

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Kenyamanan Termal

Fungsi utama dari arsitektur adalah mampu menciptakan lingkungan hidup yang lebih baik. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan unsur-unsur iklim yang ada seperti angin, suhu udara dan lainnya, sehingga akhirnya manusia dapat memperoleh kenyamanan yang diharapkan. Salah satu bentuk kenyamanan yang dibutuhkan oleh manusia adalah kenyamanan termal.

1. Kondisi Iklim Tropis Lembab

Iklim merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perancangan bangunan. Sebuah bangunan seharusnya dapat mengurangi pengaruh iklim yang merugikan dan memanfaatkan pengaruhnya yang menguntungkan bagi pengguna bangunan. Secara umum iklim dapat dibedakan menjadi dua yaitu iklim makro dan iklim mikro. Iklim makro adalah keseluruhan kejadian meteorologist di atmosfer yang juga dipengaruhi oleh kondisi topografi bumi dan perubahan peradaban dipermukaanya, iklim makro berhubungan dengan ruangan yang besar seperti Negara, benua dan lautan. Iklim mikro berhubungan dengan ruang terbatas yaitu bangunan, jalan, taman kecil atau kota.¹

Daerah tropis lembab ditandai oleh kelembaban udara yang relatif tinggi sekitar 90%, curah hujan yang tinggi, serta temperatur rata-rata tahunan sekitar 23°C yang dapat meningkat hingga 38°C dalam musim panas, perbedaan antara musim relatif kecil hanya ada periode sedikit hujan dan periode banyak hujan yang disertai angin keras. Daerah tropis lembab terletak antara garis lintang utara 15° dan garis lintang selatan 15°. Indonesia terletak didaerah katulistiwa dimana secara umum daerah yang paling panas adalah daerah yang paling banyak menerima radiasi matahari yaitu daerah

¹ Arif Kusumawanto, "Kajian Tentang Kondisi Kenyamanan Termal Bangunan Didaerah Tropis Lembab" hal 15, 1996

katulistiwa. Rata-rata temperatur di Indonesia berkisar antara 22°C hingga 32°C dengan sedikit variasi tiap tahunnya².

Untuk dapat merancang bangunan yang tanggap terhadap iklim perlu diketahui pola perubahan harian, bulanan bahkan tahunan dari besaran iklim pada tempat dimana bangunan akan dirancang. Ciri umum dari iklim di Indonesia yang tropis lembab adalah temperatur udara yang relatif panas, intensitas radiasi matahari yang tinggi dan kelembaban udara yang tinggi³.

Keterangan yang lebih spesifik mengenai iklim tropis lembab dapat dinyatakan sebagai berikut⁴:

- a. Temperatur udara:
Maksimum rata-rata adalah antara 27°C -32°C
Minimum rata-rata adalah antara 20°C -23°C
- b. Kelembaban udara rata-rata adalah 75%-80%.
- c. Curah hujan selama setahun antara 1000mm-5000mm
- d. Kondisi langit pada umumnya berawan dengan jumlah awan antara 60%-90%
- e. Luminansi langit untuk langit yang seluruhnya tertutup awan tipis cukup tinggi, ialah dapat mencapai lebih dari 7000 kandela/m², sedangkan yang seluruhnya tertutup awan tebal sekitar 850 kandela/m².
- f. Kecepatan angin rata-rata adalah rendah sekitar 2-4 m/detik.

2. Kondisi termal dalam bangunan

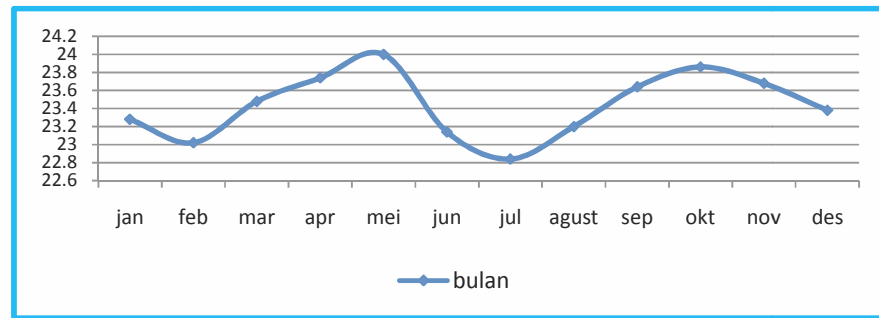
Kondisi termal yang akan terjadi di dalam bangunan akan ditentukan oleh kinerja termal dari bangunan dan kondisi iklim dimana bangunan berada. Sebagai contoh untuk iklim seperti di Bandung dengan temperatur udara seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 adalah temperatur udara pada iklim makro⁵.

² Arif Kusumawanto, "Kajian Tentang Kondisi Kenyamanan Termal Bangunan Didaerah Tropis Lembab" hal 17, 1996

³ Arif Kusumawanto, "Kajian Tentang Kondisi Kenyamanan Termal Bangunan Didaerah Tropis Lembab" 1996

⁴ Soegijanto, "Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari aspek fisika bangunan" hal:8-9, thn 2000

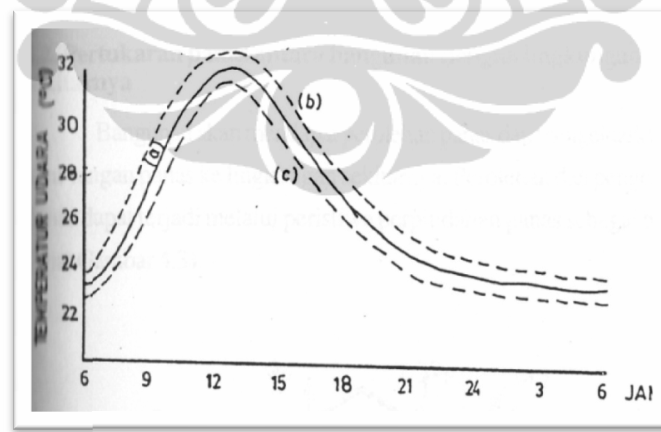
⁵ Soegijanto, "Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari aspek fisika bangunan" thn 2000



Gambar 1.
Temperatur udara rata-rata untuk tahun 2003-2007 di Bandung
(Sumber : BMG Kota Bandung 2003-2007)

Perubahan temperatur adalah 1.16°C yang dapat dilihat pada gambar 1 dengan temperatur maksimum (T_{max}) rata-rata bulan adalah 24°C yang terjadi pada bulan mei dan temperatur minimum (T_{min}) rata-rata adalah 22.84°C yang terjadi pada bulan juli.

Untuk temperatur disekitar bangunan dapat menjadi lebih tinggi atau lebih rendah tergantung dari keadaan lingkungan disekitar bangunan apakah banyak pohon peneduh dan tanah tertutup rumput atau tanpa pohon dan permukaan tanpa rumput atau pekarangan. Seperti pada gambar 2⁶.

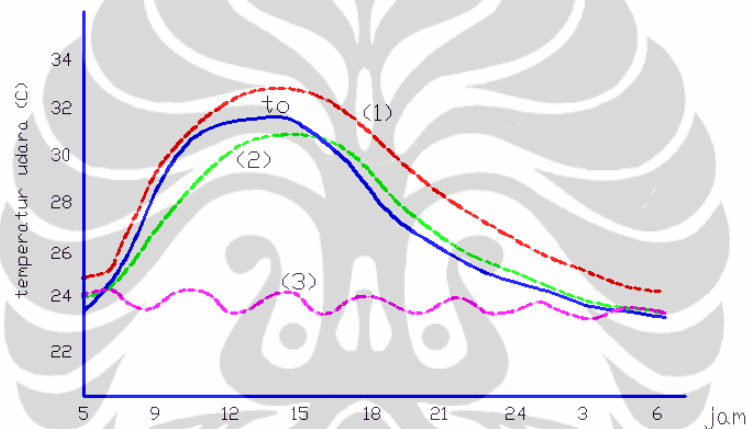


Gambar 2. (a) temperatur udara iklim makro,
(b) dan (c) temperatur udara lingkungan sekitar bangunan.
(Sumber : Soegijanto, 2000)

⁶ Soegijanto, "Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari aspek fisika bangunan" thn 2000 hal 102

Jika dikehendaki udara didalam ruangan relatif konstan pada sekitar temperatur yang diinginkan, maka hal ini dapat dicapai dengan menggunakan sistem tata udara atau yang disebut pengendalian aktif atau pengendalian mekanikal. Tetapi dalam penelitian ini yang akan di teliti adalah pengendalian yang menggunakan bangunannya sendiri (material) atau yang disebut pengendalian pasif.

Temperatur udara yang dapat dicapai dengan pengendalian pasif hanyalah mengurangi waktu terjadinya serta besarnya temperatur yang panas, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3⁷.



