

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN KONDISI TERMAL RUMAH TINGGAL BBSP DAN BBM

A. Rumah tinggal BBSP

Rumah tinggal BBSP adalah rumah yang dibangun menggunakan dinding dari bata beton sekam padi. BBSP merupakan hasil pengembangan bahan bangunan dengan memanfaatkan limbah sekam padi sebagai campuran dalam pembuatan bata beton yang diaplikasikan sebagai dinding bangunan.

Sebagai bahan bangunan bata beton sekam padi selain memenuhi standar dari segi kekuatan juga harus dapat memenuhi kebutuhan dari segi kenyamanan, sehingga dalam studi ini penulis mencoba menganalisa kondisi termal (temperatur udara) rumah tinggal yang menggunakan dinding Bata Beton Sekam Padi, yang merupakan salah satu bagian dari kenyamanan.

Sebelum melakukan pengukuran terhadap rumah tinggal BBSP, terlebih dahulu di uraikan data yang mendukung dalam penelitian ini.

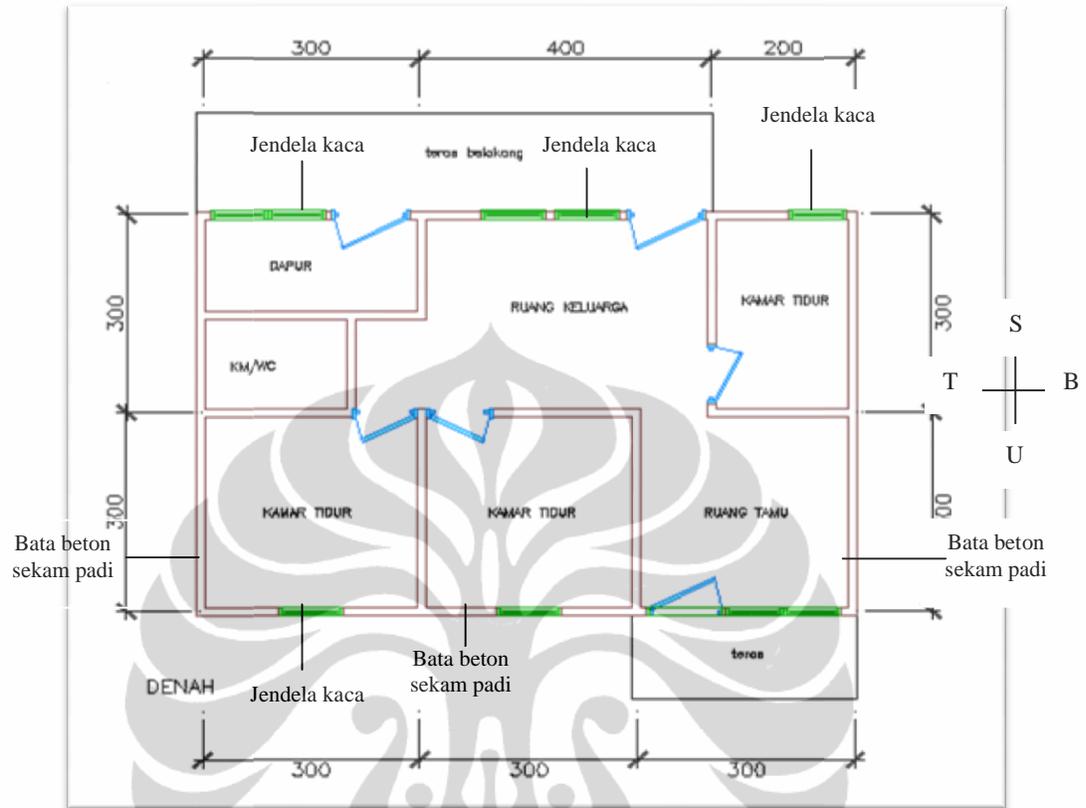
Tabel 6. Data lokasi bangunan

no.	Jenis data	Keterangan
1	Nama lokasi	Bandung
2	Garis lintang	6° 55' LS.
3	Garis bujur	107° BT
4	Ketinggian	±768 m

(Sumber: Data penelitian, 2008)

Lokasi penelitian dilaksanakan di Bandung, dengan ketinggian ± 768 meter di atas permukaan laut dan menurut data klimatologi dari meteorology dan geofisika termaksud kedalam zona iklim mikro tropis lembab. Dengan demikian kota Bandung memiliki indikator iklim mikro tropis lembab yang cukup jelas dan merupakan parameter kondisi kenyamanan termal.

Denah rumah tinggal BBSP dapat di lihat pada gambar 27. Rumah tinggal ini terdiri dari 7 ruangan yaitu 1 ruang tamu, 1 ruang keluarga, 3 kamar tidur, 1 dapur, dan 1 km/wc. Luas bangunan secara keseluruhan 54 m².



Gambar 27. Denah Rumah tinggal BBSP tipe 54
(Sumber: data penelitian, 2008)



Gambar 28. Tampak depan rumah tinggal BBSP
(sumber: data penelitian, 2008)

Komponen bangunannya terdiri dari:

- a) Komponen Dinding bangunan menggunakan:
Bata beton dengan komposisi campuran 1 pc : 8 ps + 20% sekam padi, dengan ukuran 10x20x40 cm.
- b) Lantai bangunan menggunakan tegel putih dengan ukuran 30 x 30 cm
- c) Jendela menggunakan kaca sebagai penutup jendela dan menggunakan kusen kayu sebagai bingkainya.
- d) Pintu terbuat dari kayu kamper.
- e) Untuk penutup atap menggunakan genteng
- f) Plafound menggunakan tripleks.

Bangunan menghadap keutara, pada sisi barat bangunan tidak terdapat bukaan begitupun sisi timurnya, bukaan hanya terdapat pada sisi utara dan sisi selatan bangunan.



Gambar 29. Sisi utara dan barat bangunan BBSP
(Sumber: data penelitian, 2008)

Tabel 7. Data ukuran pintu dan jendela

No	Jenis data	Ukuran		Jumlah	Keterangan
		Tinggi (cm)	Lebar (cm)		
1	Pintu	190	90	1 buah	Ruang tamu
		190	90	3 buah	Kamar tidur
		190	90	1 buah	Ruang keluarga
		190	90	1 buah	Dapur
		180	60	1 buah	Km/wc
2	Jendela	90	70	2 buah	Ruang tamu
		75	70	2 buah	Ruang tamu
		90	70	3 buah	Kamar tidur
		90	70	2 buah	Ruang keluarga
		80	70	2 buah	Dapur
3	Buplit	40	90	3 buah	Ruang tamu
		40	90	3 buah	Kamar tidur
		40	90	1 buah	Ruang keluarga
		40	70	2 buah	Dapur

(Sumber: Data penelitian, 2008)

1. Data Iklim Kota Bandung

Data klimatologi kawasan Bandung dan sekitarnya merupakan data control kawasan studi. Data iklim dari Badan Meteorologi dan Geofisika rata-rata tahun 2003-2007 dapat dilihat pada tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8 Data Iklim Kota Bandung (Rata-rata tahun 2003 – 2007)

Bulan	Suhu (°C)			RH (%)	Curah Hujan Rata ² (mm)	Hari Hjn Rata ²	Kec. Angin (m/dt)
	Rata ²	Max	Min				
Jan	23.28	28.42	19.82	80.60	174.78	23	2.63
Feb	23.02	27.38	19.98	81.80	337.24	24	2.75
Mar	23.48	28.74	19.84	81.20	293.12	24	2.37
Apr	23.74	29.08	19.64	80.80	207.02	20	1.77
Mei	24.00	29.36	19.46	78.40	145.38	15	1.95
Jun	23.14	29.10	18.50	75.80	91.36	11	1.95
Jul	22.84	28.94	18.30	75.20	92.04	11	2.16
Agt	23.20	29.50	18.18	71.00	48.10	5	2.06
Sep	23.64	29.72	18.80	73.40	84.72	11	2.35
Okt	23.86	30.04	19.26	75.80	188.66	15	2.66
Nov	23.68	29.10	20.00	80.60	263.74	20	2.16
Des	23.38	28.38	19.90	80.40	234.80	21	2.37
Rata²	23.44	28.98	19.31	77.92	180.1	17	2.27

(Sumber : BMG Kota Bandung 2003-2007)

2. Data Pengukuran Konduktivitas

Sebelum melakukan pengukuran pada rumah tinggal terlebih dahulu peneliti melakukan pengujian konduktivitas terhadap material BBSP dan BBM untuk mengetahui nilai konduktivitas dari material tersebut. BBSP mempunyai konduktivitas panas atau kemampuan untuk menghantarkan panas yang rendah yaitu $K = 0.213 \text{ W/M}^\circ\text{C}$. Ini berarti bahwa bata beton sekam padi mempunyai daya isolasi panas atau sebaliknya mempunyai daya penahan panas yang tinggi. Sifat kemampuan ini menguntungkan sekali untuk menghalau panas matahari dari luar masuk ke dalam ruangan. Dibandingkan dengan BBM yang mempunyai konduktivitas panas atau kemampuan untuk menghantarkan panas yang lebih tinggi dari BBSP yaitu $K = 1 \text{ W/M}^\circ\text{C}$. Ini berarti daya isolasi panas atau daya penahan panas BBSP lebih baik dari BBM.

Dapat dilihat pada tabel 9 dibawah ini hasil pengukuran konduktivitas pada material BBSP dan BBM:

Tabel 9. Data pengukuran *thermal conductivity*

No	Kode	Ukuran (cm)			Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Conductivity Kcal/mh [°] c	T0 °c	T1 °c
		P	L	T					
1	BBSP	20	10	3.5	1100.5	1100.5	0.213	25	31
		20	10	3.5					
2	BBM	20	10	2.5	967,9	967,10	1	25	32
		20	10	2.5					

(Sumber: Data penelitian, 2008)

3. Data Pengukuran Kondisi Termal Rumah Tinggal BBSP

Gambaran umum data kondisi termal pada setiap titik ukur (TU) berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat dilihat dalam bentuk tabel yang merupakan hasil pengolahan data baku dilapangan.

