PENGARUH KONFIGURASI ATAP BANGUNAN TERHADAP BEBAN TERMAL RUANGAN

THE EFFECT OF BUILDING ROOF CONFIGURATION ON THERMAL LOAD OF THE ROOM

Cornellius Wisesa W.B.K[1], Dr. Ery Djunaedy[2], M. Saladin Prawirasasra, M.T.[3]
[1,2,3]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
cornelius.wwbk@gmail.com[1], erydjunaedy@gmail.com[2], prawirasasra.bibin@gmail.com[3]

Abstrak

Pendingin udara berperan besar dalam konsumsi energi rumah tangga di Indonesia. Meningkatnya pertumbuhan ekonomi Indonesia diikuti dengan peningkatan penggunaan pendingin udara, namun tidak diikuti dengan konfigurasi atap bangunan yang sesuai. Bangunan memiliki beberapa bagian yang menjadi selubung bangunan dan atap merupakan selubung teratas yang terpapar pancaran matahari sepanjang hari. Ada banyak jenis konfigurasi atap yang terdiri dari berbagai macam material. Ada beberapa penelitian yang menyebutkan tiap material atap mempengaruhi beban termal pada ruang dibawahnya. Namun belum diketahui konfigurasi yang paling baik dalam mencegah peningkatan beban termal ruang yang disebabkan radiasi matahari. Dengan kecilnya beban termal maka mengurangi konsumsi energi pendingin ruangan. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian menggunakan *EnergyPlus* dengan 7 material atap, 6 material plafon, 4 material insulasi, dan 2 jenis aluminium foil dengan 5 skenario. Hasilnya pada bangunan studi kasus berupa minimarket di Universitas Telkom, konfigurasi skenario 3 dengan material atap bitumen, insulasi *polyester* dan aluminium foil bubble pada bagian bawah atap, dan plafon akustik memiliki performa yang paling baik.

Kata Kunci: Selubung bangunan, beban termal, konfigurasi atap.

Abstract

Air conditioning contributes for energy consumption of residential building in Indonesia. The Indonesia economic growth followed by increased use of air conditioning, but not followed by appropriate roof configuration. Building has a several parts as building envelope and the roof is the upper building envelope exposed to the sun's rays throughout the day. There is a lot of building roof configuration composed by various kinds of materials. Several study said that every materials give an effect to thermal loads of the room. However, it is not known which configuration is best in preventing an increase in room thermal load caused by solar radiation. A small thermal loads help to reduce the air conditioning energy consumption. In this study, testing has been carried out using enegyPlus with 7 roofing materials, 6 ceiling materials, 4 insulation materials, and 2 types of aluminum foil with 5 scenarios. The result is in case studies building: minimarkets at Telkom University, scenario 3 configuration with bitumen roofing material, polyester insulation with bubble aluminum foil below roofing material, and acoustic ceiling has the best performance.

Keywords: Building envelope, thermal loads, roof configuration.

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara berkembang menggunakan 42% dari keseluruhan produksi listrik dalam negeri untuk kebutuhan bangunan rumah tinggal. Dan 88% pembangkit listrik nasional merupakan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, sisanya merupakan energi terbarukan [1]. Penelitian sebelumnya oleh Ery Wijaya dan Tetsuo Tezuka tahun 2012, menunjukan 19.39% dan 33.46% penggunaan listrik rumah tangga di kota Bandung dan Yogyakarta dikonsumsi untuk pendingin udara atau air conditioner untuk meningkatkan kenyamanan ruang. Dengan proyeksi pertumbuhan ekonomi sebesar 5 - 5.4% pada tahun 2019 [2], maka memungkinkan terjadinya peningkatan penggunaan pendingin udara pada bangunan rumah tinggal. Hal tersebut ditunjukan dengan peningkatan penjualan produk pendingin ruangan oleh salah satu merek di Indonesia. Di tahun 2017 merek tersebut penjualan pendingin ruangan (AC) sebesar 21.8% dan meningkat menjadi 27.6% ditahun 2018 [3]. Dampaknya adalah naiknya kebutuhan energi di Indonesia. Meningkatnya kebutuhan energi sama saja dengan peningkatan konsumsi bahan bakar fosil pada pembangkit listrik. Gas buang hasil pembakaran seperti CO2,SO2,NOx, dan material logam kecil lainnya akan mempengaruhi kesehatan lingkungan dan manusia [4]. Sedangkan pada perjanjian paris 2015, dengan salah satu tujuannya adalah menahan laju kenaikan suhu bumi sebesar 1.5 derajat celcius dan Indonesia adalah salah satu negara yang berkomitmen untuk menjalankan perjanjian tersebut [5].

Faktor utama dalam menentukan kapasitas pendingin udara adalah beban termal ruangan yang berasal dari selubung bangunan, okupansi dan komponen elektronik. Selubung bangunan yang terdiri dari atap, jendela, dan tembok yang berhadapan langsung dengan lingkungan turut meningkatkan beban termal pada ruangan. Atap sebagai selubung teratas pada bangunanan menyumbang panas paling besar daripada selubung yang lain. Hal

tersebut dikarenakan atap terpapar sinar matahari secara langsung dan terus menerus. penggunaan material atap yang tidak tepat maka akan membiarkan panas matahari merambat ke ruangan dan membuat beban termal ruangan meningkat. Penelitian sebelumnya oleh Miller, Desjarlais, & Kosny (2010) menyebutkan pengkombinasian insulasi dan aluminium foil pada atap memberikan temperature loteng yang lebih kecil [6]. Adanya sirkulasi udara juga ikut berperan pada besarnya temperature loteng. Minimnya sirkulasi udara menyebabkan panas tidak dapat keluar ke lingkungan sehingga meningkatkan temperature loteng [7]. Maka dengan turunnya temperature loteng menyebabkan beban termal ruangan menjadi kecil dan temperature udara di dalam ruangan akan lebih terkendali..