Gambar 3.
Temperature udara didalam ruangan dibandingkan dengan temperatur udara luar t_0 (1) tanpa memperhatikan pengendalian pasif, (2) dengan memperhatikan penendalian pasif, (3) dengan pengendalian aktif
(Sumber : Soegijanto, 2000)

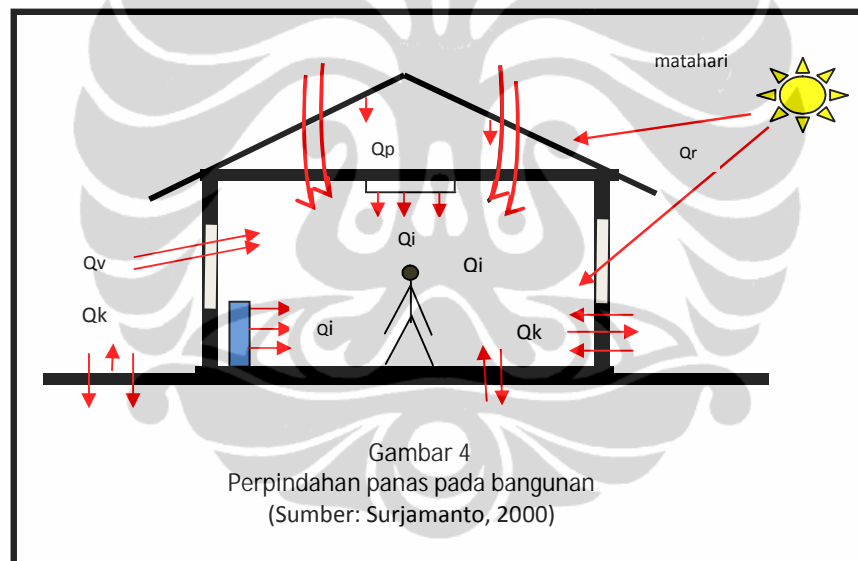
Usaha pengendalian pasif memang tidak dapat selalu diharapkan dapat menghasilkan kondisi termal sesuai yang diinginkan sepanjang hari, karena elemen bangunan dan lingkungan sekitarnya mempunyai kemampuan pengendalian termal yang terbatas. Meskipun demikian diharapkan bahwa para perancang bangunan melakukan usaha pengendalian pasif semaksimal mungkin, dengan memanfaatkan peristiwa alami dan sifat – sifat bahan bangunan.

⁷ Soegijanto, "Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari aspek fisika bangunan" thn_2000_hal_102

3. Pertukaran panas dalam bangunan dengan lingkungan sekitarnya

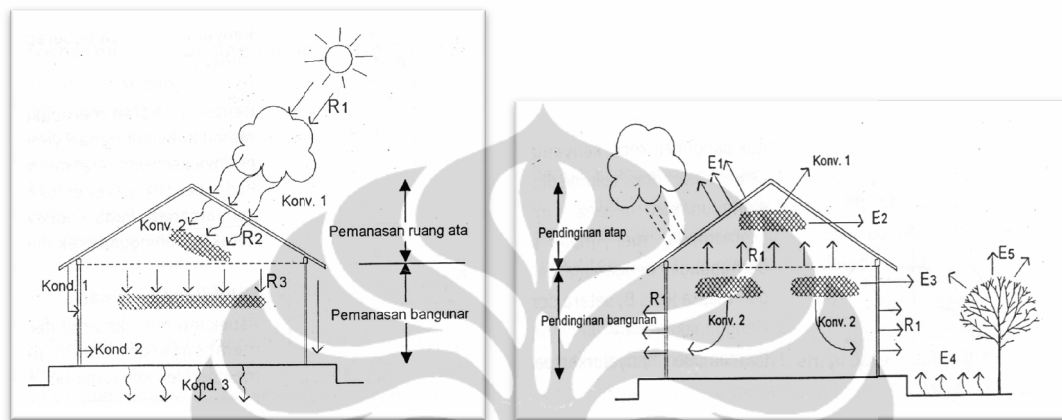
Akibat penyinaran matahari dan kegiatan didalamnya, bangunan menerima dan melepas panas yang akan berpengaruh terhadap kondisi ruang tersebut. Dalam kaitannya dengan kenyamanan termal bangunan kondisi ini akan mempengaruhi secara langsung perpindahan panas pada badan orang didalam bangunan. Secara timbal balik bangunan menerima dan melepas panas lingkungan serta aktivitas didalamnya dan tubuh manusia yang berada dalam bangunan juga akan menerima dan melepas panas lingkungan serta dalam tubuhnya sendiri.

Perolehan dan pengeluaran panas dapat terjadi melalui peristiwa perpindahan panas sebagai berikut:



- Perpindahan panas konduksi Q_k , melalui dinding dan atap bangunan dengan arah masuk dan keluar bangunan termasuk juga konduksi panas dari lantai.
- Perpindahan panas konveksi, Q_v yang terjadi karena aliran udara yang keluar dan masuk melalui bukaan ventilasi dan jendela.
- Perpindahan panas radiasi gelombang pendek dari radiasi matahari Q_r .
- Perpindahan panas karena penguapan Q_p yang terjadi karena proses penguapan dari air yang membasahi permukaan dinding luar dan atap.
- Panas internal Q_i ditimbulkan oleh sumber panas didalam ruangan seperti penghuni dan peralatan yang dapat menghasilkan panas.

Gambar 4 menunjukkan proses perpindahan panas dalam bangunan dimana panas dalam bangunan didapat melalui evaporasi, melalui ventilasi dan dinding bangunan, melalui panas dari matahari, melalui penggunaan alat-alat mekanis, atau perolehan panas internal serta melalui kondisi dengan lingkungannya.



Gambar 5: pemanasan dan pendinginan dalam ruang Bangunan
(Sumber: surjamanto, 2000)

Pada siang hari terjadi proses pemanasan dan pada malam hari terjadi pelepasan panas (pendinginan) proses pendinginan secara berantai pada bangunan satu lantai tetap efektif tetapi tidak untuk bangunan berlantai banyak. Massa udara menghambat radiasi dan konduksi digantikan dengan konveksi, kondisi ini disebut dengan efek termos⁸.

Bentuk bangunan serta ketebalan bahan bangunan yang digunakan dapat mempengaruhi perambatan panas dalam bangunan. Bangunan dengan bahan dinding yang tipis akan menghantarkan radiasi yang lebih besar daripada bangunan yang mempunyai dinding yang tebal. Demikian juga dengan bangunan dengan ruang yang besar atau kecil. Bangunan dengan ruang yang kecil dindingnya akan menyimpan panas yang lebih besar, sedangkan bangunan dengan ruang yang lebih besar akan lebih lambat panas dan lebih lambat dingin. Oleh Karena itu untuk bangunan yang kecil sebaiknya menggunakan material dinding dengan kapasitas panas (kemampuan menyimpan panas) kecil, dan konduktivitas (kemampuan

⁸ Surjamanto, Iklim dan Arsitektur, Departemen Teknik Arsitektur ITB, penerbit ITB, hal. 25, 2000.

menyalurkan panas) besar. Begitupun sebaliknya dengan bangunan yang besar⁹.

Besarnya perpindahan panas yang terjadi pada bangunan dipengaruhi oleh sifat dari bahan bangunan. Sifat-sifat tersebut adalah¹⁰:

- a. Konduktivitas panas dari bahan bangunan, k (watt/m°C)
- b. Konduktansi permukaan, h (watt/m².°C)
- c. Kapasitas panas spesifik dari bahan bangunan, c (joule/kg.°C)
- d. Absorptansi α untuk radiasi gelombang panjang dan pendek.

Sifat lain yang berpengaruh terhadap besarnya perpindahan panas adalah kepadatan massa (kg/m³) dan tebal (m) bahan.

- a. Konduktifitas panas

Konduktifitas panas adalah sifat dari bahan yang menentukan aliran panas persatuan waktu dengan cara konduksi melalui satu satuan tebal dari bahan dengan perbedaan temperatur pada kedua sisinya 1°C, besarnya konduktifitas panas dari bahan bangunan dapat berubah dengan berubahnya kadar air didalam bahan tersebut.

- b. Konduktansi permukaan

Konduktansi permukaan adalah aliran panas dari suatu permukaan ke udara atau dari udara ke permukaan. Besarnya konduktansi permukaan dipengaruhi oleh sifat permukaan yaitu kekasaran dan warna, serta kecepatan angin dan temperatur permukaan.

- c. Kapasitas panas

Kapasitas panas spesifik dari suatu bahan adalah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur sebuah material sebesar 1°C. kapasitas panas untuk setiap material berbeda, namun secara keseluruhan material yang lebih berat memiliki kapasitas panas lebih tinggi.

Kapasitas panas dari bahan selubung bangunan sangat berpengaruh kepada kondisi termal di dalam bangunan untuk bangunan yang menggunakan pengendalian pasif.

- d. Absorpsi (penyerapan) adalah kemampuan benda menyerap radiasi matahari.

⁹ Ibid hal 26

¹⁰ Soegijanto, "Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari aspek fisika bangunan" hal:110

4. Kenyamanan Termal di Dalam Bangunan

Kenyamanan Termal merupakan kondisi seseorang yang mengekspresikan rasa puas / nyaman terhadap lingkungan termalnya. Lingkungan termal adalah karakteristik lingkungan yang mengakibatkan seseorang kehilangan panas dari tubuhnya.¹¹ Kenyamanan termal dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan faktor manusia. Faktor lingkungan terdiri dari suhu udara (*air temperature*), kelembaban udara (*relative humidity*), kecepatan angin (*air velocity*), dan rata – rata suhu permukaan ruang (*Mean Surface Radiant Temperature*). Sedangkan untuk faktor manusia, yaitu kecepatan metabolisme (*metabolic rate*), dan pakaian yang dikenakan (*clothing insulation*).¹²

Faktor fisik yang mempengaruhi kenyamanan termal dalam bangunan meliputi :

a. Temperatur (T)

Kondisi temperatur udara harian normal menunjukkan bahwa panas tertinggi dicapai kira-kira dua jam setelah tengah hari karena pada saat itu radiasi matahari langsung bergabung dengan temperatur udara yang sudah tinggi. Karena itu penambahan panas terbesar terdapat pada fasade barat suatu bangunan. Sebagai patokan umum dapat dianggap bahwa temperatur tertinggi sekitar 2 jam setelah posisi matahari tertinggi dan temperatur terendah sekitar 1 s/d 2 jam sebelum matahari terbit. Temperatur sudah mulai naik lagi sebelum matahari terbit disebabkan oleh penyebaran radiasi pada langit¹³.