Pada suatu penelitian agar mendapatkan hasil yang maksimal, maka observasi sebaiknya dilakukan sebanyak 6 kali dalam 1 tahun. Tetapi bila 6 kali itu terlalu banyak, maka 6 kali itu dapat menjadi 4 kali dalam 1 tahun, yaitu pada bulan Februari, Maret, September, dan November. Jika 4 kali itu tetap tidak bisa dilakukan, maka observasi dapat dilakukan sebanyak 1 kali

dalam 1 tahun. Tetapi 1 kali itu harus dipilih bulan yang tepat dan baik dari empat bulan yang lainnya.

Karena keterbatasan waktu dalam mengolah data maka penulis hanya memilih satu hari pengukuran yang dianggap dapat mewakili dari semua waktu ukur yaitu tanggal 28 februari untuk pengukuran konduktivitas dan tanggal 21 maret untuk pengukuran suhu dinding bangunan karena tanggal 28 Februari dan 21 Maret merupakan tanggal dan bulan representatif dimana radiasi matahari sangat kuat pancarannya, sehingga pada tanggal dan bulan tersebut sangat efektif dalam melakukan penelitian.

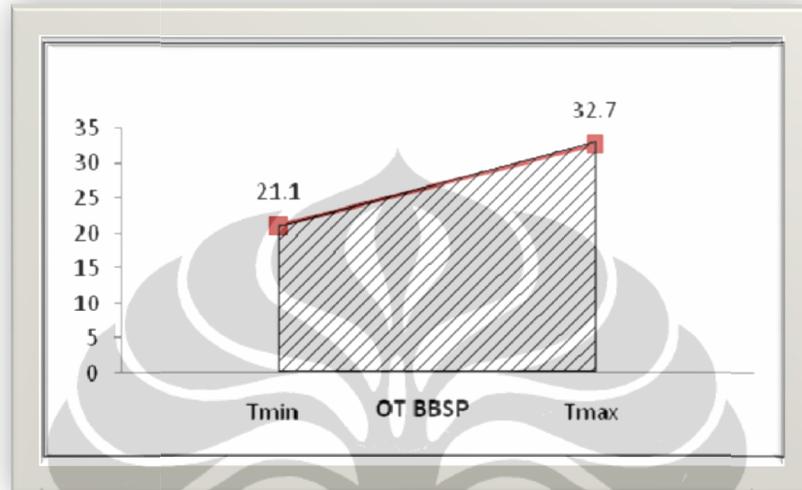
Berikut adalah data pengukuran temperatur udara rumah tinggal BBSP yang digunakan untuk menganalisa kondisi termal bangunan rumah tinggal BBSP, Pada saat pengukuran, jendela dan pintu tertutup. Durasi pengukuran selama 24 jam dengan interval waktu satu jam sekali.

Tabel 10. Data pengukuran temperatur udara rumah tinggal BBSP

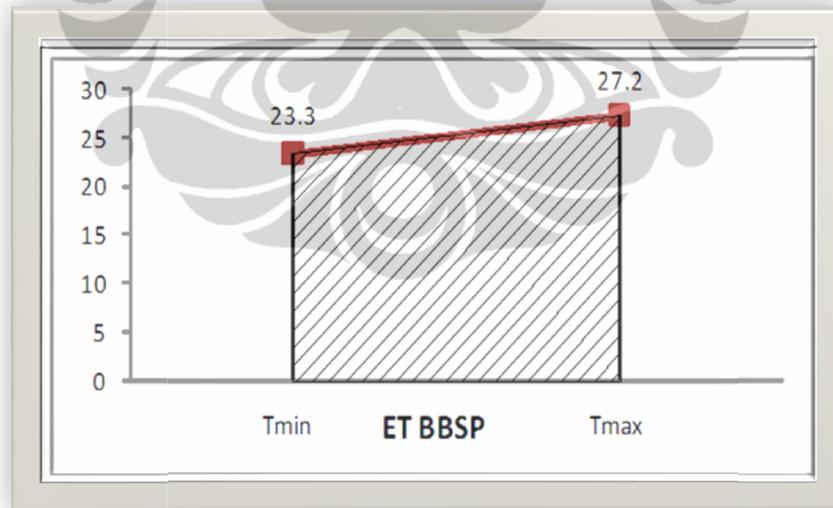
N o	Waktu (wib)	TU1 R. tamu	TU2 R.Keluarga	TU3 Dind.luar utara	TU4 Dind. utara dalam	TU5 Dind. Barat luar	TU6 dind. Barat dalam	TU7 Dind. Selatan luar	TU8 Dind. Selatan dalam	TU9 Dind. Timur luar	TU10 Dind. Timur dalam
1	0	25.2	24.8	24.1	25.2	23.7	25.7	24	25.3	24	24.7
2	1	24.9	24.4	23.3	25.1	23.6	25.6	23.3	25.2	24	24.4
3	2	24.8	24.1	22.4	24.8	23.9	25.6	22.7	24.6	23.6	24.1
4	3	24.7	23.8	21.9	24.4	23	25.1	22.3	24.5	23.3	23.8
5	4	24.7	23.9	21.5	24.3	23.4	25.1	21.9	24	22.9	23.5
6	5	23.7	23.8	21.1	24	22.7	24.8	21.6	24	22.7	23.4
7	6	22.2	23.1	22	23.5	21.3	24.4	22.1	23.8	22	23.3
8	7	24	23.4	22.9	23.4	23.2	24.6	22.4	23.5	23.5	23.8
9	8	25.6	24.3	24.7	23.6	23.6	24.4	24.1	24	24.8	23.7
10	9	26.2	25.6	25.6	23.7	25.3	24.6	25.6	24	27.8	24.4
11	10	26.7	26.4	27.2	24.3	27	24.8	27.1	24.8	27.9	24.9
12	11	26	26	28	24.4	27	24.2	28.2	25.2	28.1	24.5
13	12	25.3	26.6	28.7	24.8	28.6	24.6	28.9	25.8	27.7	25.4
14	13	26.8	27	28.8	25.7	29.8	24.9	29	26.5	27.7	25.7
15	14	28.2	27.5	28.9	26.3	32.7	25.7	28.8	26.9	28.3	26.2
16	15	26.9	27	27.7	26.4	29.5	26.1	28.1	27.1	27.1	26.3
17	16	26.8	26.4	27	27	27.7	26.1	27	27.2	26.5	26
18	17	26.5	25.9	26	26.8	27.1	26.1	26.2	27	26.3	25.9
19	18	26.3	25.9	25.8	26.3	26.6	26.5	26.2	26.6	25.6	26
20	19	23.9	25.6	25.3	25.9	25.2	26.1	25.7	26.3	24.5	25.8
21	20	23.9	25.2	25	25.6	24.6	25.9	25.3	25.9	24.3	25.5
22	21	24.8	25	24.5	26	25	26	24.5	26	25	25.2
23	22	24.4	24.9	24.7	25.6	24	25.8	24.7	25.8	24.4	25
24	23	24.9	24.7	23.6	25.4	24.3	25.7	23.8	25.5	24.6	24.8

(sumber: data penelitian, 2008)

Pada tabel 10 dapat dilihat perubahan T_{min} dan T_{max} ruang dalam dan luar bangunan seperti yang di gambarkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 30: OT BBSP
(Sumber data penelitian, 2008)

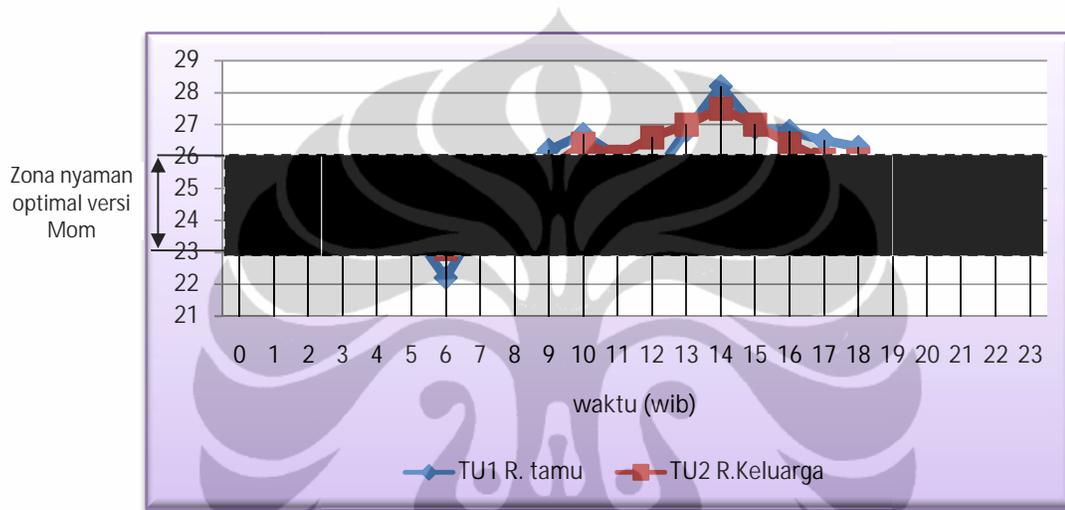


Gambar 31: ET BBSP
(Sumber data penelitian, 2008)

4. Analisis Kondisi Termal BBSP

Gambar pergerakan naik turunnya temperatur dinding dalam dan dinding luar serta temperatur dalam ruangan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

- a. Titik ukur 1 dan 2 (ruang tamu dan ruang keluarga)



Gambar 32. Pergerakan temperatur TU1 dan TU2 BBSP
(Sumber: data penelitian, 2008)

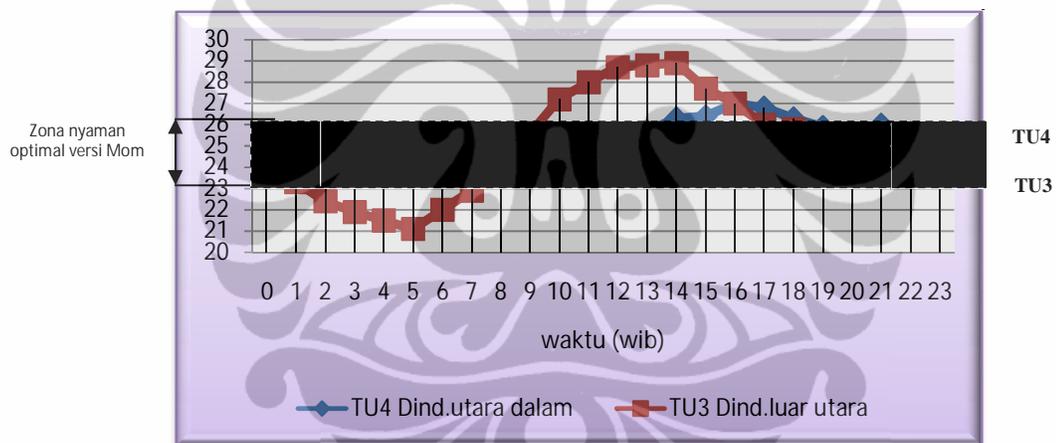
Gambar 32 menunjukkan naik turunnya suhu ruang pada titik ukur TU1 dan TU2. Kurva merah adalah suhu ruang keluarga (TU2) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan suhu ruang tamu (TU1). Suhu TU1 berubah dari pagi hari ke malam hari dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 09.00 sampai pukul 18.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU1 mencapai 28.2°C pada pukul 14.00 dan Tmin pada TU1 mencapai 22.2°C pada pukul 06.00.