Terdapat potensi pengurangan konsumsi energi oleh pendingin ruangan dengan mengganti konfigurasi atap. Maka dilakukan penelitian terkait konfigurasi atap dengan menggunakan bangunan studi kasus: Mini Market di Universitas Telkom, untuk melihat bagaimana pengaruh konfigurasi atap. Hasil penelitian ini diharapkan dapat berguna sebagai acuan pemilihan atap bangunan.

Secara sederhana konfigurasi atap berpengaruh terhadap peningkatan beban termal ruangan karena atap terpapar matahari secara langsung. Namun belum diketahui seberapa besar pengaruh konfigurasi atap terhadap peningkatan tersebut dan potensi penghematan energi yang dilakukan. Ada banyak konfigurasi atap yang dapat dilakukan dengan berbagai macam material di pasaran dengan spesifikasi dan harga yang berbeda. Yang perlu diketahui adalah bagaimana konfigurasi atap yang paling optimal dalam segi performa dan ekonomi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh konfigurasi atap terhadap beban termal pada ruangan. Kemudian mengetahui konfigurasi yang paling optimal dalam segi performa dan ekonomi.

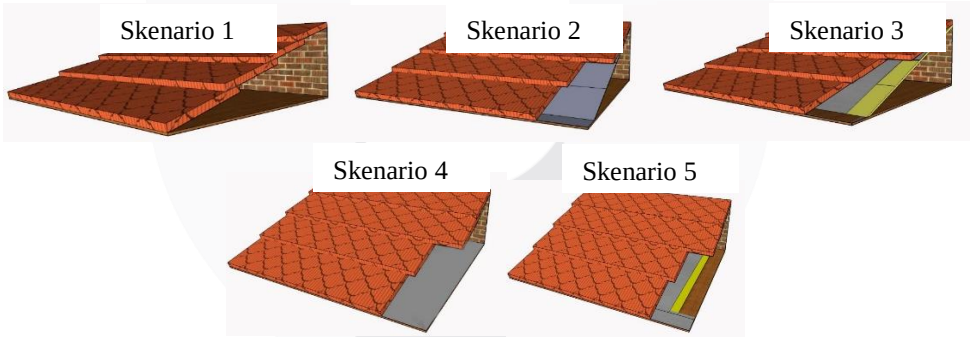
2. Dasar Teori

2.1 Selubung Bangunan

Selubung bangunan sebagai elemen bangunan yang membungkus bangunan, yaitu dinding dan atap dimana sebagian besar energi termal berpindah melalui elemen tersebut [8]. Selubung bangunan memberikan perlindungan terhadap pengaruh lingkugan luar yang tidak dikehendaki seperti panas, radiasi, angin, hujan, kebisingan, polusi, dan lainnya. Selubung bangunan memiliki peran penting dalam mengurangi konsumsi energi untuk pendinginan dan pencahayaan. Pada bangunan bertingkat rendah di mana atap menjadi bangunan terluar yang terpapar matahari paling banyak akan mempengaruhi ruangan di bawahnya [9].

2.2 Konfigurasi Atap

Menurut KBBI konfigurasi adalah bentuk atau wujud untuk menggambarkan orang atau benda [6]. Oleh karena itu dalam penelitian ini yang termasuk konfigurasi atap adalah material atap, insulasi atap, material plafon, insulasi plafon, aliran udara pada ruangan di atas plafon, dan ketinggian.



Gambar 2.1 Skenario konfigurasi

2.3 Beban Termal Ruang

ASHRAE Handbook of Fundamental 2009 mendefinisikan beban termal ruang adalah nilai *sensible heat* dan *latent heat* yang harus dihilangkan untuk mengondisikan ruang pada temperature konstan dan kelembapan [8]. Beban pendinginan luar terbagi menjadi 2 bagian:

1. Beban Pendinginan Luar

Beban pendinginan ini terjadi akibat penambahan panas di dalam ruangan yang dikondisikan karena sumber kalor dari luar yang masuk melalui selubung bangunan (building envelope), atau kerangka bangunan (building shell) dan dinding partisi. Sumber kalor luar yang termasuk beban pendinginan ini adalah:

1). Penambahan kalor radiasi matahari melalui benda transparan seperti kaca.
2). Penambahan kalor konduksi matahari melalui dinding luar dan atap.
3). Penambahan kalor konduksi matahari melalui benda transparan seperti kaca.
4). Penambahan kalor melalui partisi, langit, langit dan lantai.
5). Infiltrasi udara luar yang masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan.
6). Ventilasi udara luar yang masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan.