Sebanyak 43% radiasi matahari dipantulkan kembali, 57% diserap yaitu 14% oleh atmosfer dan 43% oleh permukaan bumi. Sebagian besar radiasi yang diserap dipantulkan kembali ke udara terutama setelah matahari terbenam, kehilangan panas pada malam hari dapat dicegah dengan penggunaan bahan-bahan yang menyerap panas, dengan bahan-

¹¹ “ *Thermal comfort is that condition of mind that which expresses satisfaction with the thermal environment. Thermal environment is those characteristics of the environment which affects a person’s heat loss.*”. Lihat: <http://www.personal.cityu.edu>. Diakses tanggal 20 Desember 2006.

¹² Lihat: <http://www.personal.cityu.edu>. Diakses tanggal 20 Desember 2006.

¹³ Arif Kusumawanto, “Kajian Tentang Kondisi Kenyamanan Termal Bangunan Di Daerah Tropis Lembab”, hal 23, 1996.

bahan yang tepat serta pemanfaatan pergeseran waktu radiasi balik dapat diciptakan kondisi yang menyenangkan di dalam ruangan¹⁴.

Persyaratan panas didalam suatu konstruksi terutama tergantung pada pertukaran panas antara dinding luar dan daerah disekitarnya, sedangkan penyinaran langsung dari sebuah dinding tergantung pada orientasinya terhadap matahari. Di daerah tropis, fasade timur dan barat paling banyak terkena radiasi matahari tetapi radiasi tidak langsung dapat berpengaruh dari segala arah pada fasade atau bagian bangunan disebabkan oleh awan yang menutupi langit.

Beberapa jenis bahan menyerap sebagian dari radiasi matahari, jenis lain memantulkan panas yang besar ini terjadi terutama pada dinding-dinding yang baru dicat dengan kapur putih akan menyerap panas tidak lebih dari 20% radiasi matahari sedangkan dinding yang dicat sudah lama menyerap lebih banyak. Bagian dari radiasi panas atau radiasi matahari yang tidak dipantulkan oleh sebuah bahan tetapi diserap akan memanaskan bahan tersebut. Pada sebuah bangunan panas yang diterima ini akan mendesak kedalam ruangan melalui atap dan dinding jika tidak dicegah.

b. Kelembaban udara (RH)

Kadar kelembaban udara dapat mengalami fluktuasi yang tinggi dan tergantung pada perubahan temperatur udara. Semakin tinggi temperatur semakin tinggi pula kemampuan udara menyerap air.

Untuk menilai kecocokan suatu iklim, informasi mengenai kadar kelembaban udara sangat penting. Semakin tinggi kadarnya semakin sulit iklim tersebut ditoleransi, peningkatan ini terjadi oleh kombinasi antara temperatur tinggi. Manusia merasakan kondisi iklim dengan tekanan uap air diatas 2 Kpa mulai tidak menyenangkan. Penguapan pada kulit yang mengakibatkan pendinginan mulai sukar terjadi dan udara itu sendiri tidak dapat lagi menyerap cukup kelembaban.

Kelembaban udara dapat diukur langsung dengan hygrometer, selain dengan cara membandingkan suhu termometer bola kering dan basah. Apabila kita merasakan kulit kita lengket, maka RH sudah mulai di atas

¹⁴ Arif Kusumawanto, "Kajian Tentang Kondisi Kenyamanan Termal Bangunan Di Daerah Tropis Lembab", hal 23, 1996

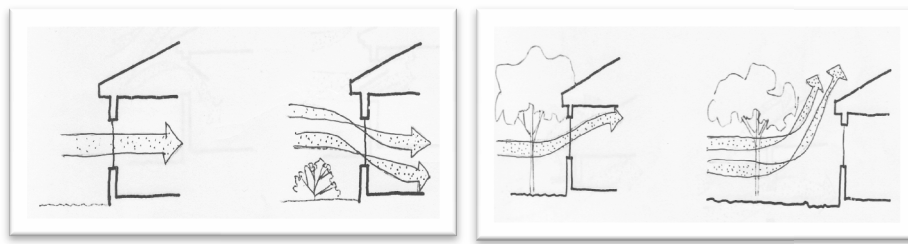
80%. Bila kulit terasa lengket sekali dan udara pengap (terasa berat menekan), maka RH di atas 90%.¹⁵

c. Aliran udara (WV)

Gerakan udara terjadi disebabkan oleh pemanasan lapisan udara yang berbeda. Skalanya berkisar mulai dari angin sepoi-sepoi sampai angin topan, yakni kekuatan angin 0 s/d 12 skala Beaufort.

Dalam zona kenyamanan, kecepatan angin yang masuk dalam bangunan harus direduksi menjadi 25% (khusus untuk kecepatan sampai 4 m/dt) atau 10% (pada semua kecepatan). Pada saat temperatur efektif bernilai tinggi dan dibutuhkan kecepatan 3,5 m/dt dalam bangunan maka kecepatan angin luar harus mencapai 5,4 m/dt untuk perubahan 65% dan 11 m/dt untuk perubahan 32%. Bila kondisi angin tidak memungkinkan maka diperlukan perlakuan tambahan, yaitu menara angin dan efek pendinginan *buoyancy* (gaya apung) dengan meninggikan langit – langit.¹⁶

Angin sama dengan udara yang bergerak, angin akan mengalir melalui rongga-rongga bangunan, hal ini yang menyebabkan suhu yang panas menjadi sejuk. Kecepatan angin dapat tereduksi oleh vegetasi. Mengukur kecepatan angin dapat dilakukan dengan anemometer. Namun, kecuali bagi orang yang berprofesi mengukur kecepatan angin, alat tersebut sering tidak tersedia. Sedangkan, arah angin dapat dengan mudah dilihat dengan gerak asap.¹⁷



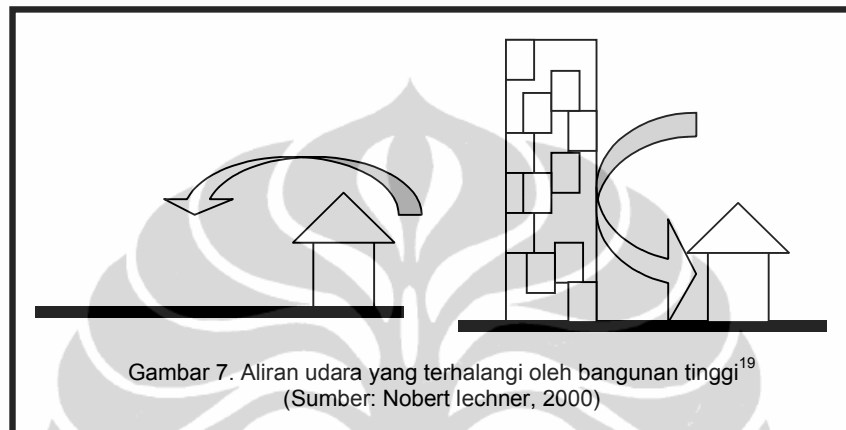
Gambar 6. Aliran angin dengan vegetasi

¹⁵ Prasasto satwiko, 2004, Fisika Bangunan 1, hal. 15, Yogyakarta: Penerbit Andi.

¹⁶ Ansrul muktafi, 2006, Laporan Tugas Akhir: Kenyamanan Thermal Ruang Kerja dengan Pendekatan *Bioclimatic-Chart*. Studi Kasus di PT. Astra Internasional Tbk. Honda Yogyakarta, hal. 4. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

¹⁷ Prasasto satwiko, 2004, Fisika Bangunan 1, hal. 14, Yogyakarta: Penerbit Andi.

Bagian atas bangunan tinggi memiliki peredaran udara yang lebih baik dibandingkan di bagian bawahnya karena intensitas gerakan udara lebih besar. Dibelang bangunan tinggi dapat berbentuk angin putar yang berlawanan arah, hanya dengan jarak tujuh kali tinggi bangunan kecepatan angin akan kembali seperti semula dan akan kembali kepermukaan¹⁸.



Factor terpenting yang mempengaruhi kenyamanan dalam bangunan adalah:

- Temperatur udara.
- Kelembaban udara.
- Temperatur radiasi rata – rata dari dinding dan atap.
- Kecepatan pergerakan udara.
- Tingkat pencahayaan dan distribusi cahaya pada dinding suatu bangunan.