Sementara suhu TU2 berubah dari pagi ke malam juga dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 16.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU2 mencapai 27.5°C pada pukul 14.00 dan Tmin TU2 mencapai 23.1 pada pukul 06.00.

Perbedaan antara suhu TU1 dan TU2 tidak terlalu jauh, zona nyaman optimal TU1 dalam 24 jam berada pada pukul 00.00-08.00 (8 jam) dan pukul 19.00-23.00 (4 jam), sementara zona nyaman optimal pada TU2 terjadi pada pukul 00.00-09.00 (9 jam) dan pukul 17.00-23.00 (6 jam). secara keseluruhan kedua ruang berada di zona nyaman optimal pada waktu yang bersamaan (selama 12-15 jam) dan berada diluar zona nyaman optimal selama 9 jam. Hal ini disebabkan karena letak kedua titik ukur tidak begitu jauh.

Kedua titik ukur (TU1 dan TU2) diletakan di tengah ruangan masing-masing pada ruang tamu dan ruang tengah dapat dilihat pada gambar 20 dan 21 halaman 43.

b. Titik ukur 3 dan 4 (dinding utara)



Gambar 33. Pergerakan temperatur TU3 dan TU4 BBSP
Sumber: data penelitian, 2008

Gambar 33 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada titik ukur TU3 dan TU4. Kurva merah adalah OT (TU3) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU4). Suhu TU4 berubah dari pagi hari ke malam hari dengan perbedaan yang kecil, menjelang pukul 14.00 sampai pukul 18.00 suhu berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU4 mencapai 27°C pada pukul 16.00 dan Tmin TU4 mencapai 23.4°C pada pukul 07.00.

Sementara suhu TU3 berubah dari pagi ke malam dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 16.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman. Tmax pada TU3 mencapai

28.9°C pada pukul 14.00 dan T_{min} TU3 mencapai 21.1°C pada pukul 05.00.

Perbedaan antara suhu TU3 dan TU4 sangat besar, dalam 24 jam suhu TU4 hampir secara keseluruhan berada dalam zona nyaman optimal (17 jam) yaitu pada pukul 00.00-13.00 (13 jam) dan pukul 19.00-23.00 (4 jam), sementara suhu TU3 hampir secara keseluruhan selama 24 jam berada diluar zona nyaman (16 jam). Zona nyaman pada TU3 hanya terjadi pada pukul 00.00-01.00 (1 jam), pukul 07.00-09.00 (2 jam), dan pukul 18.00-23.00 (5 jam) zona nyaman pada TU3 terjadi selama 8 jam.

Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 22 halaman 44, TU3 dan TU4 diletakan pada dinding sebelah utara dekat jendela.

Pada gambar 31 menunjukkan bahwa disaat OT (TU3) meningkat, ET (TU4) berada pada kondisi yang stabil dimana jika ditarik garis lurus suhu pada TU4 selalu berada pada zona nyaman optimal hampir secara keseluruhan selama 24 jam.

Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBSP yang kecil atau daya hantar panas yang lambat dapat menghambat dan mengisolasi panas sehingga terjadi hanya sedikit kelebihan panas atau berada diluar zona nyaman pada pukul 14.00 sampai pukul 18.00. pada saat suhu TU3 mulai menurun pada pukul 16.00 suhu TU4 berada pada T_{max} 27°C namun berada lebih rendah dari T_{max} pada TU3.

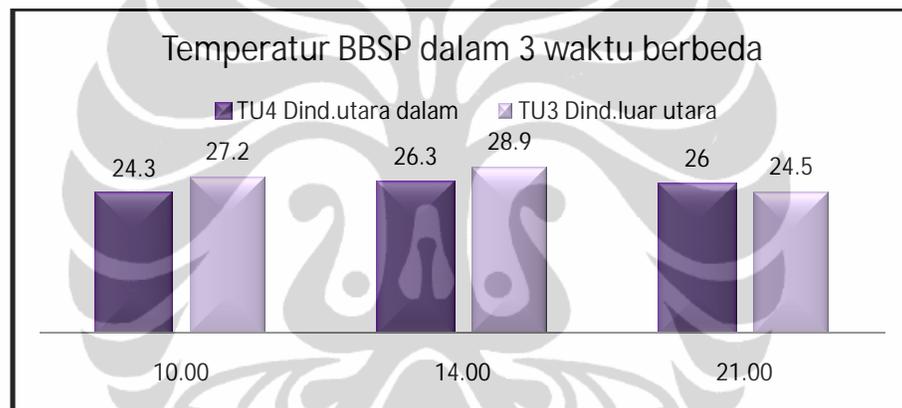
Adanya jendela pada dinding yang diletakan titik ukur tidak membawa pengaruh besar terhadap perubahan suhu dalam ruang. Terbukti walaupun T_{max} diluar ruangan mencapai 28.9°C pada pukul 14.00 namun pada jam yang sama T dalam ruangan hanya mencapai 26.3°C.

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU3 dan TU4 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 34

Pada pukul 10 pagi disaat matahari menyinari TU3, suhu TU4 masih rendah dibanding dengan TU3 dalam kondisi seperti ini kemungkinan

panas yang akibatkan oleh radiasi matahari ke dinding masih akan mengalir ke dalam material dan sebagian panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

Material dapat menghambat panas yang masuk dari luar tercatat dalam rentang waktu 4 jam (pukul 10 pagi-pukul 2 siang) ET TU4 masih berada lebih rendah dari OT TU3 yang pada saat itu berada pada posisi Tmax. Selain menghambat panas pada siang hari material juga menyimpan panas pada malam hari dimana pada saat suhu TU3 sudah menurun, suhu TU4 tetap stabil berada pada suhu 26°C hampir sama seperti suhu TU4 pada pukul 2 siang.



Gambar 34

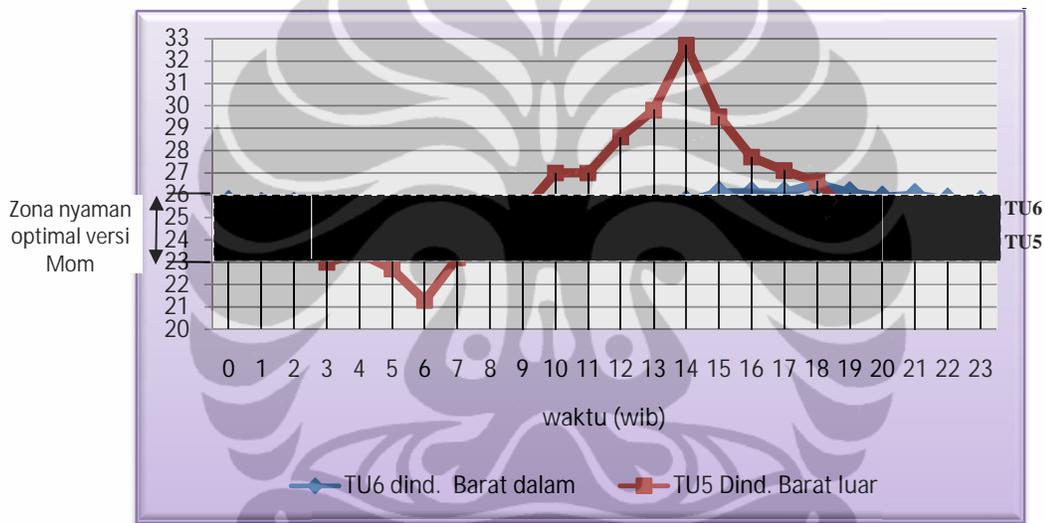
. Diagram temperatur material BBSP pada TU3 dan TU4 dalam tiga waktu berbeda (Sumber: data penelitian, 2008)

- Pada pukul 10 pagi suhu TU4 24.3°C lebih rendah dibanding suhu TU3 27.2°C sehingga panas akan mengalir kedalam walaupun demikian sebagian besar panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 14.00 sore suhu TU3 sangat tinggi 28.9°C walaupun sebagian suhu sudah memasuki TU4, sebagian besar panas masih tetap dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 21.00 malam suhu TU3 telah cukup menurun 24.5°C menjadi dibawah suhu TU4 26°C.

Dari kondisi diatas dapat disimpulkan bahwa material BBSP dapat menghambat panas pada siang hari dan bisa menyimpan panas pada saat suhu menurun di malam hari, walaupun terjadi perubahan grafik

dari pukul 10 pagi sampai pukul 21.00 malam namun TU4 tetap berada pada zona nyaman optimal ketika suhu TU3 berada diluar zona nyaman optimal. Terlihat pada gambar 33 kedua titik ukur selalu berada dalam kondisi yang berbeda, dalam situasi seperti ini timelag BBSP memisahkan bangunan dari OTmax dan OTmin. Panasnya suhu TU3 pada pukul 10.00 sampai pukul 18.00 dapat di hambat oleh dinding BBSP sehingga suhu yang masuk pada TU4 tidak sepanas pada TU3.

c. Titik ukur 5 dan 6 (dinding barat)



Gambar 35. Pergerakan temperatur TU5 dan TU6 BBSP
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 35 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada TU5 dan TU6. Kurva merah adalah OT (TU5) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU6). Suhu TU6 berubah dari pagi hari ke malam hari dengan perbedaan yang kecil. Menjelang pukul 16.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU6 mencapai 26.5°C pada pukul 18.00 dan Tmin TU6 mencapai 24.2°C pada pukul 11.00.