2. Beban Pendinginan Dalam

Beban pendinginan ini terjadi karena dilepaskannya kalor sensibel maupun kalor laten dari sumber yang ada di dalam ruangan yang dikondisikan. Sumber kalor yang termasuk beban pendinginan ini adalah:
1). Penambahan kalor karena orang yang ada di dalam ruang yang dikondisikan.
2). Penambahan kalor karena adanya pencahayaan buatan di dalam ruang yang dikondisikan.
3). Penambahan kalor karena adanya motor-motor listrik yang ada di dalam ruang yang dikondisikan.
4). Penambahan kalor karena adanya peralatan-peralatan listrik atau pemanas yang ada di dalam ruangan yang dikondisikan.

2.4 *EnergyPlus*

EnergyPlus ™ adalah program simulasi energi seluruh bangunan yang digunakan para insinyur, arsitek, dan peneliti untuk memodelkan konsumsi energi — untuk pemanasan, pendinginan, ventilasi, pencahayaan dan beban plug dan proses — dan penggunaan air di gedung-gedung [7].

2.5 Insulasi

Insulasi merupakan material yang dapat menghambat perpindahan kalor. Material insulasi adalah material dengan nilai konduktansi termal tinggi [10]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Dyah, Hijan, dan Rita (2015), penambahan ketebalan material dinding 25 cm dengan plester, penambahan material insulasi panas rockwool dibawah atap serta penggantian kaca skylight menjadi double glass low E, menurunkan temperatur sebesar 4 °C.

2.6 Pergerakan Udara pada Atap

Ruangan pada atap adalah ruangan pertama yang terpanaskan secara langsung oleh material atap dan memiliki ventilasi yang minim. Menurut Riandy (2016), Pergerakan udara juga difungsikan untuk menormalisasi peningkatan suhu di dalam ruang. Dibutuhkan pergantian udara di dalam ruang dengan udara luar [11].

2.7 Infiltrasi (ACH)

Infiltrasi adalah aliran udara luar yang masuk ke dalam gedung melalui celah dan bukaan yang tidak disengaja lainnya dan melalui penggunaan pintu luar untuk masuk dan keluar ruangan. Infiltrasi juga dikenal sebagai kebocoran udara ke dalam bangunan. Sedangkan eksfiltrasi adalah kebocoran udara dalam ruangan keluar dari gedung melalui jenis bukaan yang serupa. Seperti ventilasi alami, infiltrasi dan exfiltrasi didorong oleh perbedaan tekanan alami dan / atau buatan. Perpindahan udara adalah udara yang bergerak dari satu ruang interior ke yang lain, baik secara sengaja atau tidak. Ventilasi dan infiltrasi berbeda secara signifikan dalam bagaimana mereka mempengaruhi konsumsi energi, kualitas udara, dan kenyamanan termal, dan mereka masing-masing dapat berbeda dengan kondisi cuaca, operasi bangunan, dan penggunaan [8].

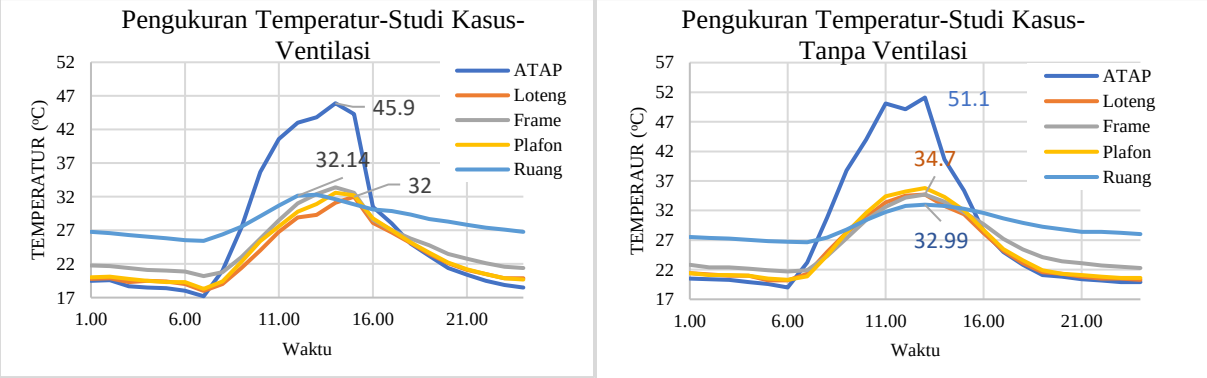
2.8 SHGC

*Solar Heat Gain Coeficient/*SHGC menggabungkan radiasi matahari yang ditransmisikan secara langsung dan radiasi yang diserap oleh kaca dan masuk ke dalam ruang. SHGC memiliki dampak yang berbeda untuk pemanasan / pendinginan ruang. Jendela yang berbeda dengan SHGC yang sama sering memiliki rasio transmisi yang berbeda untuk menyerap radiasi matahari. Hal tersebut terjadi karena SHGC ditentukan pada kejadian normal (normal incidence); sifat sudut kaca bervariasi dengan jumlah lapisan, warna, dan lapisan pelindung [15].

3. Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Temperatur

Pengukuran temperatur dilakukan pada tanggal 15 Juli 2018. Hasil pengukuran pada skenario 1 (gambar 3.1 a.) menunjukan temperatur atap tertinggi sebesar 45.9 C pada pukul 14.00. Temperatur atap tersebut mempengaruhi temperatur loteng sehingga memiliki temperature maksimal 32 C pada pukul 15.00. Terdapat perbedaan waktu puncak antara atap dengan zona loteng sebesar 1 jam. Namun, temperatur zona minimarket lebih dahulu mencapai temperatur puncaknya pada pukul 12.00. Sedangkan pada pengukuran temperatur skenario 2 (gambar 3.1 b.) menunjukan terjadi peningkatan temperatur puncak pada setiap titik ukur. Temperatur puncak atap meningkat sebesar 5.2 C, temperatur puncak loteng meningkat sebesar 2.7 C, dan temperatur puncak zona minimarket meningkat sebesar 0.99 C. Pengkondisian zona loteng pada skenario 2 juga mempercepat tercapainya temperatur puncak pada atap dan zona loteng. Hal tersebut menunjukkan jika adanya pengaruh infiltrasi terhadap naik/turunnya temperatur ruangan. Jika tidak ada infiltrasi maka temperatur ruangan akan cepat meningkat.



Gambar 3.2 a. Pengukuran Skenario 1 b. Pengukuran skenario 2

3.2 Simulasi Konfigurasi

Simulasi konfigurasi yang dilakukan pada bangunan memberikan 882 konfigurasi baru yang terbentuk dari 5 skenario. Kemudian dari konfigurasi baru tersebut didapatkan konfigurasi terbaik dari setiap skenarionya.

Tabel 3.1 Hasil Simulasi Konfigurasi Material

SKENARIO	MATERIAL					U-Value	
	ATAP	PLAFON	FOIL	INSULASI	COOLING LOAD (Wh)	ATAP	PLAFON
SKENARIO 1	Cellulose-Fibre-with-bitumen-(red)	Acoustic	-	-	3767	5.47	3.382
SKENARIO 2			Aluminum Foil-Bubble	-	3552	0.515	3.382
SKENARIO 3				POLYESTER	3521	0.24	3.382
SKENARIO 4				-	3442	5.47	0.486
SKENARIO 5		Multiplex-09mm		POLYESTER	3386	5.47	0.24
ASHRAE 90.1	Roof Membrane	*Concrete, Air Gap, Acoustic*	-	Roof insulation	3694	0.274	1.2

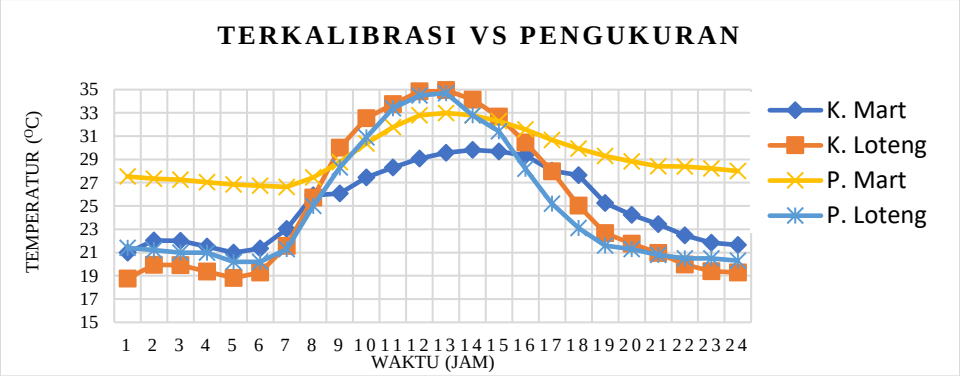
Tabel 3.1 menunjukan konfigurasi terbaik untuk setiap skenario. Nilai *cooling load* pada tabel tersebut adalah hasil *autosizing* energyPlus untuk model bangunan kotak. Semakin besar nilai *cooling load* menunjukan jika ruangan tersebut semakin panas. Berdasarkan tabel 3.1 diketahui bahwa konfigurasi pada skenario 5 memiliki performa yang paling bagus dari konfigurasi lainnya. Pada bangunan kotak, penempatan aluminium foil dan insulasi memberikan pengaruh yang berbeda. Penempatan aluminium foil dan insulasi pada plafon (skenario 5) lebih unggul daripada penempatan aluminium foil dan insulasi pada bagian bawah atap (skenario 3). Perbedaan penempatan material tersebut menurunkan kapasitas pendingin sebesar 3.5 % pada bangunan yang hanya memiliki luas 9m^2. Sedangkan jika dibandingkan dengan konfigurasi tanpa aluminium foil dan insulasi (skenario 1), penggunaan material tersebut menurunkan kapasitas pendingin sebesar 10.1%.

3.4 Kalibrasi Model

Tabel 3.2 Hasil Pengolahan Data Kalibrasi

Parameter	Sesuai Desain	Terkalibrasi
Infiltrasi zona minimarket (ACH)	2	15
Infiltrasi zona loteng (ACH)	2	25
Number of People	10	10
Electronic Equipment (W/m^2)	43	43
Ground Temperature (ºC)	22	22
Tanggal	15 Juli	1 Juli

Tabel 3.4 adalah hasil pengolahan data Rstudio untuk kalibrasi model. Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan model simulasi dengan kondisi eksisting. Model harus memiliki profil temperatur yang sama dengan data pengukuran. Dilakukan penyesuaian pada parameter yang terdapat pada tabel 3.4 menggunakan jEplus dan kemudian diolah dengan Rstudio. Perubahan infiltrasi zona minimarket dan infiltrasi zona loteng menjadi 15 ACH dan 25 ACH menyebabkan terjadinya pertukaran udara antara ruang dan lingkungan. Kemudian peningkatan nilai pada parameter tersebut memberikan peningkatan *internal load* ruangan mengakibatkan sistem tidak mampu mengkondisikan ruang pada *setpoint* 24ºC. Penyesuaian parameter tersebut sudah membentuk pola temperatur zona loteng dan minimarket yang serupa dengan data pengukuran. Namun model ini tidak bisa disebut sebagai model terkalibrasi karena memiliki error yang terlalu besar. Tetapi model ini akan digunakan sebagai model *baseline* untuk langkah selanjutnya.