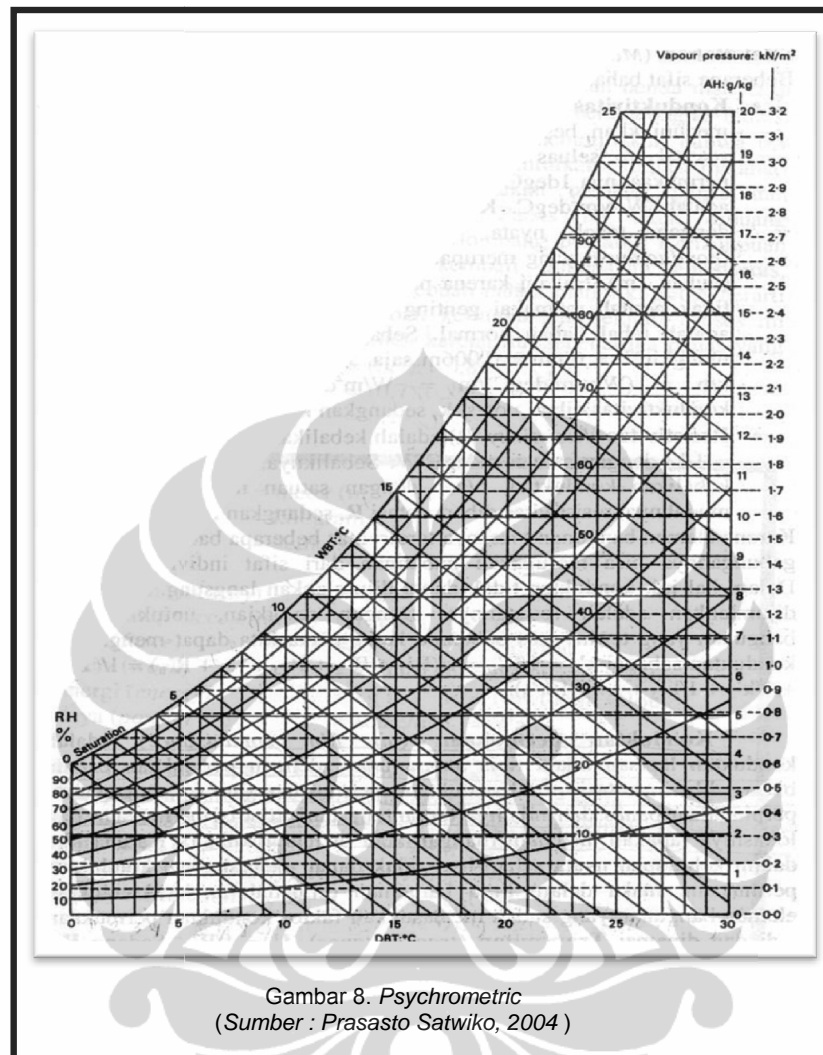
Untuk menentukan batas – batas kenyamanan perlu diteliti reaksi sejumlah orang terhadap perubahan faktor – faktor diatas.

Penelitian perdana dilakukan oleh Houghton dan Yahlou yang menghasilkan istilah “temperatur efektif” atau disingkat TE. TE ditentukan oleh temperatur udara, kelembaban, dan gerakan udara²⁰. Diagram TE menunjukkan kegunaan praktisnya dengan bantuan diagram *Psychrometric* (Gambar 8).

¹⁸ Nobert lechner “heating, cooling, lighting metode desain untuk arsitektur, edisi ke 2, terjemahan Sandrina siti, s.s, ST, pt Raja Grafindo Persada 2000, hal 86-89

¹⁹ Nobert lechner “heating, cooling, lighting metode desain untuk arsitektur, edisi ke 2, terjemahan Sandrina siti, s.s, ST, pt Raja Grafindo Persada 2000, hal 86-89

²⁰ HOUGHTON and YAHLOU, 1923, *Determining Lines of Equal Comfort, Transactions of America Society of Heating and Ventilating Engineers*, vol. 29.



Gambar 8. Psychrometric
(Sumber : Prasasto Satwiko, 2004)

Temperatur Efektif (*Effective Temperature/ ET**) adalah keseragaman suhu dari pancaran selubung hitam pada kelembaban udara 50%, dimana seorang penghuni akan mengekspresikan kenyamanan yang sama, ketegangan fisiologis dan perubahan panas seperti di lingkungan yang sebenarnya dengan gerakan udara yang sama. Zona nyaman (*comfort zones*) pada musim panas adalah $22.8^{\circ}\text{C} < ET^* < 26.1^{\circ}\text{C}$, sedangkan $20.0^{\circ}\text{C} < ET^* < 23.9^{\circ}\text{C}$ untuk musim hujan.²¹

²¹ "Effective temperature (*ET**) is the uniform temperature of a radiantly black enclosure at 50% relative humidity, in which an occupant would experience the same comfort, physiological strain and heat exchange as in the actual environment with the same air motion."

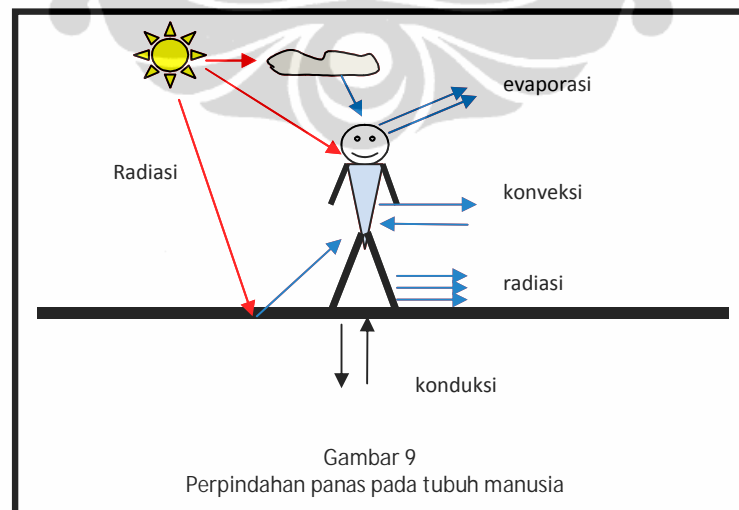
"Comfort Zones : $22.8^{\circ}\text{C} < ET^* < 26.1^{\circ}\text{C}$ for summer, $20.0^{\circ}\text{C} < ET^* < 23.9^{\circ}\text{C}$ for winter." Lihat: <http://www.personal.cityu.edu>. Diakses tanggal 20 Desember 2006.

5. Manusia dan Kenyamanan Termal

Pada dasarnya faktor terpenting dalam melaksanakan suatu perencanaan bangunan untuk mendapatkan kenyamanan termal yaitu manusia dan kebutuhannya, pengaruh iklim dan bahan bangunan. Kenyamanan termal adalah suatu kondisi termal yang dirasakan oleh manusia bukan oleh benda, dan arsitekturnya tetapi dikondisikan oleh lingkungan dan benda-benda disekitar arsitekturnya.

Agar manusia survive maka keseimbangan panas harus terjaga baik, yang artinya panas yang hilang harus sama dengan panas yang dihasilkan oleh tubuh. Sebagian panas yang hilang terjadi saat dihirupnya udara lembab dan hangat kedalam paru-paru namun sebagian besar panas badan kita akan hilang melalui kulit, kulit mempertahankan aliran panas dengan dengan mengendalikan jumlah darah yang mengalirinya.

Temperatur dalam badan harus tetap seimbang dan konstan. Untuk mempertahankan temperatur badan pada tingkat yang tetap maka semua panas harus dikeluarkan ke lingkungan. Jika ada panas yang secara serentak diterima dari lingkungan misalnya radiasi matahari dan udara panas maka panas tersebut harus juga dilepaskan. Badan dapat melepaskan panas kepada lingkungan sekitar secara konveksi, radiasi dan evaporasi.



Gambar 9 merupakan proses perpindahan panas yang terjadi pada tubuh manusia yaitu konveksi terjadi oleh transmisi dari badan keudara jika berhubungan dengan kulit atau pakaian yang kemudian naik dan dipindahkan dan digantikan oleh udara yang lebih dingin. Lepasnya panas secara konveksi

akan lebih besar oleh kecepatan udara yang lebih besar, oleh temperatur udara yang lebih rendah dan temperatur kulit yang lebih tinggi. Lepasnya panas secara radiasi tergantung pada temperatur permukaan badan dan temperatur permukaan yang berhadapan. Evaporasi panas dipengaruhi oleh banyaknya penguapan yang tergantung pada kelembaban udara dan pada banyaknya uap udara yang terdapat untuk penguapan.

Pada hakikatnya rasa nyaman yang dirasakan oleh badan kita disebabkan adanya pendinginan secara merata pada kulit dan permukaannya. Manusia termasuk jenis mahluk hidup yang mempunyai rentan paling lebar dalam menyesuaikan terhadap kondisi lingkungan hal ini disebabkan karena manusia dengan kemampuan akalinya ingin selalu berusaha untuk merubah dan menyesuaikan dirinya terhadap kondisi lingkungannya.

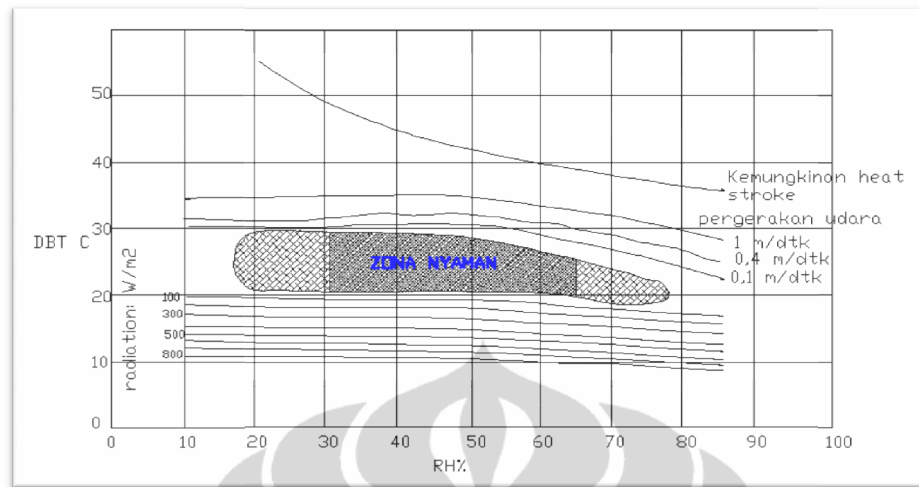
Kenyamanan dalam tubuh dapat dicapai dengan menyeimbangkan kondisi tubuh dengan lingkungan sekitar. Kondisi panas dibutuhkan pada saat seseorang merasa kedinginan, diindikasikan dengan proses “menggigil” dan sebaliknya, kondisi dingin dibutuhkan pada saat seseorang kepanasan, diindikasikan dengan proses “berkeringat”. Wilayah tengah dari indikasi tersebut dapat diartikan sebagai *comfort zone* bagi temperatur ideal.