Sementara suhu TU5 berubah dari pagi ke malam dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 18.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU5

mencapai 32.7°C pada pukul 14.00 dan T_{min} TU5 mencapai 21.3°C pada pukul 06.00.

Perbedaan antara suhu TU5 dan TU6 sangat besar, dalam 24 jam suhu TU6 hampir secara keseluruhan berada dalam zona nyaman optimal (23 jam) sementara suhu TU5 hampir secara keseluruhan selama 24 jam berada diluar zona nyaman optimal (14 jam). Zona nyaman optimal pada TU5 (10 jam) hanya terjadi pada pukul 00.00-04.00 (4 jam), pukul 07.00-09.00 (2 jam), dan pukul 19.00-23.00 (4 jam).

Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 23 halaman 44, TU5 dan TU6 diletakan pada dinding sebelah barat. Pada gambar 34 menunjukkan bahwa disaat OT (TU5) meningkat, ET (TU6) berada pada kondisi yang stabil dimana jika ditarik garis lurus suhu pada TU6 selalu berada pada zona nyaman optimal hampir secara keseluruhan selama 24 jam.

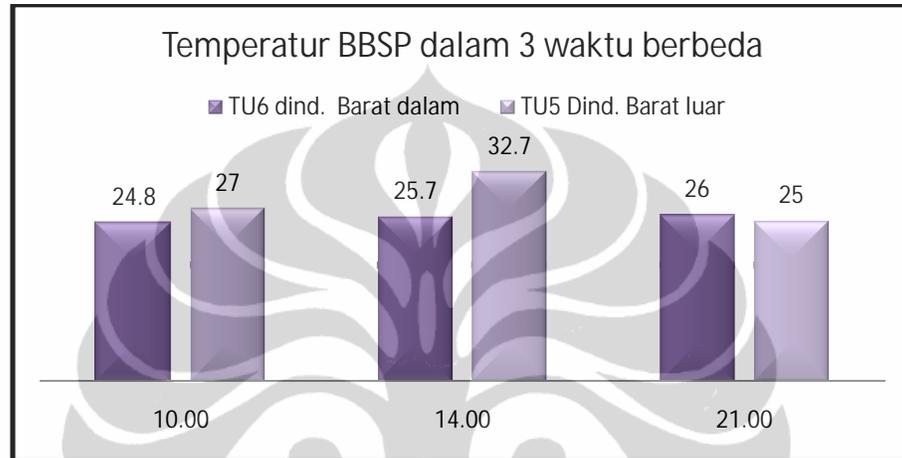
Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBSP yang kecil atau daya hantar panas yang lambat dapat menghambat dan mengisolasi panas sehingga terjadi hanya sedikit kelebihan panas atau berada diluar zona nyaman pada pukul 18.00. pada saat suhu TU5 mulai menurun pada pukul 18.00 suhu TU6 berada pada T_{max} 26.5°C namun berada lebih rendah dari T_{max} pada TU5 32.7°C pukul 14.00.

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU5 dan TU6 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 36 dibawah ini.

Pada pukul 10 pagi disaat matahari menyinari TU5, suhu TU6 masih rendah dibanding dengan TU5 dalam kondisi seperti ini kemungkinan panas yang di akibatkan oleh radiasi matahari ke dinding masih akan mengalir kedalam material dan sebagian panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

Material dapat menghambat panas yang masuk dari luar tercatat dalam rentang waktu 4 jam (pukul 10 pagi-pukul 2 siang) ET TU6 25.7°C masih berada lebih rendah dari OT TU5 32.7°C yang pada saat

itu berada pada posisi Tmax. Selain menghambat panas pada siang hari material juga menyimpan panas pada malam hari dimana pada saat suhu TU5 sudah menurun menjadi 25°C, suhu TU6 berada pada suhu 26°C hampir sama seperti suhu TU6 pada pukul 2 siang dan hanya selisih 0.3°C.



Gambar 36

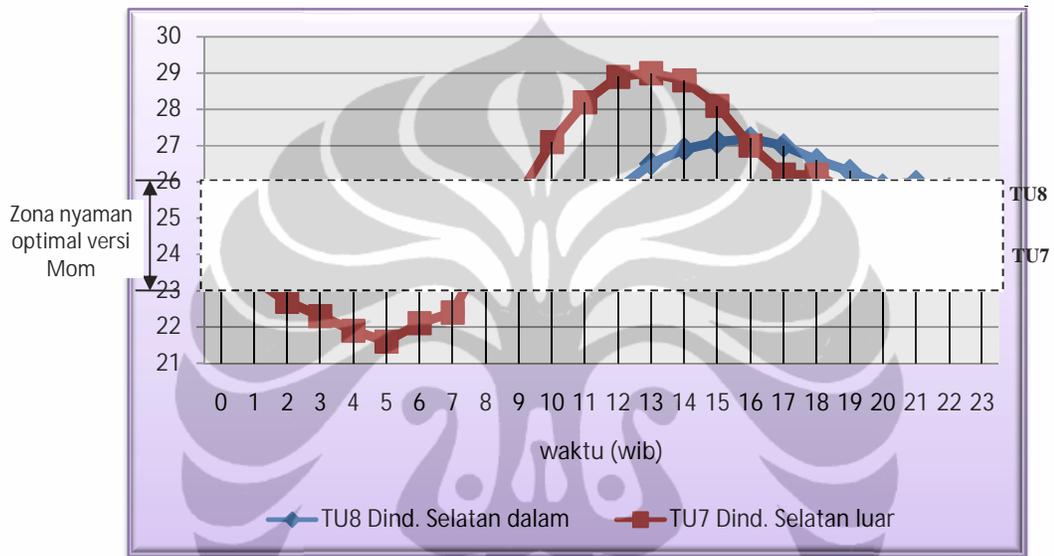
Diagram temperatur material BBSP pada TU5 dan TU6 dalam tiga waktu yang berbeda
(Sumber: data penelitian, 2008)

- Pada pukul 10 pagi suhu TU6 24.8°C lebih rendah dibanding suhu TU5 27°C sehingga panas akan mengalir kedalam walaupun demikian sebagian besar panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 14.00 sore suhu TU5 sangat tinggi 32.7°C walaupun sebagian suhu sudah memasuki TU6, sebagian besar panas masih tetap dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 21.00 malam suhu TU5 telah cukup menurun 25°C menjadi dibawah suhu TU6 26°C. Sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir keluar tanpa pernah memasuki ruang dalam rumah.

Dari kondisi diatas dapat disimpulkan bahwa material BBSP dapat menghambat panas pada siang hari dan bisa menyimpan panas pada saat suhu menurun di malam hari, walaupun terjadi perubahan grafik dari pukul 10 pagi sampai pukul 21 malam namun TU6 tetap berada pada zona nyaman optimal. Terlihat pada gambar 35 kedua titik ukur

selalu berada dalam kondisi yang berbeda, dalam situasi seperti ini timelag BBSP memisahkan bangunan dari suhu luar yang tinggi dan suhu luar yang rendah. Panasnya suhu TU5 pada pukul 10.00 sampai pukul 18.00 dapat di hambat oleh dinding BBSP sehingga suhu yang masuk pada TU6 tidak sepanas pada TU5.

d. Titik ukur 7 dan 8 (dinding selatan)



Gambar 37. Pergerakan temperatur TU7 dan TU8 BBSP
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 37 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada TU8 dan TU7. Kurva merah adalah OT (TU9) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU8). Suhu TU8 berubah dari pagi hari ke malam hari dengan perbedaan yang kecil. Menjelang pukul 13.00 sampai pukul 19.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU8 mencapai 27.1°C pada pukul 16.00 dan Tmin TU8 mencapai 23.5°C pada pukul 07.00.

Sementara suhu TU7 berubah dari pagi ke malam dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 18.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU7 mencapai 29°C pada pukul 13.00 dan Tmin TU7 mencapai 21.6 pada pukul 05.00.

Perbedaan antara suhu TU8 dan TU7 sangat besar, dalam 24 jam suhu TU8 hampir secara keseluruhan berada dalam zona nyaman optimal (15 jam) yaitu pada pukul 00.00-12.00 (12 jam) dan pukul 20.00-23.00 (3 jam), sementara suhu TU7 hampir secara keseluruhan selama 24 jam berada diluar zona nyaman optimal (18 jam). Zona nyaman pada TU7 (6 jam) hanya terjadi pada pukul 00.00-01.00 (1 jam), pukul 08.00-09.00 (1 jam), dan pukul 19.00-23.00 (4 jam).

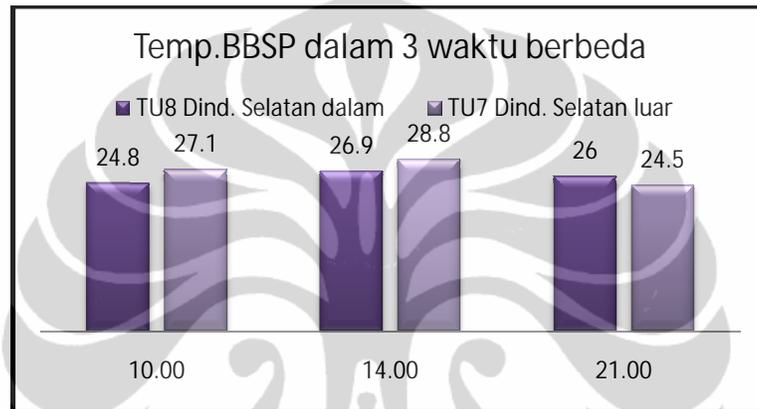
Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 24 halaman 45, TU7 dan TU8 diletakan pada dinding sebelah selatan dekat jendela. Pada gambar 37 menunjukkan bahwa disaat OT (TU7) meningkat, ET (TU8) berada pada kondisi yang lebih baik dimana jika ditarik garis lurus, suhu pada TU8 selalu berada pada zona nyaman optimal hampir secara keseluruhan selama 24 jam.

Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBSP yang kecil atau daya hantar panas yang lambat dapat menghambat dan mengisolasi panas sehingga terjadi hanya sedikit kelebihan panas atau berada diluar zona nyaman pada pukul 13.00-19.00. Pada saat suhu TU7 mulai menurun pada pukul 16.00 suhu TU8 berada pada Tmax 27.2°C namun berada lebih rendah dari Tmax pada TU7 29°C pukul 13.00. Adanya jendela pada dinding yang diletakan titik ukur tidak membawa pengaruh besar terhadap perubahan suhu dalam ruang. Terbukti walaupun Tmax diluar ruangan mencapai 29°C pada pukul 13.00 namun pada jam yang sama suhu dalam ruangan hanya mencapai 26.5°C.

