dengan sudut vertikal.
Memungkinkan masuknya radiasi matahari langsung menembus kaca dan masuk dalam bangunan
2. Perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengurangi beban penyejukan.
 - 1) Memasang pembayang eksterior horisontal untuk menghalangi sudut bayang vertikal matahari, sehingga dapat menghalangi panas matahari langsung yang menembus kaca.



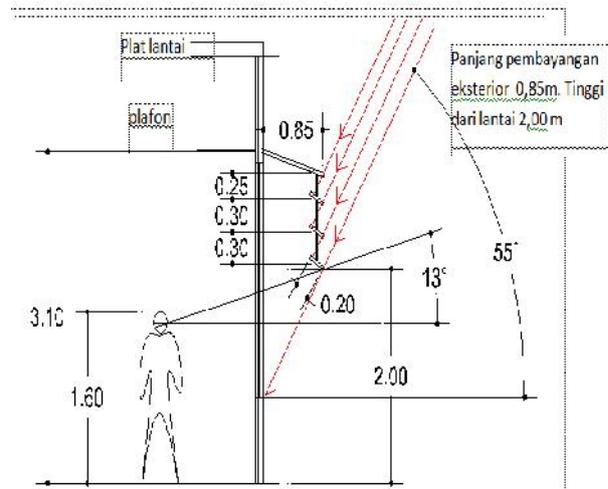
Pembayang eksterior sejajar plat lantai



Pembayang eksterior di atas jendela



Pembayang Eksterior di Atas Jendela dengan kemiringan 30°



Pembayang Eksterior di Atas Jendela, kemiringan 15° dengan kisi-kisi kemiringan 30°

Matahari langsung yang datang secara vertikal dapat dihindari dengan membuat pembayangan horisontal dengan panjang 2,25 m jika dipasang sejajar plat lantai, tinggi dari muka lantai 4,00m dan 1,60 m jika dipasang di atas jendela, tinggi dari muka lantai 3,00m. Panjang 1,20m jika dipasang di atas jendela dengan kemiringan 30° , tinggi dari muka lantai 2,50m, dan panjang 0,85m dipasang di atas jendela dengan kemiringan 15° , dibuat dengan kisi-kisi agar tidak masif, panjang 20 cm dipasang dengan kemiringan 30° , tinggi dari muka lantai 2,00m. Berfungsi sebagai *double skin facade*, bentuk ini tidak menghalangi sudut pandang keluar ruangan. Perbaikan ini dapat membuat perubahan pada tampilan fasade bangunan.

2) Memperbaiki kualitas kaca

Memodifikasi nilai transmittansi (nilai-U) kaca misalnya dengan mengganti kaca tunggal dengan kaca ganda, mengganti jenis material dan tebal kaca, atau memasang kaca film yang dapat menolak sinar infra merah.

Kesimpulan

1. Beban penyejukan di Gedung Kantor Pusat Politeknik Negeri Manado dipengaruhi oleh orientasi bangunan yang memungkinkan besarnya radiasi matahari mengenai bidang dinding dan kaca, dan masuk ke dalam bangunan. Peran terbesar penambahan panas dikarenakan oleh jenis material dan luasan kaca yang besar tanpa adanya pembayang luar horizontal sebagai penghalang sinar yang datang secara vertikal.
2. Pengurangan beban penyejukan dapat dilakukan dengan cara; memasang pembayang luar horizontal untuk menghalangi masuknya radiasi matahari langsung yang menembus kaca ke dalam bangunan, atau memperbaiki kualitas kaca dengan cara; mengganti kaca tunggal dengan kaca ganda atau mengganti jenis material dan tebal kaca, atau memasang kaca film yang dapat menolak sinar infra merah.

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar dan Saito.1995. Penyejukan Udara, *Cetakan kelima*. PT.Pradnya Paramita. Jakarta

ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers*) *Handbook Committee*. 2001. *ASHRAE Fundamental HandBooks*- 2001. ASHRAE 1791 Tullie Circle. Atlanta

- Bhatia A.2012.*Cooling Load Calculation and Principle*,CED Engineering.com.New York
- Bradshaw V. 1993. *Building Control System, Second edition*. John wiley & Sons,Inc. New York
- Brown G.Z.1987. Matahari, Angin, dan Cahaya. Intermatra. Bandung
- Dewan Energi Nasional RI. 2010. Media Informasi dan Komunikasi, *Edisi ke III* . Kementerian ESDM. Jakarta .
- Dewan Energi Nasional R I. 2014. Outlook Energi Indonesia 2014. Kementerian ESDM.Jakarta .
- Frick, Ardiyanto,dan Darmawan. 2008. Ilmu Fisika Bangunan. Kanisius, Yogyakarta
- Harrisman L. 2009. *The ASHRAE Guide for Buildings in Hot&Humid Climates*. American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers,Inc. Atlanta
- Instruksi Presiden RI no 13 tahun 2011 tentang Penghematan Energi dan Air
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral(ESDM). 2012. Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung Indonesia, *Edisi Pertama*. Jakarta.
- Lippsmeier G.1994. Bangunan Tropis. Erlangga. Jakarta
- Peraturan Menteri ESDM no. 0031 tahun 2005 Tentang Tata Cara Pelaksanaan Penghematan Energi
- Peraturan Menteri PUPR no. 2 /PRT/M/2015 Tentang Bangunan Gedung Hijau
- Poerbo H.1995.Utilitas Bangunan,*cetakan 2*.Djambatan.Jakarta
- Sala M. 1998. *Architecture: Comfort and Energy*. Elsevier. Amsterdam
- Satwiko. 2008. Fisika Bangunan. Andi. Yogyakarta
- Subcommittee for Heating and Cooling Loads ASHRAE Task Group on Energy Requerements, 1976. *Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculations*. American Society of Heating, Refrigerating Engineers Inc. Atlanta
- Standar Nasional Indonesia. 2000. SNI 6390:2000, Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional,BSN.Jakarta
- Standar Nasional Indonesia. 2011. SNI 6389:2011,Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung.Badan Standarisasi Nasional,BSN.Jakarta
- Szokolay S.V.1980. Environmental Science Handbook for Architects and Builders. The Construction Press. Ney York
- Yasmin.2011. Beban Pendinginan dan Penghematannya. Pelatihan Dasar Audit Energi dan Komisioning Gedung B2TE-BPPT. Jakarta
- <http://prokum.esdm.go.id/Publikasi/Outlook%20Energi%2014.pdf>
- <http://www.google.co.id/search?q=konsumsi+energi+dunia+2012>
- www.knaufinsulation.co.uk>produk

Thermoshell EPS Board/Knauf insulation UK

Insulasi Polyurethane

www.antipanas.blogspot.co.id/2015

Peredam panas polyurethane foam

www.peredampanasbangunan.blogspot.com

Selubung Bangunan

<http://www.eee.hku.hk>

www.kacafilm.org.kaca-sm

www.architectaria.com/memilih antara bata, batako, bata ringan

info@b-panel.com