Comfort zone (zona nyaman) adalah daerah dalam *bioclimatic chart* yang menunjukkan kondisi komposisi udara yang nyaman secara termal. Kenyamanan termal tidak dapat diwakili oleh satu angka tunggal karena kenyamanan tersebut merupakan perpaduan dari enam faktor.²²

Namun berdasarkan penelitian Prasasto Satwiko (2004), sebagai pedoman dasar, kenyamanan termal untuk tropis lembab dapat dicapai dengan batas – batas $24^{\circ}\text{C} < T < 26^{\circ}\text{C}$, $40\% < \text{RH} < 60\%$, $0.6\text{m/s} < \text{WV} < 1.5\text{m/s}$, pakaian ringan dan selapis, dan kegiatan santai tenang. Pada iklim tropis lembab yang suhu rata – ratanya cukup tinggi, antara 27°C hingga 32°C , suhu 24°C sudah akan terasa sejuk.²³

²² Prasasto SATWIKO, 2004, Fisika Bangunan 1, hal. 9, Yogyakarta: Penerbit ANDI.

²³ *Ibid*, hal. 9.



Gambar 10. Bioclimatic Chart
(Sumber : O.H. Koenigsberger dalam Prasasto Satwiko, 2004)

Diluar batas (*comfort zone*) itu akan menurunkan kekuatan fisik dan aktivitas mental karena munculnya tekanan terhadap tubuh dan kemungkinan timbulnya penyakit akan meningkat.²⁴ Dan kondisi lanjutan dari kedua proses tersebut, “menggigil” dan “berkeringat” adalah terjadinya *heatstroke* (batas temperatur tertinggi) dan proses membeku (batas temperatur terendah), diluar dari batas tersebut bisa menyebabkan kematian.²⁵

Beberapa hasil penelitian batas-batas kenyamanan termal dinyatakan dalam temperatur efektif dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Batas-batas kenyamanan dalam temperatur efektif

Peneliti	Tempat	Kelompok manusia	Batas kenyamanan
ASHRAE	USA selatan	Peneliti	20,5-24,5°c TE
Rao	Calcutta	India	20-24,5°c TE
Webb	Singapura katulistiwa	Malaysia cina	25-27°c TE
Mom	Jakarta	Indonesia	20-26°c TE
Ellis	Singapura katulistiwa	Eropa	22-26°c TE

Sumber : Georg. Lippsmeier, bangunan tropis, hal 37, 1994

²⁴ Victor OLGAY, 1962, *Design with Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*, hal. 14, Princeton: Princeton University Press.

²⁵ Terry T. MEYER, 1983, *Energy Economics and Building Design*, hal. 10, New York: McGraw-Hill Book Co.

Dibawah ini akan dibahas secara singkat hasil penelitian mengenai kenyamanan termal yang pernah dilakukan di dalam iklim tropis lembab di Indonesia (bandung dan Jakarta) oleh Mom (1940).

Di Indonesia pernah dilakukan penelitian kenyamanan termal oleh Mom sekitar tahun 1936-1940, di Technische Hoogeschoolte bandung (sekarang ITB) sampel yang digunakan dalam penelitian terdiri dari perorangan dan kelompok. Ada 3 kelompok yaitu kelompok orang Eropa, kelompok keturunan Tionghoa dan kelompok pribumi Indonesia. Kelompok yang terakhir dibagi menjadi dua kelompok lagi yaitu kelompok intelektual dan bukan intelektual. Dalam penelitian tersebut kelompok orang eropa dan keturunan tionghoa memakai jas, sedangkan kelompok pribumi tidak memakai jas tetapi hanya pakaian harian biasa. Tingkatan kenyamanan termal dibagi mulai dari dingin tidak nyaman, sejuk nyaman, nyaman optimal, hanyat nyaman, sampai panas tidak nyaman.

Dari hasil penelitian ternyata terdapat variasi dalam zona kenyamanan termal untuk kelompok tersebut. Untuk pribumi Indonesia yang memakai pakaian harian biasa didapatkan batas atas dan bawah untuk kenyamanan optimal yang lebih tinggi dari pada untuk kedua kelompok lain.

Dari hasil penelitian tersebut diatas di dapatkan kondisi termal atau Suhu udara dalam ruang (suhu efektif ruang) di Indonesia terbagi menjadi menjadi 3 yaitu

- Sejuk nyaman, mempunyai suhu udara 20.5°C – 22.8°C.
- Nyaman optimal, mempunyai suhu udara 22.8°C – 26°C.
- Hangat nyaman, mempunyai suhu udara 26°C – 27.1°C.

Kelembaban udara untuk ruang yang dinyatakan nyaman secara termal, yaitu:

- Nyaman 40% - 70%.
- 0.84m³ per orang / per menit.

Sedangkan untuk kecepatan udara yang memenuhi ketentuan standar adalah sebagai berikut :

- Nyaman, 0.2m/s – 2m/s.
- Cukup nyaman 30°C, 0.6m/s.
- Dingin 12°C, 0.1m/s.

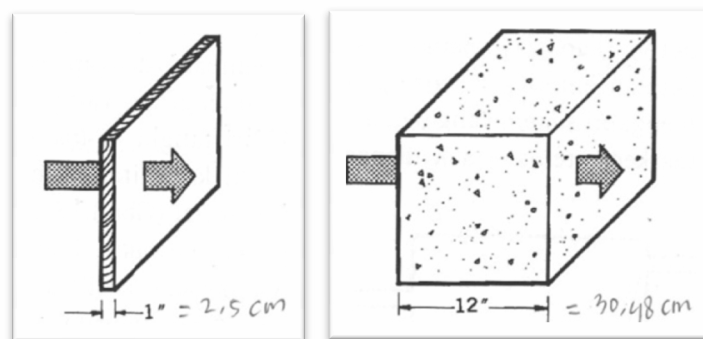
B. Material Dinding Bangunan

1. Penundaan waktu material (time lag)

Aspek kenyamanan termal untuk perancangan bangunan meliputi eksterior bangunan, interior bangunan serta selubung bangunan, ketiga aspek ini saling mempengaruhi dalam perencanaan bangunan, hal yang berhubungan dengan ketiga aspek ini salah satunya adalah dinding. Dinding merupakan bagian sisi (penyekat) ruang luar dan ruang dalam sebuah bangunan, dapat menjadi suatu isolator panas pada rumah. Dinding luar bangunan dengan ketebalan tertentu sangat berpengaruh terhadap panas yang ditransmisikan kedalam ruang dalam bangunan, material dinding yang tipis akan relatif lebih cepat panas dari material yang lebih tebal (time lag besar). Material yang digunakan untuk dinding dapat mempengaruhi kenyamanan yang dicapai, dengan mengetahui daya tahan sebuah material maka kita dapat memprediksi berapa besar panas yang akan mengalirinya.

Perlawanan oleh material dan ruang udara terhadap aliran panas dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi dinamakan daya tahan termal. Dengan mengetahui daya tahan sebuah material kita dapat memprediksi berapa besar panas yang akan mengalirinya dan membandingkan material tersebut. Sebagian besar daya tahan termal bahan bangunan merupakan fungsi jumlah dan ukuran ruang udara yang dimilikinya.

Sebagai contoh kayu 2,5 cm memiliki daya tahan termal yang sama dengan 30 cm beton terutama karena ruang udara yang dibuat oleh sel yang terdapat dalam kayu. Seperti yang terlihat pada gambar 10.²⁶



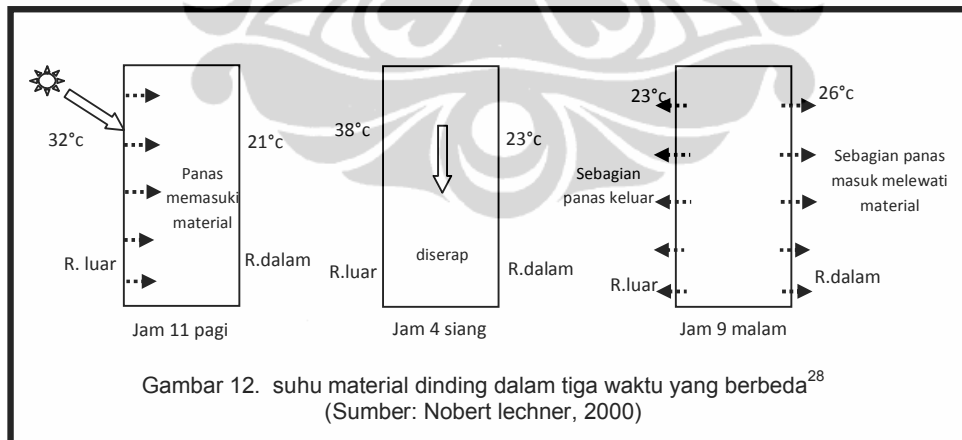
Gambar 11.
Besarnya aliran panas pada kayu dan beton

²⁶ Nobert lechner "heating, cooling, lighting metode desain untuk arsitektur, edisi ke 2, terjemahan Sandrina siti, s.s, ST, pt Raja Grafindo Persada 2000, hal 86-89

Namun ini hanya akan terjadi pada saat kondisi stabil misalnya suhu keseluruhan material tetap konstan sepanjang waktu yang cukup lama. Dibawah kondisi suhu yang dinamis sebuah beton yang berukuran 30 cm akan Nampak memiliki daya tahan aliran panas yang lebih dibanding kayu 2,5 cm.