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU7 dan TU8 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 38.

Pada pukul 10 pagi disaat matahari menyinari TU7, suhu TU8 masih rendah dibanding dengan TU7 dalam kondisi seperti ini kemungkinan panas yang di akibatkan oleh radiasi matahari ke dinding masih akan mengalir kedalam material dan sebagian panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

Material dapat menghambat panas yang masuk dari luar tercatat dalam rentang waktu 4 jam (pukul 10 pagi-pukul 2 siang) OT TU8 26.9°C masih berada lebih rendah dari ET TU7 28.8°C. Selain menghambat panas pada siang hari material juga menyimpan panas pada malam hari dimana pada saat suhu TU7 sudah menurun menjadi 24.5°C, suhu TU8 berada pada suhu 26°C hampir sama seperti suhu TU6 pada pukul 2 siang dan hanya selisih 0.9°C.



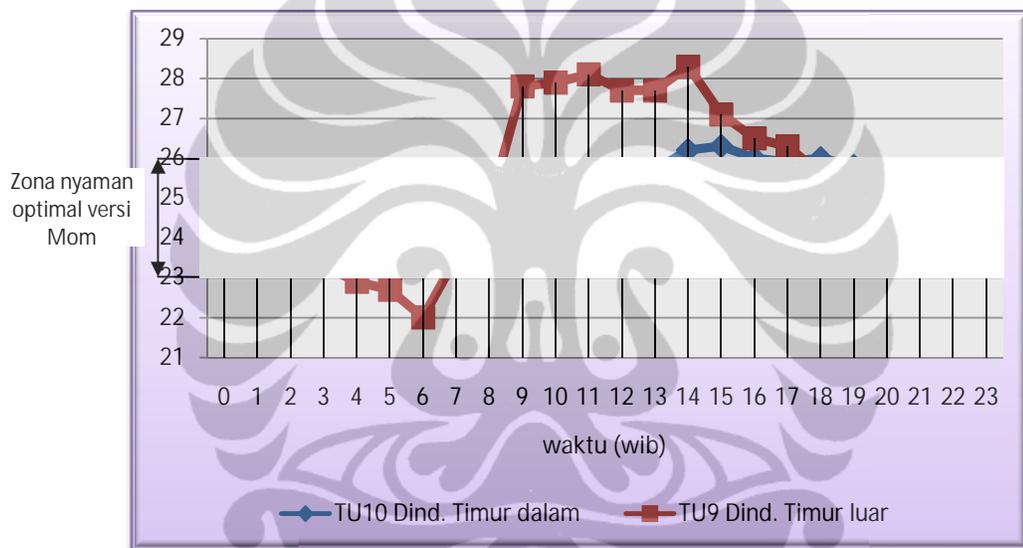
Gambar 38
Diagram temperatur material dinding BBSP dalam tiga waktu yang berbeda
(Sumber: data penelitian, 2008)

- Pada pukul 10 pagi suhu TU8 lebih rendah 24.8°C dibanding suhu TU7 27.1°C sehingga panas akan mengalir kedalam walaupun demikian sebagian besar panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 14.00 sore suhu TU7 sangat tinggi 28.8°C walaupun sebagian suhu sudah memasuki ruang dalam, sebagian besar panas masih tetap dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 21.00 malam suhu TU5 telah cukup menurun 24.5°C menjadi dibawah suhu TU6 26°C. Sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir keluar tanpa pernah memasuki ruang dalam rumah. Dalam situasi seperti ini timelag BBSP memisahkan bangunan dari suhu luar yang tinggi.

Dari kondisi diatas dapat disimpulkan bahwa material BBSP dapat menghambat panas pada siang hari dan bisa menyimpan panas pada

saat suhu menurun di malam hari, walaupun terjadi perubahan grafik dari pukul 10 pagi sampai pukul 21.00 malam namun TU8 tetap berada pada zona nyaman optimal. Terlihat pada gambar 37 kedua titik ukur selalu berada dalam kondisi yang berbeda, dalam situasi seperti ini timelag BBSP memisahkan bangunan dari OTmax dan OTmin. Panasnya suhu TU7 pada pukul 10.00 sampai pukul 17.00 dapat di hambat oleh dinding BBSP sehingga suhu yang masuk pada TU8 tidak sepanas pada TU7.

e. Titik ukur 9 dan 10 (dinding timur)



Gambar 39. Pergerakan temperatur TU9 dan TU10 BBSP
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 39 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada TU9 dan TU10. Kurva merah adalah OT (TU9) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU10). Suhu TU10 berubah dari pagi hari ke malam hari dengan perbedaan yang kecil. Menjelang pukul 15.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU10 mencapai 26.3°C pada pukul 15.00 dan Tmin TU10 mencapai 23.3°C pada pukul 06.00.

Sementara suhu TU9 berubah dari pagi ke malam dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 09.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU9

mencapai 28.3°C pada pukul 14.00 dan T_{min} TU9 mencapai 22°C pada pukul 06.00.

Perbedaan antara suhu TU10 dan TU9 sangat besar, dalam 24 jam suhu TU10 hampir secara keseluruhan berada dalam zona nyaman optimal (21 jam) yaitu pada pukul 00.00-14.00 (14 jam) dan pukul 16.00-23.00 (7 jam), sementara suhu TU9 hampir secara keseluruhan selama 24 jam berada diluar zona nyaman optimal (15 jam). Zona nyaman pada TU9 (9 jam) hanya terjadi pada pukul 00.00-03.00 (3 jam), pukul 07.00-08.00 (1 jam), dan pukul 18.00-23.00 (5 jam).

Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 25 halaman 46, TU9 dan TU10 diletakan pada dinding sebelah timur. Pada gambar 40 menunjukkan bahwa disaat OT (TU9) meningkat, ET (TU10) berada pada kondisi yang lebih baik dimana jika ditarik garis lurus, suhu pada TU10 selalu berada pada zona nyaman optimal hampir secara keseluruhan selama 24 jam.

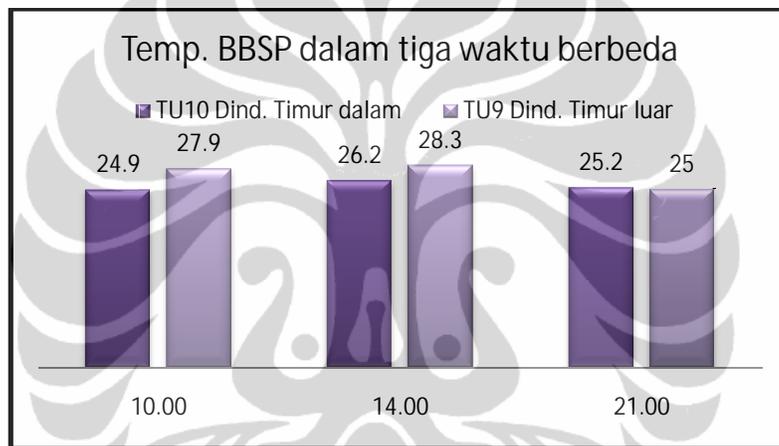
Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBSP yang kecil atau daya hantar panas yang lambat dapat menghambat dan mengisolasi panas sehingga terjadi hanya sedikit kelebihan panas atau berada diluar zona nyaman pada pukul 14.00-15.00. Pada saat suhu TU9 mulai menurun pada pukul 15.00 suhu TU10 berada pada T_{max} 26.3°C namun berada lebih rendah dari T_{max} pada TU9 28.3°C pukul 14.00. Adanya jendela pada sebelah dinding yang diletakan titik ukur tidak membawa pengaruh besar terhadap perubahan suhu dalam ruang. Terbukti walaupun T_{max} OT mencapai 28.3°C pada pukul 14.00 namun pada jam yang sama ET hanya mencapai 26.3°C.

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU9 dan TU10 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 40 dibawah ini.

Pada pukul 10 pagi disaat matahari menyinari TU9, suhu TU10 masih rendah dibanding dengan TU9 dalam kondisi seperti ini kemungkinan panas yang di akibatkan oleh radiasi matahari ke dinding

masih akan mengalir kedalam material dan sebagian panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

Material dapat menghambat panas yang masuk dari luar tercatat dalam rentang waktu 4 jam (pukul 10 pagi-pukul 2 siang) suhu permukaan dinding TU10 26.2°C masih berada lebih rendah dari suhu permukaan dinding TU9 28.3°C. Selain menghambat panas pada siang hari material juga menyimpan panas pada malam hari dimana pada saat suhu TU9 sudah menurun menjadi 25°C, suhu TU8 berada pada suhu 25.2°C.



Gambar 40.
Diagram temperatur BBSP pada TU9 dan TU10 dalam tiga waktu yang berbeda
(Sumber: data penelitian, 2008)

- Pada pukul 10 pagi suhu TU10 lebih rendah 24.9°C dibanding suhu TU9 27.9°C sehingga panas akan mengalir kedalam walaupun demikian sebagian besar panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 14.00 suhu TU9 sangat tinggi walaupun sebagian suhu sudah memasuki ruang dalam, sebagian besar panas masih tetap dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 21.00 suhu ruang luar telah cukup menurun menjadi dibawah suhu ruang dalam walaupun selisihnya sangat kecil. Sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir keluar tanpa pernah memasuki ruang dalam rumah. Dalam situasi

seperti ini timelag BBSP memisahkan bangunan dari suhu luar yang tinggi.

Dari kondisi diatas dapat disimpulkan bahwa material BBSP dapat menghambat panas pada siang hari dan bisa menyimpan panas pada saat suhu menurun di malam hari, walaupun terjadi perubahan gambar dari pukul 10 pagi sampai pukul 21.00 malam namun TU10 tetap berada pada zona nyaman optimal. Terlihat pada gambar 39 kedua titik ukur selalu berada dalam kondisi yang berbeda, dalam situasi seperti ini timelag BBSP memisahkan bangunan dari OT yang tinggi dan OT yang rendah. Panasnya suhu TU9 pada pukul 10.00 sampai pukul 17.00 dapat di hambat oleh dinding BBSP sehingga suhu yang masuk pada TU10 tidak sepanas pada TU9.