Gambar 3.3 Hasil Simulasi Model

3.5 Penggantian Konfigurasi pada Model *Baseline*

Tabel 3.3 Autosize-Model Baseline-Kaca Standar-Infiltrasi Atap= 25 ach, minimarket= 15 ach

KONFIGURASI	BASELINE	SKENARIO 1	SKENARIO 2	SKENARIO 3	SKENARIO 4	SKENARIO 5
Load (kW)	18.3	17.9	17.7	17.7	17.8	18.0
Persentase		5.36%	8.61%	8.61%	7.33%	4.23%

Tabel 4.5 adalah hasil perhitungan *cooling load* oleh EnergyPlus untuk model studi kasus yang sudah disesuaikan. Pergantian konfigurasi berpengaruh menurunkan nilai beban termal ruangan berkisar 4-9%. Tabel tersebut menunjukkan konfigurasi skenario 2 dan skenario 3 memiliki performa terbaik karena memiliki nilai beban termal paling kecil. Penghematan tersebut masih terbilang kecil karena tidak mencapai nilai toleransi maksimum kapasitas pendingin sebesar 15% [8]. Sebenarnya tidak ada standar khusus yang mengatur tentang penghematan minimum dari penggantian sebuah komponen. Namun dalam perhitungan *cooling capacity*, jika dapat menghemat 15% maka akan menutupi nilai factor keamanan yang biasanya diberikan oleh desainer.

Tabel 3.4 Komposisi beban termal ruangan

Component	People	Lights	Equipment	Infiltration	Interzone Ceiling	Exterior Wall	Interzone Wall	Ground Contact Floor	Window	Grand Total
Total (kW)	0.8	0.2	2.2	9.9	1.2	0.2	-0.1	-1.3	4.8	17.7
Persentase	4.24%	0.97%	12.13%	55.62%	7%	0.98%	-0.6	-7.40%	27.03	

Untuk meningkatkan potensi penghematan *cooling capacity* dari penggantian konfigurasi atap, maka dilakukan pemecahan detail beban termal ruangan. Kemudian dilakukan penggantian material pada kontributor beban termal terbesar. Tabel 4.6 adalah hasil estimasi oleh *EnergyPlus* untuk komposisi beban termal pada zona minimarket model studi kasus. Kontribusi panas terbesar berasal dari infiltrasi ruang sebesar 55%. Besarnya nilai infiltrasi tersebut karena aktivitas minimarket yang padat karena setiap customer akan membuka pintu dan terjadi pertukaran udara dari dalam ruang dengan lingkungan. Kontribusi panas terbesar berikutnya adalah fenestrasi cahaya matahari lewat jendela bangunan. Dengan nilai u-value kaca jendela sebesar 5.8 W/m^{2}K dan SHGC 0.818 merupakan hal wajar jika kontribusi kaca menempati posisi kedua terbesar. Nilai SHGC tersebut menyebabkan banyaknya radiasi matahari yang masuk ke ruangan.

Kemudian setelah dilakukan simulasi kembali dengan melakukan penggantian material kaca menggunakan referensi ASHRAE 90.1. Kaca yang digunakan adalah kaca dengan u-value 6.424 W/m^{2}K dan SHGC 0.316. Hasilnya, terjadi penurunan *cooling capacity* diikuti dengan peningkatan penghematan.

Tabel 3.5 Cooling Load-Autosize-Model baseline-Kaca ASHRAE 90.1

KONFIGURASI	Infil. Atap, Minimarket: 25,15 ach		Infil. Atap, Minimarket: 2,15 ach		Infil. Atap,Minimarket: 25,2 ach	
	Load (kW)	Persentase	Load (kW)	Persentase	Load (kW)	Persentase
BASELINE	15.4		15.7		7.5	
SKENARIO 1	14.9	6.99%	15.0	8.26%	7.0	7.20%
SKENARIO 2	14.4	13.81%	14.4	16.23%	6.5	13.05%

SKENARIO 3	14.4	13.49%	14.4	16.28%	6.5	12.76%
SKENARIO 4	14.1	17.52%	14.1	20.12%	6.2	16.98%
SKENARIO 5	14.0	18.27%	14.0	21.21%	6.2	17.47%