Apa yang akan terjadi saat dua dinding dengan daya tahan panas yang sama yaitu 2,5 cm kayu dan 30 cm beton, pertama kali diberikan perbedaan suhu. Misalnya dinding beton dan dinding kayu mempunyai suhu di satu sisi adalah 100°C dan 50°C disisi lainnya. Panas akan mengalir menembus beton tetapi panas yang masuk pertama akan digunakan untuk meningkatkan suhu beton. Hanya setelah dinding dihangatkan secara besar-besaran panas dapat keluar dari sisi yang satu lagi. Disisi lain penundaan konduksi panas yang sangat pendek untuk kayu 2,5 cm karena memiliki kapasitas panas yang rendah. Penundaan panas yang terjadi pada material ini disebut sebagai time lag (penundaan waktu).

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi maka material akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. Seperti yang terlihat pada gambar 11 dibawah yang menggambarkan sebuah dinding massif yang terlihat dalam tiga waktu yang berbeda dalam satu hari.²⁷



- Pada pukul 11 pagi suhu ruang dalam lebih rendah dibanding suhu ruang luar sehingga panas akan mengalir kedalam, walaupun demikian sebagian besar panas ini di alihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

²⁷ Nobert lechner "heating, cooling, lighting metode desain untuk arsitektur, edisi ke 2, terjemahan Sandrina siti, s.s, ST, pt Raja Grafindo Persada 2000, hal 86-89

²⁸ Nobert lechner "heating, cooling, lighting metode desain untuk arsitektur, edisi ke 2, terjemahan Sandrina siti, s.s, ST, pt Raja Grafindo Persada 2000, hal 60-61

- b. Pada pukul 4 sore suhu ruang luar sangat tinggi, walaupun sebagian suhu tersebut sudah memasuki ruang dalam, sebagian panas masih tetap dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- c. pukul 9 malam suhu ruang luar telah cukup menurun menjadi dibawah suhu ruang dalam dan khususnya suhu dinding. Sekarang sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir keluar tanpa pernah memasuki ruang dalam rumah. Dalam situasi seperti ini, time lag bahan bangunan massif ini memisahkan bangunan dari suhu luar yang tinggi.

Keuntungan time lag adalah jika suhu ruang meningkat dengan drastis. Semakin besar pergerakan suhu harian semakin besar efek pemisahan pada massa, dengan demikian efek memisahkan massa lebih menguntungkan pada iklim panas dan kering selama musim panas.

Time lag (kelambatan) beberapa material bangunan dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini:

Tabel 2. Time Lag (Kelambatan) Material Bangunan

Bahan	Tebal (cm)	Pergeseran Waktu jam
Batu alam	20	5,5
	30	8,0
	40	10,5
	60	15,5
Beton	5	1,1
	10	2,5
	15	3,8
	20	5,1
	30	7,8
	40	10,2
Batu bata	10	2,3
	20	5,5
	30	8,5
	40	12,0
Kayu	1,25	0,17
	2,5	0,45
	5	1,3
Papan penyekat panas	1,25	0,08
	2,5	0,23
	5	0,77
	10	2,7
	15	5,0

Sumber: Agung Ari Pratama, 2006

Menurut Rosenlund (2000) kemampuan material melawan panas yang mempengaruhi bangunan, disebut termal properties, terdiri dari:

- a. *Density* (kepadatan/berat jenis): mempunyai satuan kg/m^3 , merupakan perbandingan antara berat dan volume, *density* memegang peran yang besar untuk *termal properties*, material mempunyai *density* ringan mempunyai daya isolasi lebih besar daripada material yang ber-*density* besar.
- b. Daya hantar panas (*Conductivity*): mempunyai satuan W/mK , adalah kemampuan material untuk berkonduksi panas. Material yang mempunyai Daya hantar panas rendah mempunyai daya isolator yang baik, sebaliknya material yang mempunyai Daya hantar panas tinggi merupakan material penghantar panas yang baik.
- c. *Specific heat*: mempunyai satuan Wh/kgK , adalah mengindikasikan material mempunyai kemampuan menyimpan sejumlah energy. *Specific heat* yang tinggi artinya material mempunyai kemampuan banyak menyimpan panas (*heat storage*).

Kombinasi dari ketiga termal properties material diatas menghasilkan apa yang disebut Time lag adalah waktu maksimum yang dipergunakan oleh dinding untuk mengeluarkan panas dari permukaan luar dinding ke bagian dalam dinding.

Karakteristik dari material yang lain adalah *admittance*, Milbank dan Harrington-Lynn (1974) menyatakan, *admittance* adalah daya tahan termal (*Termal resistance*) yang berkaitan dengan reaksi terhadap aliran panas (*heat flow*) mempunyai satuan seperti U-Value.

Menurut Markus T.A., Moris E.N (1980), Semakin besar *admittance*, semakin rendah *swing* temperaturnya. Material yang padat mempunyai daya tahan termal lebih besar, Material juga mempunyai kapasitas termal (*termal capacity*), yakni jumlah panas yang disimpan oleh material, kemudian melepaskannya²⁹.

Pendapat dari semua ahli diatas menunjukkan bahwa *termal properties* dan karakteristik dari material berkaitan erat dengan:

²⁹ V. Totok Noerwasito dan Mas Santosa "Pengaruh "Thermal Properties" Material Bata Merah" Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Universitas Kristen Petra <http://www.petra.ac.id/~puslit/journals/dir.php?DepartmentID=ARS>

- a. penyimpanan panas;
- b. isolasi terhadap panas;
- c. temperatur puncak;
- d. tinggi rendahnya temperatur dari material dinding bangunan;

Semua hal tersebut merupakan teori pendukung dari penelitian ini sesuai dengan tujuan penelitian.

2. Ragam Material Dinding

Kulit bangunan dalam hal ini dinding merupakan elemen yang sangat berpengaruh pada kenyamanan termal, karena merupakan bagian yang secara langsung berhubungan dengan iklim luar atau lingkungan luar sekitar bangunan. Sehingga jenis bahan material yang digunakan untuk dinding akan sangat mempengaruhi kenyamanan termal yang diperoleh dalam bangunan. Terdapat berbagai macam material yang dapat digunakan sebagai dinding pada sebuah bangunan rumah tinggal atau bangunan lainnya, diantaranya yaitu.³⁰

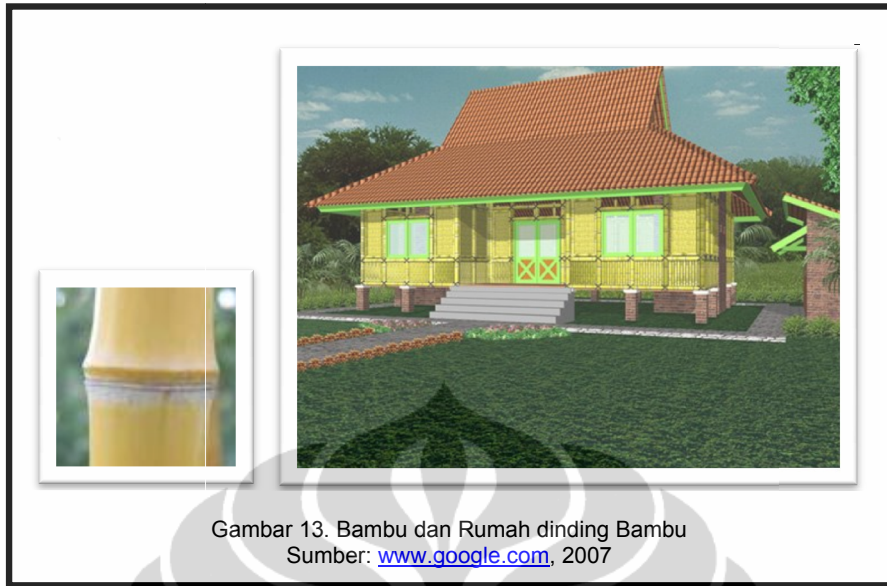
a. Rumput, Daun, Palem

1. Menguntungkan untuk iklim hangat –lembab
2. Pengudaraan baik
3. Menyerap panas
4. Mudah rusak oleh angin dan angin ribut
5. Pematulan rata-rata sekitar 20%

b. Bambu dan Buluh

1. Permukaan sangat tahan terhadap air
2. Pengudaraan baik
3. Sedikit menyerap panas
4. Kemampuan pemantulan sekitar 20%

³⁰ Agung Ari Pratama, “sifat thermal bahan atap dan dinding rekayasa thermal bangunan” jurusan arsitektur fakultas teknik sipil dan perencanaan universitas islam indonesia, yogyakarta, 2006



c. Kayu

1. Kemampuan mengisolasi panas sedang
2. Penyerapan panas kecil
3. Pemantulan rata-rata 50 %



d. Batu alam

1. Tahan terhadap cuaca
2. Kemampuan penyerapan panas tinggi
3. Bahan berpori memiliki kemampuan pengisolasian panas (batu vulkanik dan koral)