Kesimpulan secara keseluruhan setiap ET yang ditunjukkan dalam 3 waktu yang berbeda selalu berada dalam zona nyaman optimal, dan tidak selalu mengikuti kondisi OT yang rata-rata berada dalam zona tidak nyaman. Hal ini menunjukkan bahwa material BBSP dapat menghambat panas dari dinding luar bangunan untuk masuk kedalam ruang. Walaupun dinding BBSP dapat menyimpan panas namun tidak meningkatkan suhu dalam ruang secara ekstrim pada malam hari, karena dari gambar ditunjukkan bahwa suhu yang dihasilkan ketika malam hari masih tetap berada dalam zona nyaman.

5. Analisis kondisi kenyamanan termal BBSP

Untuk memperjelas analisa zona kenyamanan untuk kondisi Indonesia, maka penulis mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Mom, dengan kategori sebagai berikut: zona *sejuk* ($20,5 - 22,8$ °C T_e), zona *nyaman optimal* ($22,8 - 26$ °C T_e), dan zona *hangat nyaman* ($26 - 27,1$ °C T_e).

Dengan memperhatikan data pada tabel 10 maka dapat disimpulkan bahwa angka-angka untuk temperatur dalam ruang baik T_{min} maupun T_{max} rata-rata memenuhi syarat kenyamanan, pada kondisi T maksimum yaitu:

- 1) Pengukuran pukul 11.00 dalam beberapa titik ukur (TU 1, TU 2) mencapai 26°C, maka TU 1 dan TU 2 berada pada rentang nyaman optimal.
- 2) Pengukuran pukul 16.00 dalam beberapa titik ukur (TU 1, TU 2, TU 4, TU 6, TU 8, TU 10) mencapai antara 27°C, maka titik ukur tersebut berada pada rentang hangat nyaman.
- 3) Pengukuran pukul 21.00 dalam beberapa titik ukur (TU 4, TU 6, TU 8) mencapai 26°C, maka titik ukur tersebut berada pada rentang nyaman optimal.

Di bawah ini adalah tabel yang menunjukkan waktu nyaman optimal dan waktu diluar nyaman optimal pada setiap titik ukur BBSP selama 24 jam

Tabel 11.
Waktu nyaman optimal dan waktu diluar nyaman optimal BBSP

Titik ukur (TU)	Maks		Min		Zona		Waktu nyaman optimal (jam)	Waktu di luar nyaman optimal (jam)
	(°c)	Jam	(°c)	Jam	Maks	Min		
1	28,2	14.00	22,2	06.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	12	12
2	27,5	14.00	23,1	06.00	Luar zona nyaman	Nyaman optimal	15	9
3	28,9	14.00	21,1	05.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	8	16
4	27	16.00	23,4	07.00	Hangat nyaman	Nyaman optimal	17	7
5	32,7	14.00	21,3	06.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	10	14
6	26,5	18.00	24,2	07.00	Hangat nyaman	Nyaman optimal	23	1
7	29	13.00	21,6	05.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	6	18
8	27,1	16.00	23,5	07.00	Hangat nyaman	Nyaman optimal	15	9
9	28,3	14.00	22	06.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	9	15
10	26,3	15.00	23,3	06.00	Hangat nyaman	Nyaman optimal	21	3

Sumber: (data penelitian, 2008)

Dari tabel 11 dapat dilihat bahwa waktu nyaman optimal yang ditunjukkan oleh titik ukur yang diletakan didalam ruang pada bangunan berdinding BBSP (TU1, TU2, TU4, TU6, TU8, TU10) yang di beri warna biru selalu berada lebih lama dari waktu diluar nyaman optimal, sementara waktu nyaman pada titik ukur yang diletakan di luar bangunan berdinding

BBSP (TU3, TU5, TU7, TU9) yang diberi warna merah berada lebih cepat dari waktu diluar nyaman optimal.

Saat titik ukur diluar bangunan lebih lama dengan waktu diluar nyaman optimal, titik ukur didalam bangunan justru menunjukkan waktu nyaman optimal yang lebih lama. Hal ini bisa disebabkan karena pengaruh dari dinding BBSP yang dapat menghambat panas dari luar bangunan (timelag atau penundaan panas pada BBSP lambat) sehingga membuat suhu dinding dalam ruang tetap berada dalam zona nyaman optimal walaupun suhu di luar dinding BBSP berada di luar zona nyaman optimal.

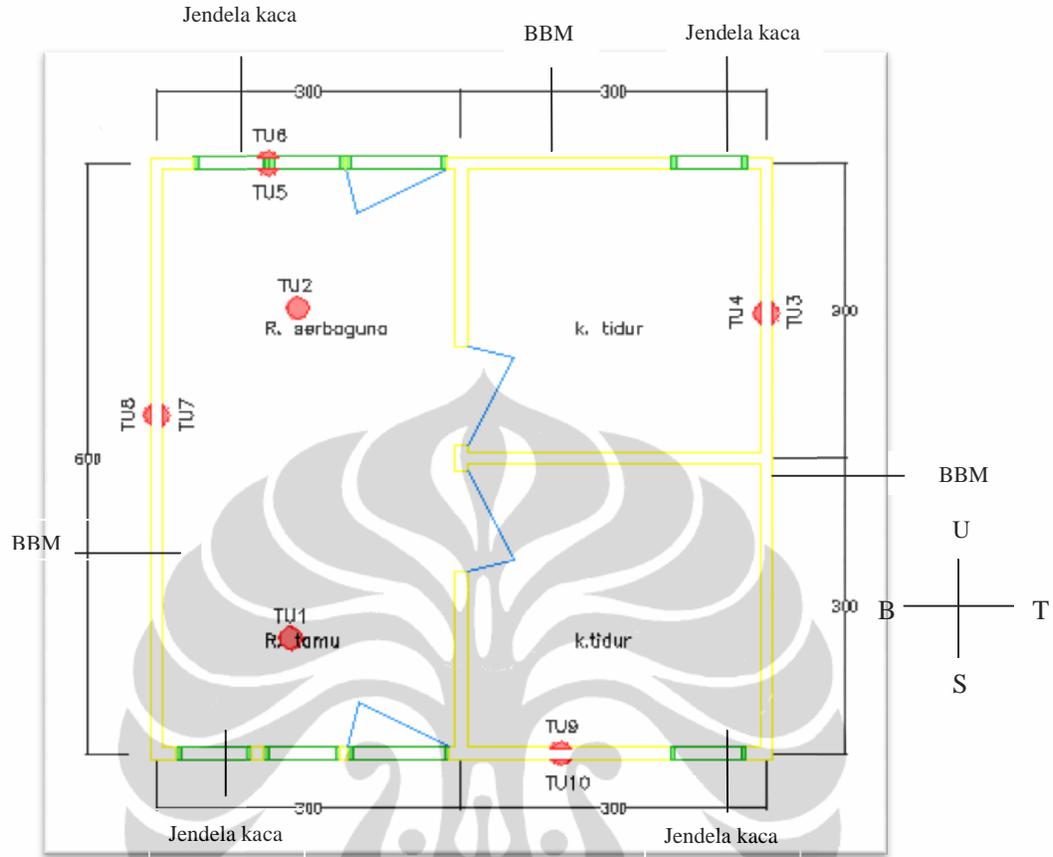
B. Rumah tinggal BBM

Yang dimaksud dengan rumah tinggal BBM adalah rumah tinggal yang ber dinding bata beton murni, pada studi ini selain mengukur temperatur rumah tinggal BBSP peneliti juga mengadakan pengukuran terhadap rumah tinggal BBM hal ini dimaksudkan untuk membandingkan pengaruh antara kedua material tersebut terhadap temperatur dalam ruang. Pengukuran rumah tinggal BBM juga dilakukan di Bandung.

Denah rumah tinggal BBM dapat di lihat pada gambar 45, rumah tinggal ini terdiri dari 4 ruangan yaitu 1 ruang tamu, 1 ruang serba guna, 2 kamar tidur. Luas bangunan secara keseluruhan 36 m².

Komponen bangunannya terdiri dari:

- a) Komponen Dinding bangunan menggunakan:
Bata beton dengan komposisi campuran 1 pc : 8 ps dengan ukuran 10x20x40 cm.
- b) Lantai bangunan menggunakan tegel putih dengan ukuran 30 x 30 cm
- c) Jendela menggunakan kaca sebagai penutup jendela dan menggunakan kusen kayu sebagai bingkainya.
- d) Pintu terbuat dari kayu kamper.
- e) Untuk penutup atap menggunakan genteng
- f) Plafound menggunakan tripleks.



Gambar 41. Denah Rumah tinggal BBM
(Sumber: Koleksi penelitian, 2008)

Bangunan menghadap ke selatan, pada sisi barat bangunan tidak terdapat bukaan begitupun sisi timurnya, bukaan hanya terdapat pada sisi utara dan sisi selatan bangunan.

1. Data Pengukuran kondisi Termal Rumah Tinggal BBM

Gambaran umum data kondisi termal pada setiap titik ukur (TU) berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat dilihat dalam bentuk tabel yang merupakan hasil pengolahan data baku di lapangan. Karena keterbatasan waktu dalam mengolah data maka penulis hanya memilih satu hari pengukuran yang dianggap dapat mewakili dari semua waktu ukur.

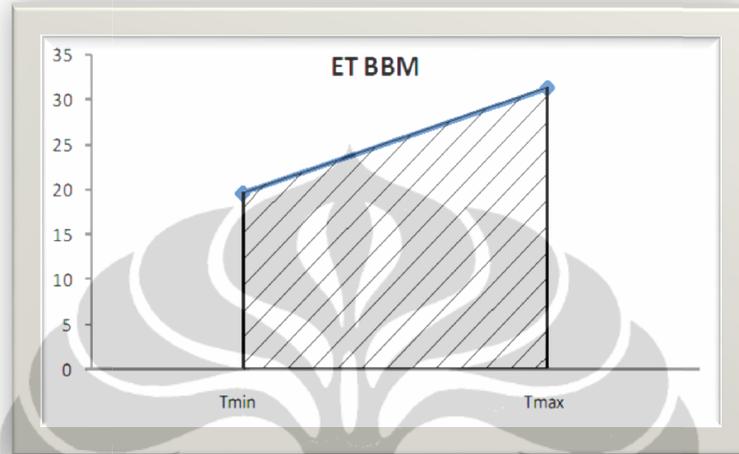
Berikut adalah data pengukuran temperatur udara rumah tinggal BBM yang digunakan untuk menganalisa kondisi termal bangunan rumah tinggal BBM. Pada saat pengukuran, jendela dan pintu tertutup. Durasi pengukuran selama 24 jam dengan interval waktu satu jam sekali.