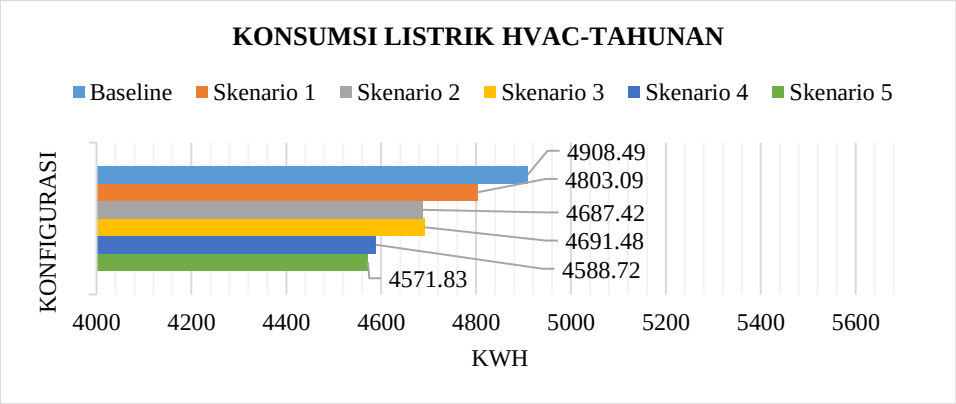
Tabel 4.7 adalah perhitungan *cooling load* bangunan studi kasus dengan infiltrasi berbeda setelah dilakukan penggantian material kaca menggunakan kaca ASHRAE 90.1. Penggantian kaca menyebabkan penghematan *cooling capacity* menjadi 7-18%. Konfigurasi skenario 5 merupakan konfigurasi paling baik karena memiliki *cooling capacity* paling kecil dan penghematan paling besar. Penempatan aluminum foil dan insulasi diatas plafon (skenario 5), lebih baik 4.46% dibandingkan penempatan di bawah material atap.

Selain penggantian kaca, ditemukan jika infiltrasi turut berpengaruh terhadap performa atap. Jika dibandingkan pada tabel 4.7, model dengan nilai infiltrasi zona atap 2 ach dan zona minimarket 15 ach meningkatkan *cooling load* sebesar 1.5%. Namun pada kondisi tersebut penggantian konfigurasi atap lebih berpengaruh. Hal tersebut ditunjukkan dengan penghematan yang mencapai 21.21% pada skenario 5, berbeda dengan konfigurasi dengan infiltrasi atap 25 ach hanya sebesar 18.27%. Sedangkan penurunan nilai infiltrasi zona minimarket menjadi 2 ach dan nilai infiltrasi zona atap tetap 25 ach, *cooling capacity* berkurang mencapai 50%. Hanya saja tidak terjadi peningkatan pengaruh penggantian atap.

Secara keseluruhan konfigurasi skenario 5 yang terdiri dari atap bitumen, plafon *multiplex 9 mm*, dan aluminum foil *bubble* berserta insulasi *polyester* pada bagian atas plafon memiliki performa paling baik. Konfigurasi skenario 4 dengan susunan material sama seperti konfigurasi skenario 5 namun tanpa insulasi, menempati urutan kedua konfigurasi paling baik. Penghematan yang didapat skenario 5 dan 4 sebesar 21.21 % dan 20.12 % pada model baseline dengan kaca ASHRAE 90.1. Penggunaan aluminum foil *bubble* berpengaruh cukup besar pada konfigurasi skenario 2 dan 4. Penggunaan aluminum foil pada skenario 2 berpengaruh 5.8% dan pada skenario 4 sebesar 10.1% dibandingkan tidak menggunakan aluminum foil. Ditemukan terdapat 2 komponen yang mempengaruhi performa penggantian konfigurasi atap. Pertama adalah selubung bangunan lain yang memberikan beban termal lebih tinggi dari atap. Dalam kasus ini, kaca memberikan beban termal yang besar, sehingga menyebabkan performa penggantian konfigurasi atap sangat kecil. Penggantian kaca dengan nilai SHGC lebih kecil membuat performa penggantian konfigurasi atap lebih signifikan. Kedua adalah nilai infiltrasi. Infiltrasi zona loteng sebesar 2 ach memberikan pengaruh penggantian atap yang lebih besar dibandingkan nilai infiltrasi 25 ach. Infiltrasi zona minimarket secara signifikan menurunkan *cooling capacity* ruang, namun tidak berpengaruh pada performa penggantian konfigurasi atap.

3.6 Analisa Energi

Hasil perhitungan konsumsi listrik pendingin tahunan oleh *EnergyPlus* (Gambar 4.11) untuk model studi kasus ganti kaca menjukkan pengaruh yang positif. Setelah dilakukan simulasi selama 8760 jam untuk setiap skenario, diketahui jika penggantian konfigurasi atap berpengaruh dalam menurunkan konsumsi energi. Penggantian konfigurasi atap pada skenario 1 berpengaruh 2.1%, skenario 2 sebesar 4.5%, skenario 3 sebesar 4.5%, skenario 4 dan 5 sebesar 6.5% dan 6.8%. Penurunan konsumsi listrik paling kecil didapat dengan skenario 1 dan penurunan paling besar dengan skenario 5. Hasil perhitungan konsumsi energi tersebut mengkonfimasi analisa sebelumnya (point 4.5) bahwa konfigurasi dengan skenario 5 merupakan konfigurasi terbaik dengan besar penghematan 336 kWh per tahun. Namun terdapat catatan, penghematan tersebut bisa dicapai jika model studi kasus telah melakukan penggantian kaca dengan kaca yang memiliki SHGC +- 0.3.