Gambar 15. Batu alam Rumah dinding batu alam
Sumber: www.google.com, 2007

e. Blok beton

1. Kemampuan menghantar panas kecil
2. Penyerapan panas sedang
3. Tahan angin
4. Pemantulan kecil pada permukaan yang tidak diolah



Gambar 16. blok beton
Sumber: www.google.com, 2007

f. Batu bata dan genteng bakar

1. Penyerapan panas baik
2. Kemampuan penyaluran panas rendah
3. Bata berongga(25-50%) memiliki daya penyeapan dan transmisi panas yang lebih kecil
4. Cocok untuk daerah hangat-lembab
5. Kemampuan pemantulan rata-rata sekitar 30-40%



Gambar 17. Batui bata dan Rumah Dinding batu bata
Sumber: www.google.com, 2007

C. Sekam Padi

1. Potensi limbah sekam padi

Negara produsen padi terkemuka adalah Tiongkok (31% dari total produksi dunia), India (20%), dan Indonesia (9%). Namun hanya sebagian kecil produksi padi dunia yang diperdagangkan antar negara (hanya 5%-6% dari total produksi dunia). Thailand merupakan pengekspor padi utama (26% dari total padi yang diperdagangkan di dunia) diikuti Vietnam (15%) dan Amerika Serikat (11%).

Indonesia merupakan pengimpor padi terbesar dunia (14% dari padi yang diperdagangkan di dunia) diikuti Bangladesh (4%), dan Brazil (3%). Produksi padi Indonesia pada 2006 adalah 54 juta ton, kemudian tahun 2007 adalah 57 juta ton (angka ramalan III), meleset dari target semula yang 60 juta ton. Pada tahun 1984 Indonesia pernah meraih penghargaan dari PBB (FAO) karena berhasil meningkatkan produksi padi hingga dalam waktu 20 tahun dapat berubah dari pengimpor padi terbesar dunia menjadi negara swasembada beras. Saat ini Indonesia kembali menjadi pengimpor padi terbesar di dunia³¹. Besarnya konsumsi beras sebagai makanan pokok dan meningkatnya produksi padi nasional dapat memberikan perkiraan makro akan jumlah material tersebut dari tahun ke tahun. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi di Indonesia pada tahun 2004

³¹ <http://id.wikipedia.org/wiki/PadiPadi>, diakses tanggal 27 februari 2008.

mencapai 53,67 juta ton gabah kering giling (GKG), dimana dapat menghasilkan sekam padi sebanyak 20%-25% dari berat keseluruhan³².



Gambar 18: tanaman padi³³

Tabel 3. Wilayah produksi padi di Indonesia

Propinsi	2002			2003		
	Luas Panen	Produktivitas	Produk si	Luas Panen	Produktivitas	Produk si
	(Juta ha)	(Ku/ha)	(Juta ton)	(Juta ha)	(Ku/ha)	(Juta ton)
Jawa	5,6	51,0	28,6	5,4	52,4	28,2
Sumatera	3,0	39,1	11,5	3,0	39,7	12,1
Bali & Nusa Tenggara	0,6	42,3	2,7	0,6	42,5	2,7
Kalimantan	1,1	29,4	3,2	1,1	29,9	3,4
Sulawesi	1,2	44,2	5,4	1,2	44,9	5,6
Maluku & Papua	0,3	29,4	0,9	0,04	33,3	0,2
Luar Jawa	5,9	38,7	22,9	6,1	39,2	24,0
Indonesia	11,5	44,7	51,5	11,5	45,4	52,2

Sumber : BPS, 2004

<http://www.bappenas.go.id/index.php?module=ContentExpress&func=viewcat&ceid=-2&catid=64>
diakses tanggal 27 februari 2008

Tabel 3 merupakan wilayah produksi padi di Indonesia, dapat dilihat bahwa hampir seluruh wilayah di Indonesia memproduksi padi. Sebut saja pulau Jawa pada tahun 2003 luas panen mencapai 5,4 juta Ha dengan hasil produksi mencapai 28,2 juta ton. Dari hasil ini tentunya akan menghasilkan limbah sekam padi sekitar 20-30% dari hasil keseluruhan. Dari tabel rata-rata produksi padi untuk seluruh Indonesia pada tahun 2003 mencapai 52,2 juta

³²<http://www.bappenas.go.id/index.php?module=ContentExpress&func=display&ceid=2139&meid>
diakses rabu 27 februari 08

³³<http://id.wikipedia.org/wiki/PadiPadi> diakses tanggal 27 februari 2008

ton, dapat pula dibayangkan berapa banyak limbah sekam padi yang akan dihasilkan dari hasil produksi tersebut.

Sekam padi adalah limbah dari hasil penggilingan padi. Karena bentuk butirnya tidak begitu halus ($\pm 3-4$ mm), dan bobotnya ringan, penyimpanan limbah ini memerlukan tempat yang luas. Sekam biasanya merupakan bahan buangan, dan pembuangannya sering menjadi masalah. Sekam padi merupakan salah satu bahan sisa dari proses pengolahan padi yang selama ini dianggap sebagai limbah.

Tabel 4. Luas panen, produktivitas, dan produksi padi Indonesia (GKG)

Tahun	LuasPanen (Juta ha)	Produktivitas (Ku/ha)	Produksi (Juta ton)	Pertumbuhan Produksi (%)
1999	12,0	42,5	50,9	3,3
2000	11,8	44,0	51,9	2,0
2001	11,5	43,9	50,5	-2,8
2002	11,5	44,7	51,5	2,0
2003	11,5	45,4	52,2	0,7
2004*	11,8	45,3	53,7	

Sumber : BPS,2004, Keterangan : * Angka Ramalan II, 2004

Tabel 4 menunjukkan luas panen, produktivitas dan produksi padi Indonesia (GKG) diramalkan tahun 2004 produksi padi naik menjadi 53,7 juta ton dari hasil tahun sebelumnya yaitu 52,2 juta ton.

Tabel 5. Waktu produksi padi di Indonesia (Januari-Desember)

	Jan - Apr	Mei - Agt	Sep - Des
LuasPanen (%)			
2002	47,7	32,9	19,4
2003*)	44,5	34,3	21,2
Produksi (%)			
2002	47,2	33,5	19,3
2003*)	43,6	35,1	21,3

Sumber : BPS,2004, Keterangan : * Angka Ramalan II, 2004

Dari segi potensi hampir seluruh kawasan Indonesia memiliki lahan persawahan dengan irigasi teknis sekurang-kurangnya 2 kali panen dalam setahun, sebagai contoh kawasan pulau jawa rata-rata pertahun dapat

menghasilkan limbah sekam padi sekitar 12.500.000 ton pertahun. Dengan data tersebut mengindikasikan bahwa potensi sekam padi cukup besar dan tersebar hampir merata ke seluruh pelosok Indonesia.

Badan Pusat Statistik (BPS) memprediksi jumlah produksi padi pada tahun 2007 pada kawasan pulau jawa khususnya Jawa Barat, akan mencapai 9.9 juta ton gabah kering giling (GKG) atau naik 5,12% dibandingkan dengan produksi pada tahun 2006. Berdasarkan angka perkiraan produksi padi tersebut, produksi beras selama tahun 2007 diperkirakan mencapai 6,26 juta ton. Jawa barat merupakan penghasil padi terbesar, sekitar 20 persen beras nasional diproduksi di provinsi ini. Tahun 2004 total produksi padi sebanyak 9,6 juta ton. Berdasarkan data dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Propinsi Jawa Barat, produksi padi di wilayah jabar empat tahun terakhir relatif stabil. Produksi tiap tahun rata-rata sekitar 9,1 juta ton.

Pada tahun 2008 produksi padi di Jawa Barat ditargetkan 10,557 juta ton gabah kering giling. Target itu naik 5 persen dari target 2007 sebanyak 10,048 juta ton GKG. Adapun perkiraan luas areal tanam tahun 2008 lebih dari 1,89 juta hektar, yang terdiri dari padi sawah 1,78 juta hektar dan gogo 116.000 hektar. Salah satu wilayah jawa barat penghasil padi adalah bandung. Hampir 20 % dari wilayah Kabupaten Bandung dengan luas 309.207,93 ha digunakan sebagai lahan persawahan³⁴. Dari 42 kecamatan di Kabupaten Dati II Bandung, terdapat 38 kecamatan yang merupakan lahan pertanian padi. Dengan data tersebut mengindikasikan bahwa potensi sekam padi cukup besar dan sangat bermanfaat jika dikembangkan menjadi campuran bahan bangunan, sehingga limbahnya tidak berlimpah.

2. Pemanfaatan limbah sekam padi

Kulit padi (sekam) merupakan salah satu material sisa dari proses pengolahan padi yang selama ini dianggap sebagai limbah. Besarnya konsumsi beras sebagai makanan pokok dan meningkatnya produksi padi nasional dapat memberikan perkiraan makro akan jumlah material tersebut dari tahun ke tahun. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi padi di Indonesia pada tahun 2004 mencapai 53,67 juta ton gabah

³⁴ BPN Kabupaten Dati 11 Bandung, 1997

kering giling (GKG), dimana dapat menghasilkan sekam padi sebanyak 20% - 25% dari berat keseluruhan.