Tabel 12. Data pengukuran temperatur udara rumah tinggal BBM

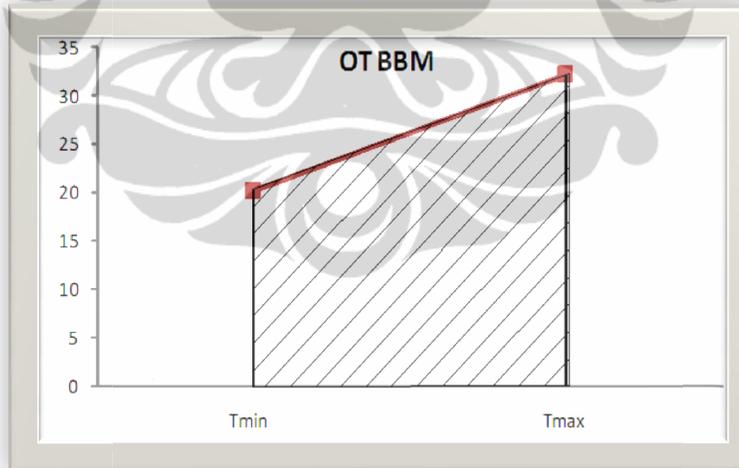
No	Jam	TU1 R. tamu	TU2 R.serba guna	TU3 Dind luar timur	TU4 Dind dlm timur	TU5 Dind Dlm utara	TU6 Dind luar utara	TU7 dind. Dlm barat	TU8 dind. luar barat	TU9 dind. dlm selat an	TU10 dind. luar selat an
1	00.00	23.3	23.1	23.1	23.3	23.0	22.2	22.6	22.1	22.5	23.2
2	01.00	22.8	22.6	22.4	21.8	22.5	21.5	21.9	21.0	22.0	22.6
3	02.00	22.8	22.4	22.3	21.7	22.4	21.5	21.8	21.1	22.0	22.5
4	03.00	21.9	21.6	21.8	20.7	21.7	20.6	21.2	21.2	21.1	21.1
5	04.00	22.0	21.6	21.3	20.7	21.7	20.4	21.0	21.7	21.2	21.0
6	05.00	21.7	21.3	21.1	20.2	21.7	20.2	20.6	21.6	20.9	21.4
7	06.00	20.8	20.6	21.2	20.4	20.7	20.2	19.7	20.4	20.0	20.5
8	07.00	20.0	20.8	21.6	21.7	21.2	21.5	19.7	21.4	20.7	20.3
9	08.00	21.9	22.6	22.6	22.8	24.4	22.4	21.6	22.7	20.9	21.9
10	09.00	24.1	24.4	25.0	25.9	26.9	25.8	23.9	26.4	23.4	24.2
11	10.00	25.4	26.1	26.9	27.1	27.6	27.9	25.7	27.0	25.0	25.9
12	11.00	25.8	27.0	27.8	27.5	26.1	29.2	27.7	29.3	26.3	27.3
13	12.00	27.1	27.5	28.5	27.7	27.0	29.7	28.4	32.2	26.8	27.8
14	13.00	28.2	28.8	30.5	28.3	28.2	30.5	30.5	31.1	27.6	29.5
15	14.00	28.3	29.2	31.0	28.7	28.8	30.5	31.2	30.7	28.0	29.9
16	15.00	28.8	29.4	30.6	28.6	28.7	30.5	31.3	29.2	28.4	30.2
17	16.00	27.7	28.7	29.3	27.9	28.3	29.5	29.1	26.7	27.9	29.2
18	17.00	26.5	26.6	28.2	26.6	26.5	27.5	27.1	26.1	26.8	27.4
19	18.00	25.8	25.6	26.8	25.6	25.8	26.2	26.0	25.4	25.7	26.7
20	19.00	26.0	25.9	26.4	25.2	25.5	25.5	25.6	24.8	25.3	26.7
21	20.00	25.6	25.4	25.8	24.7	25.0	24.7	24.9	24.0	24.8	25.8
22	21.00	25.0	24.6	25.1	23.9	24.5	24.1	24.5	23.9	24.2	25.3
23	22.00	24.5	24.0	24.2	23.5	23.7	23.5	23.7	23.4	23.8	24.6
24	23.00	24.1	23.7	23.8	23.0	23.4	22.7	23.2	22.9	23.2	24.2

(sumber: data penelitian, 2008)

Pada tabel 12 dapat dilihat perubahan suhu minimum dan maksimum ruang dalam dan luar bangunan:



Gambar 42: ET BBM
(Sumber: Data Penelitian 2008)

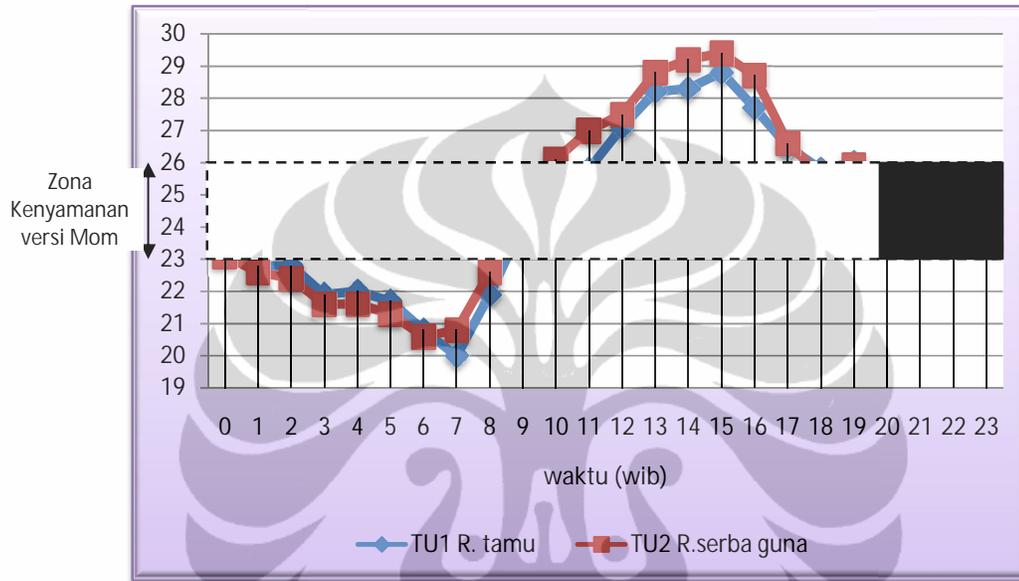


Gambar 43: OT BBM
(Sumber: Data Penelitian 2008)

2. Analisis kondisi termal BBM

Grafik pergerakan naik turunnya temperatur dinding dalam dan dinding luar serta temperatur dalam ruangan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

Titik ukur 1 dan 2 (ruang tamu dan ruang serbaguna)

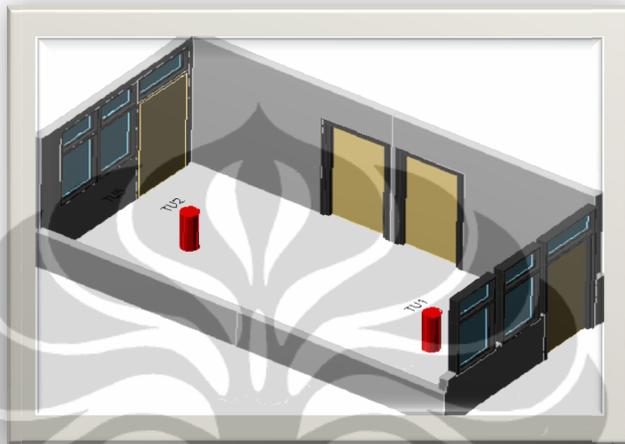


Gambar 44. Pergerakan temperatur TU1 dan TU2 BBM
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 44 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada TU1 dan TU2. Kurva merah adalah suhu ruang serbaguna (TU2) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan suhu ruang tamu (TU1). Suhu TU1 dan TU2 berubah dari pagi hari ke malam hari dengan perbedaan yang besar dan berada pada posisi yang sama. Menjelang pukul 11.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU1 mencapai 28.8°C pada pukul 15.00 dan Tmin TU1 mencapai 20°C pada pukul 07.00. Tmax pada TU2 mencapai 29.4°C pada pukul 15.00 dan Tmin TU2 mencapai 20.6 pada pukul 06.00.

Dalam 24 jam suhu TU1 hampir secara keseluruhan berada diluar zona nyaman optimal (12 jam) yaitu pada pukul 01.00-08.00 (7 jam) dan pukul 12.00-17.00 (5 jam), sementara suhu TU2 selama 24 jam juga berada diluar zona nyaman optimal (14 jam) yaitu pukul 01.00-08.00 (7 jam) dan pukul 10.00-17.00 (7 jam). Zona nyaman optimal

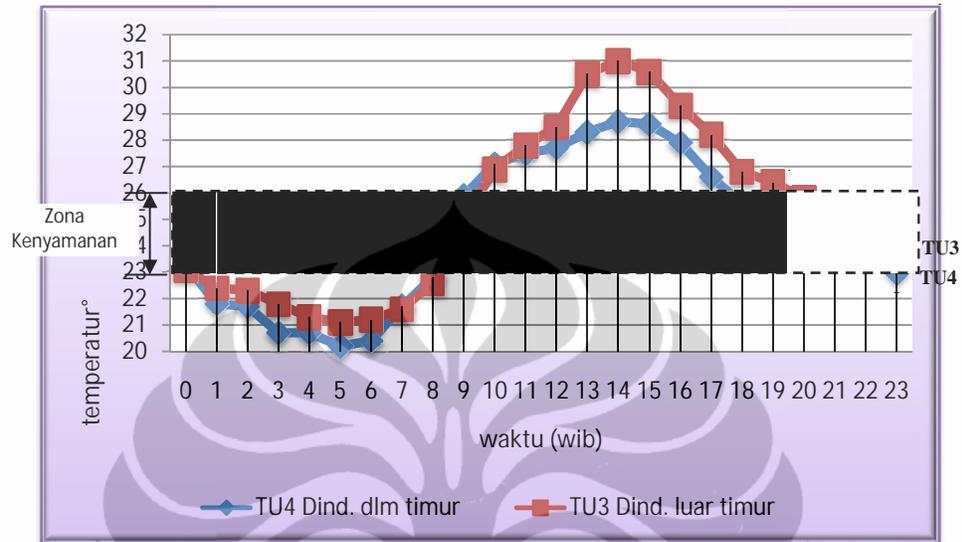
pada TU1 (9 jam) hanya terjadi pada pukul 00.00 (1 jam), 08.00-11.00 (3 jam) dan pukul 18.00-23.00 (5 jam). Pada TU2 zona nyaman optimal terjadi pada pukul 09.00-10.00 (2 jam) dan 18.00-23.00 (5 jam).