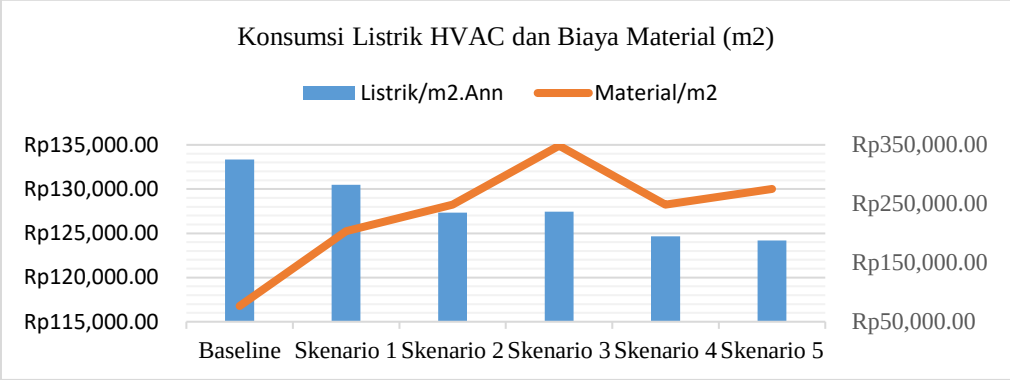


Gambar 3.4 Konsumsi listrik HVAC model studi kasus-ganti kaca

3.7 Analisa Finansial

Gambar 4.12 merupakan perbandingan konsumsi listrik tahunan pendingin dengan harga material konfigurasi per meter persegi pada model dengan penggantian kaca. Biaya konsumsi listrik mengacu pada tarif dasar listrik

PLN 2019 sebesar Rp 1,467.- [16]. Konfigurasi *baseline* memiliki harga material paling rendah sebesar Rp 76,701.-/m^2, dan mengkonsumsi listrik tahunan paling tinggi sebesar Rp 133,347.-/m^2. Kemudian skenario 5 sebagai skenario terbaik mengkonsumsi listrik tahunan pendingin sebesar Rp 124.201.-, namun memiliki harga material 3.6 kali lebih tinggi dari konfigurasi *baseline*. Pada konfigurasi skenario 4, konsumsi listrik tahunan pendingin lebih besar Rp 460.- dengan konfigurasi skenario 5. Dengan perbedaan konsumsi listrik skenario 4 dan 5 yang terbilang kecil, harga material lebih rendah Rp 26,389.-. Sedangkan pada konfigurasi skenario 3, harga material lebih tinggi sebesar Rp 73,611.- namun memiliki konsumsi listrik yang lebih tinggi dari konfigurasi skenario 4 dan 5. Sangat tidak dianjurkan untuk menggunakan konfigurasi skenario 3 karena harganya yang sangat mahal.



Gambar 3.5 Konsumsi listrik dan harga material tiap skenario per meter persegi

Tabel 3.6 ROI konfigurasi atap

KONFIGURASI	SELISIH HARGA MATERIAL	PENGHEMATAN LISTRIK (IDR)/Ann	ROI
Baseline	-	-	-
Skenario 1	Rp 8,371,699.56	Rp 154,621.80	54.14
Skenario 2	Rp 11,341,699.56	Rp 324,309.69	34.97
Skenario 3	Rp 17,941,699.56	Rp 318,353.67	56.36
Skenario 4	Rp 11,341,699.56	Rp 469,102.59	24.18
Skenario 5	Rp 13,083,366.23	Rp 493,880.22	26.49

Nilai pengembalian investasi (ROI) dari setiap skenario (Tabel 4.5) dihitung dengan membagi selisih harga material dengan penghematan konsumsi listrik pendingin pertahun. Penghematan konsumsi listrik pendingin pertahun didapat dari selisih konsumsi listrik setelah penggantian konfigurasi dikurangin dengan konsumsi listrik konfigurasi *baseline*. Selisih harga material didapat dari harga material tiap skenario konfigurasi dikurang harga material konfigurasi *baseline*. Nilai ROI tersebut akan menunjukan lebih jelas konfigurasi yang paling layak digunakan dari segi performa dan finansial.

Berdasarkan hasil perhitungan ROI, konfigurasi skenario 4 memiliki ROI yang paling baik dibandingkan konfigurasi lainnya. Dengan mengganti konfigurasi *baseline* menjadi konfigurasi skenario 4, modal untuk penggantian konfigurasi tersebut akan kembali setelah 24 tahun. Sedangkan konfigurasi skenario 5 yang merupakan konfigurasi dengan *cooling capacity* paling kecil memiliki ROI 26.5 tahun, lebih benyak 2.5 tahun dibandingkan skenario 4 . Maka konfigurasi yang direkomendasikan untuk penggantian atap model studi kasus adalah konfigurasi atap dengan konfigurasi skenario 4.

Berdasarkan penjabaran di atas, diketahui jika konfigurasi dengan harga yang tinggi belum tentu memberikan performa yang baik. Dan konfigurasi dengan *cooling capacity* paling kecil, belum tentu baik secara finansial. Perlu dilakukan simulasi agar didapatkan konfigurasi yang optimal dari segi performa dan finansial.

3. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diketahui jika adanya ventilasi berpengaruh pada turunnya temperatur zona loteng. Namun penurunan temperatur tersebut hanya berpengaruh 1.6% pada turunnya *cooling capacity*. Infiltrasi pada atap tidak berperan besar terhadap beban termal ruangan di bawahnya.