Sekam Padi pada umumnya hanya digunakan sebagai bahan bakar utama atau tambahan pada industri pembuatan bata atau tabu, bahan dekorasi, media tumbuh bagi tanaman hias, atau bahkan dibuang di kandang hewan.

Berbagai penelitian telah dilakukan menunjukkan bahwa limbah sekam padi dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan. Berikut akan dijelaskan manfaat limbah sekam padi:

- 1) Sekam Padi mengandung banyak Silika amorf apabila dibakar mencapai suhu 500 – 700°C dalam waktu sekitar 1 sampai 2 jam. Reaktivitas antara silika dalam Abu Sekam Padi dengan kalsium hidroksida dalam pasta semen dapat berpengaruh pada peningkatan mutu beton [Hrc Priyosulistyo, 2001]. penggunaan Abu Sekam Padi (ASP) sebagai bahan pengganti sebagian semen pada mortar pasangan bata. ASP ditambahkan rencana campuran mortar tersebut berdasarkan prosentase berat, dengan prosentase penambahan bervariasi dari 1:0% sampai 3Q% dengan interval 5%. Kemudian karakteristik campuran mortar dengan penambahan ASP tersebut dibandingkan terhadap mortar standar (tanpa penambahan ASP). Hasil didapat dari pengujian ini menunjukkan bahwa campuran dengan penambahan kadar ASP sebesar 5% menggantikan berat semen keseluruhan merupakan campuran yang memiliki kekuatan tekan rata-rata yang paling tinggi dan tingkat kelecakan (workability) yang tergolong baik dibandingkan dari campuran yang lain pada umur 28 hari. Akan tetapi jika ditinjau dari segi biaya, mortar ASP 5% tidak memiliki potensi untuk dapat mengurangi biaya konstruksi, malah cenderung untuk meningkatkan biaya.³⁵
- 2) Irzaman, Ketua Tim Sosialisasi Penggunaan Tungku Sekam Sebagai Energi Alternatif dari IPB, melakukan penelitian penggunaan sekam padi yang sebagai bahan bakar pengganti minyak tanah dan pada tanggal 15 februari 2008 memperkenalkan kompor berbahan bakar limbah sekam

³⁵ Kajian Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Campuran Mortar Pasangan Bata, Remi Fitriadi Kurnia & Thomas Gander, <http://digilib.ti.itb.ac.id/go.php?id=jbptitbsi-gdl-s1-2005-remifitria-1216>, teknik sipil ITB, created 2005-03-16

(kulit padi) sebagai sumber energi alternatif pengganti kompor minyak tanah³⁶.

- 3) Sekam dapat dimanfaatkan dalam pembuatan *hard board* atau *soft board*. *Hard board* sekam mempunyai sifat tahan air, tahan api, dan tahan rayap oleh karena itu dapat digunakan untuk bagian dalam dan bagian luar rumah.
- 4) Bahan *reinforcing* karet dapat dibuat mencampurkan 50-100 bagian sekam dengan 100 bagian karet sintetik yang dapat menghasilkan karet yang baik dibandingkan dengan karet yang mempergunakan tanah liat.

Pemanfaatan Abu Sekam Padi (sisa pembakaran sekam padi) dalam berbagai bidang mulai di kembangkan salah satunya adalah bidang konstruksi. Sebuah terobosan telah berhasil dikembangkan dengan memanfaatkan limbah sebagai bahan dasar pembuatan meterial bangunan. Material ini kemudian dikenal dengan bahan bangunan ekologis. Bahan bangunan yang dibentuk dari bahan-bahan sisa atau limbah dengan menggunakan metode dan proses yang ramah lingkungan serta aman bagi kesehatan manusia merupakan definisi yang diberikan bagi istilah bahan bangunan ekologis. Pengembangan meterial bahan bangunan ramah lingkungan ini bertujuan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan dampak negatif dari limbah terhadap lingkungan.

Dari hasil Puslitbang Bandung, limbah sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai campuran dalam pembuatan beton untuk panel dinding dan bata beton, baik dalam bentuk fresh sekam padi maupun dalam bentuk abu sekam padi di dalam adukan beton maupun mortar.

Sejauh ini penelitian tentang bata beton dengan campuran sekam padi baru pada tahap pengujian secara structural, seperti pengujian kekuatan tekan bata beton sekam padi yang dilakukan oleh WS. Witarso mencapai 21,45kg/cm² memenuhi standar SNI 03-6821-2002 tentang spesifikasi agregat ringan untuk batu cetak beton pasang dinding yang menyaratkan kelas mutu IV adalah minimal 20 kg/cm².

Ditinjau dari cara pembuatannya, bata beton ada 2 macam yaitu³⁷ :

³⁶ Ipb Perkenalkan Kompor Sekam, www.kotabogor.go.id/dd/toeb diakses tanggal 27 februari 2008

³⁷ Modul bahan Bangunan Pemanfaatan Pasir <http://www.pu.go.id/balitbang/puskim>

- 1) Bata beton buatan tangan (manual) adalah bata beton yang dibuat dengan mencetak campuran lembab dari pasir dan semen portland di dalam sebuah cetakan dengan cara dipukul-pukul tangan. Setelah melalui proses pemeliharaan (di udara ruangan selama sekitar 4 minggu), bata beton siap untuk dipakai.
- 2) Bata beton buatan mesin (*vibrated*) adalah bata beton yang dibuat dengan mencetak campuran lembab dari pasir dan semen portland di dalam sebuah mesin cetak getar, sehingga diperoleh pemampatan maksimum. Setelah melalui proses pemeliharaan sekitar 4 minggu, bata beton siap untuk dipakai.

Ditinjau dari ukuran standar, bata beton ada 4 macam yaitu³⁸ :

- a. 10 x 20 x 40 cm
- b. 10 x 10 x 20 cm
- c. 20 x 20 x 40 cm
- d. 15 x 20 x 40 cm

Ukuran Bata Beton Sekam Padi yang dipakai pada penelitian ini adalah tebal = 10 cm x lebar = 20 cm x panjang = 40 cm.

Sifat-sifat & spesifikasi teknik BBSP:

- a. BBSP memenuhi persyaratan standard sni 03-6821-2002 tentang spesifikasi agregat ringan untuk batu cetak beton pasang dinding.
- b. Konduktivitas panas / *termal conductivity*
BBSP mempunyai konduktivitas panas atau kemampuan untuk menghantarkan panas secara konduksi yang rendah, yaitu $K = 0.213 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Ini berarti bahwa BBSP mempunyai daya isolasi panas atau sebaliknya mempunyai daya penahanan panas yang tinggi.
Sifat kemampuan ini menguntungkan sekali untuk menghambat panas matahari dari luar masuk ke dalam ruangan.
- c. Kuat tekan / *compressive strength*
BBSP mempunyai Kuat tekan rata-rata $21,45\text{kg/cm}^2$.

³⁸ SNI-03-0349-1989 tentang bata beton pasangan dinding

Perbandingan Campuran³⁹

- a. Perbandingan campuran bata beton murni, semen : pasir untuk bata beton yang umum digunakan berkisar antara 1 : 8 sampai 1 : 10, dengan perbandingan air semen.
- b. Perbandingan Komposisi adukan yang digunakan dalam pemanfaatan limbah sekam padi yaitu 1 pc : 8 ps + 20% sekam padi.

BBSP adalah bahan bangunan alternatif untuk dinding bangunan, merupakan beton yang terbuat dari campuran semen dan pasir serta air dengan bahan tambahan sekam padi sebagai bahan dasarnya, proses pembuatannya sama dengan proses pembuatan bata beton murni yaitu dicetak, dipadatkan dengan mesin getar dan dikeringkan dengan kondisi alam.

Dari aspek kekuatan BBSP sudah dites dan diterapkan sebagai dinding rumah tinggal, selain aspek kekuatan aspek kenyamanan (kondisi termal) juga menjadi salah satu aspek yang penting dalam rumah tinggal. Sehingga perlu diteliti apakah kondisi termal BBSP akan lebih nyaman digunakan bila dibandingkan dengan menggunakan Bata Beton Murni (BBM).

Ukuran bata beton murni yang dipakai pada penelitian ini adalah tebal = 10 cm x lebar = 20 cm x panjang = 40 cm.

Sifat-Sifat & Spesifikasi Teknik BBM⁴⁰:

- a. BBM memenuhi persyaratan standard sni 03-6821-2002 tentang spesifikasi agregat ringan untuk batu cetak beton pasang dinding.
- b. Konduktivitas panas / termal conductivity

BBM mempunyai konduktivitas panas atau kemampuan untuk menghantarkan panas secara konduksi lebih tinggi dari BBSP yaitu $K = 1 \text{ W/M}^\circ\text{C}$. Ini berarti berarti BBM mempunyai daya penghantar panas yang tinggi dan daya isolasi panas yang rendah.

³⁹[http://www.pu.go.id/balitbang/puskim/Advis_Teknik/Modul%20C1%20\(bahan%20Bangunan\)/Modul%20C1_2%20Pemanfaatan%20Pasir.pdf?Cache](http://www.pu.go.id/balitbang/puskim/Advis_Teknik/Modul%20C1%20(bahan%20Bangunan)/Modul%20C1_2%20Pemanfaatan%20Pasir.pdf?Cache)

⁴⁰ Puslitbang Bandung