Konfigurasi skenario 5 yang terdiri dari atap bitumen, plafon *multiplex 9 mm*, dan aluminum foil *bubble* berserta insulasi *polyester* pada bagian atas plafon memiliki performa paling baik. Konfigurasi skenario 4 dengan susunan material sama seperti konfigurasi skenario 5 namun tanpa insulasi, menempati urutan kedua konfigurasi paling baik. Penurunan *cooling capacity* yang didapat konfigurasi skenario 5 dan 4 sebesar 21.21 % dan 20.12 % pada model baseline dengan penggantian kaca menggunakan kaca ASHRAE 90.1. Kemudian, diketahui jika

penggunaan insulasi yang menempel pada plafon seperti pada scenario 4 dan 5 lebih baik dari pada penggunaan insulasi yang menempel pada material atap. Hasil tersebut sebelumnya sudah ditunjukan pada saat simulasi konfigurasi menggunakan bangunan kotak, kemudian dikonfirmasi kembali pada model *baseline* dengan penggantian kaca. Hal tersebut menunjukan hasil simulasi konsisten jika konfigurasi skenario 5 sebagai konfigurasi terbaik dengan *cooling capacity* paling kecil. Penghematan konsumsi listrik pendingin oleh konfigurasi skenario 5 dan 4 sebesar 6.8% dan 6.5% setiap tahunnya. Hasil perhitungan ROI menunjukan jika konfigurasi skenario 4 memiliki nilai pengembalian modal selama 24.18 tahun dengan penghematan sebesar Rp 469,102.59 per tahun. Lama pengembalian tersebut lebih baik dibandingkan konfigurasi skenario 5 yang memiliki waktu pengembalian selama 26.49 tahun. Nilai ROI tersebut menunjukan jika konfigurasi skenario 4 lebih layak untuk direkomendasikan.

Kemudian penggantian konfigurasi atap tidak akan berdampak jika terdapat sumber panas yang lebih besar dari atap. Ditemukan terdapat 2 komponen yang mempengaruhi performa penggantian konfigurasi atap. Pertama adalah selubung bangunan lain yang memberikan beban termal lebih tinggi dari atap. Dalam kasus ini, kaca memberikan beban termal yang besar, sehingga menyebabkan performa penggantian konfigurasi atap sangat kecil. Penggantian kaca dengan nilai SHGC menjadi 0.3 membuat performa penggantian konfigurasi atap lebih signifikan. Maka diketahui jika kaca berpengaruh terhadap performa konfigurasi atap. Kedua adalah nilai infiltrasi. Infiltrasi zona loteng sebesar 2 ach memberikan pengaruh penggantian atap yang lebih besar dibandingkan nilai infiltrasi 25 ach. Infiltrasi pada zona loteng juga menurunkan temperatur puncak zona loteng. Penurunan temperatur tersebut hanya berpengaruh 1.6% terhadap penurunan *cooling capacity.* Beberbeda dengan infiltrasi zona minimarket yang secara signifikan menurunkan *cooling capacity* ruang, namun tidak berpengaruh pada performa penggantian konfigurasi atap.

Secara keseluruhan, penggantian konfigurasi atap berpengaruh terhadap beban termal ruangan/*cooling capacity*. Material dan Skenario konfigurasi pada penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi pemilik bangunan. Pemilik bangunan dapat memilih konfigurasi yang paling cocok sesuai kemampuan dengan segala konsekuensi yang telah dituliskan pada penelitian ini.

4. Referensi

[1] ESDM, DJK, "Statistik Ketenagalistrikan," Jakarta, 2018.

[2] BI, "Siaran Pers," 27 November 2018. [Online]. Available: https://www.bi.go.id/id/ruang-media/siaran-pers/Pages/sp_209

[3] A. A. Utomo, "Mix Marketing Communitcation," 28 january 2019. [Online]. Available: https://mix.co.id/marcomm/news

[4] U.S. Departmen of Energy, "Independent Statistic and Analysis U.S. Energy Information Administration," [Online]. Avai

[5] UNFCC, 2015. [Online]. Available: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreen

[6] W. B. Miller, A. Desjarlais and J. Kosny, "A Compilation of Home Energy Assessments for Cool Roofs, Above-Sheathin

[7] O. K.S., "Temperature reduction in attic and ceiling via insulation of several passive," *Energy Conversion and Manageme*

[8] B. S. Nasional, "Konservasi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung," *SNI 6389*, 2011.

[9] N. C. Idham, Arsitektur dan Kenyamanan Termal, Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2016.

[10] "www.kbbi.web.id," [Online]. Available: www.kbbi.web.id.

[11] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 03-6572-2001 Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara," BSN

[12] U.S. Department of Energy, [Online]. Available: https://energyplus.net/.

[13] M. N. M. Nawi, I. S. Halipah and R. Affandi, "A Literature Review On The Improvement Strategies of Passive Design fo

[14] American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., 2009 ASHRAE HANDBOOK FUNDA

[15] "EnergyPlus-Input Output Reference," 2018, p. 87.

[16] K. ESDM, "Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral," [Online]. Available: https://www.esdm.go.id/id/media-center

[17] B. C. Authority, "Envelope Thermal Performance for Building," p. 14, 2008.

[18] F. Kreith, Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas, 1997.

[19] E. &. Sohn, Modeling Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings, Wiley.

[20] R. Tarigan, Metode Penyusunan Protipe Denah, PENERBIT ANDI, 2016.

[21] D. Parker and J. Sherwin, "Comparative Summer Attic Thermal Performance of Six Roof Constructions," Florida Solar E

[22] F. Nicol, "The limits of thermal comfort: avoiding overheating in European buildings," *CIBSE TM52,* 2013.