Gambar 45. Penempatan TU1 dan TU2 BBM
(Sumber: data penelitian,2008)

Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 45, TU1 dan TU2 diletakan di tengah ruang tamu dan ruang keluarga. Adanya bukaan pada 2 arah yang berlawanan mempunyai pengaruh terhadap suhu dalam ruang. Letak titik ukur yang bersebrangan mengakibatkan suhu pada TU1 dan TU2 tidak jauh beda. Nilai konduktivitas BBM yang lebih tinggi dari BBSP atau daya hantar panas yang besar mengakibatkan suhu diluar ruangan dan didalam ruangan sama disebabkan BBM tidak bisa mengisolasi panas atau menghambat panas dari luar bangunan ke dalam bangunan. Adanya pintu dan jendela yang terletak dekat titik ukur juga membawa pengaruh terhadap perubahan suhu dalam ruang. OT mencapai 29.2°C pada pukul 15.00, pada jam yang sama ET mencapai 29.4°C.

Titik ukur 3 dan 4 (dinding timur)



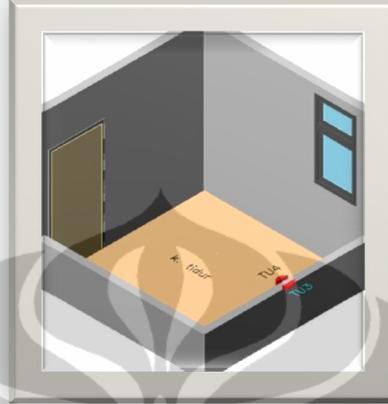
Gambar 46. Pergerakan temperatur TU3 dan TU4 BBM
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 46 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada TU3 dan TU4. Kurva merah adalah OT (TU3) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU4). Suhu TU4 berubah dari pagi hari ke malam hari dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU4 mencapai 28.7°C pada pukul 14.00 dan Tmin TU4 mencapai 20.2°C pada pukul 05.00.

Sementara suhu TU3 berubah dari pagi ke malam juga dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 18.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU3 mencapai 31°C pada pukul 14.00 dan Tmin TU3 mencapai 21.1°C pada pukul 05.00. Ketika TU 3 mencapai Tmax TU4 juga berada pada Tmax.

Pergerakan antara suhu TU3 dan TU4 hampir sama, dalam 24 jam suhu TU4 hampir secara keseluruhan berada diluar zona nyaman optimal (16 jam) yaitu pada pukul 00.00-08.00 (8 jam) dan pukul 10.00-18.00 (8 jam), sementara suhu TU3 hampir secara keseluruhan selama 24 jam juga berada diluar zona nyaman (20 jam). Zona

nyaman pada TU3 (4 jam) hanya terjadi pada pukul 09.00, dan pukul 20.00-23.00 (3 jam).



Gambar 47. Penempatan TU3 dan TU4 BBM
(Sumber: koleksi penelitian,2008)

Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 47, TU3 dan TU4 diletakan pada dinding sebelah timur. Pada gambar 46 menunjukkan bahwa pergerakan suhu pada TU3 dan TU4 hampir selalu dalam posisi yang sama, dimana saat OT (TU3) meningkat atau berada diluar zona nyaman selalu diikuti dengan kondisi pada ET (TU4) yang jika ditarik garis lurus berada diluar zona nyaman pada jam yang sama dengan TU3.

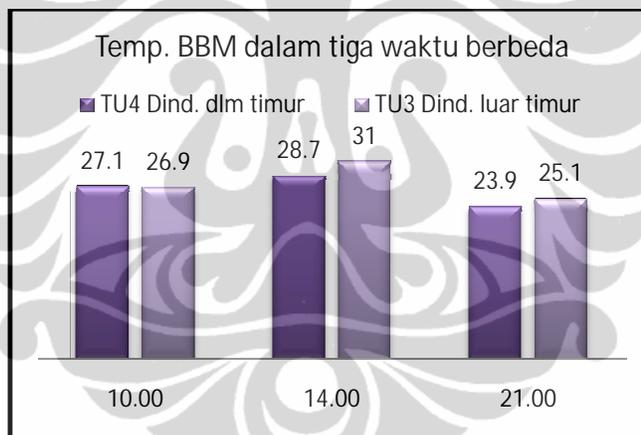
Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBM yang besar atau daya hantar panas yang besar tidak dapat menghambat panas dari luar sehingga mengakibatkan panas dengan cepat dihantarkan kedalam bangunan dan pergerakan suhu TU3 dan TU4 selalu sama. Panasnya suhu TU3 pada pukul 10.00 sampai pukul 19.00 juga terjadi pada TU4 dimana kedua titik ukur dalam waktu yang bersamaan hampir memiliki suhu yang sama Tmax kedua titik ukur mempunyai selisih sebesar 2.3°C

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU3 dan TU4 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 48 dibawah ini.

Pada pukul 10 pagi suhu pada TU3 hampir sama dengan suhu pada TU4 hanya selisih 0.2°C , dalam keadaan seperti ini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dari radiasi matahari langsung mengalir material dan meningkatkan suhu pada permukaan dinding dalam (TU4).

Ketika suhu dinding pada TU3 meningkat 31°C suhu dinding pada TU4 juga naik menjadi 28.7°C , walaupun suhu dinding TU4 tercatat lebih rendah dari dinding luar namun tetap berada diluar zona nyaman.

Pada siang hari material BBM tidak dapat menghambat panas yang masuk dalam ruang selain itu material juga tidak bisa menghambat suhu dingin pada malam hari, seperti yang tercatat pada pukul 21.00 malam ketika suhu dinding TU3 menurun suhu dinding TU4 berada dibawah suhu TU3.



Gambar 48.

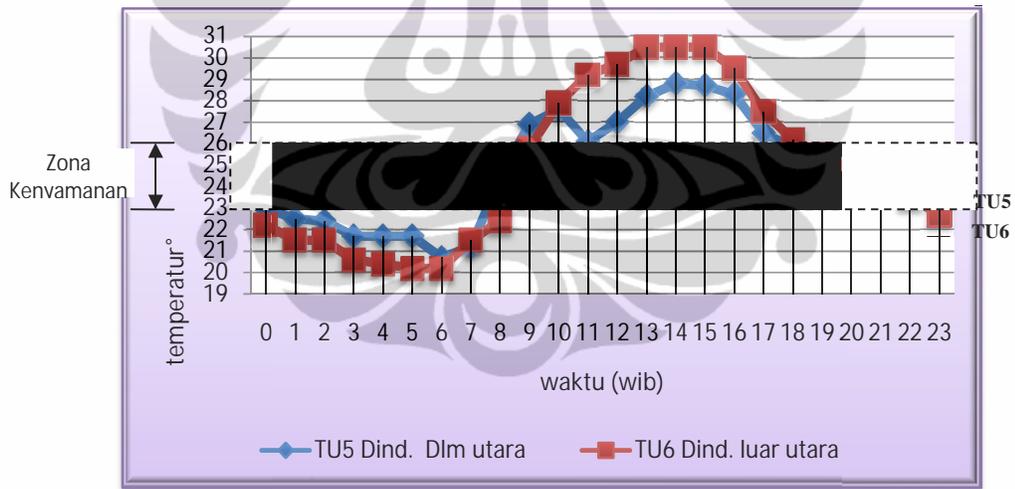
Diagram temperatur dinding BBM pada TU3 dan TU4 dalam tiga waktu yang berbeda
(Sumber: data penelitian, 2008)

1. Pada pukul 10 pagi suhu TU4 26.9°C lebih rendah dibanding suhu TU3 27.1°C sehingga panas akan mengalir kedalam walaupun demikian hanya sebagian kecil panas yang dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
2. Pada pukul 14.00 sore suhu TU3 sangat tinggi 31°C walaupun sebagian suhu sudah memasuki TU4, sebagian besar panas dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.

3. Pada pukul 21.00 malam suhu TU3 telah cukup menurun 25.1°C berada diatas suhu TU4 23.9°C. Sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir memasuki ruang dalam rumah.

Dari kondisi di atas dapat disimpulkan bahwa material BBM tidak dapat menghambat panas pada siang hari dan tidak dapat mengisolasi suhu dingin pada malam hari. Walaupun terjadi perubahan grafik pada pukul 10 pagi sampai pukul 21.00 malam namun TU4 tetap berada diluar zona nyaman mengikuti suhu pada TU3 walaupun demikian kedua titik ukur pada pukul 21.00 malam berada dalam zona nyaman. Terlihat pada gambar 47 bahwa kedua titik ukur hampir selalu berada dalam kondisi yang sama, dalam situasi seperti ini timelag BBM tidak dapat memisahkan bangunan dari suhu luar yang tinggi dan suhu luar yang rendah.

Titik ukur 5 dan 6 (dinding utara)



Gambar 49. Pergerakan temperatur TU5 dan TU6 BBM
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 49 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada titik ukur TU5 dan TU6. Kurva merah adalah OT (TU5) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU6). Suhu TU6 berubah dari pagi hari kemalam hari dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona

nyaman optimal. Tmax pada TU6 mencapai 30.5°C pada pukul 14.00 dan Tmin TU6 mencapai 20.2°C pada pukul 06.00.

Sementara suhu TU5 berubah dari pagi ke malam juga dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU5 mencapai 28.2°C pada pukul 14.00 dan Tmin TU5 mencapai 20.7°C pada pukul 06.00.

Perbedaan antara suhu TU5 dan TU6 tidak terlalu jauh, dalam 24 jam suhu TU6 dan TU5 hampir secara keseluruhan berada diluar zona nyaman optimal. Zona nyaman optimal pada TU5 hanya terjadi pada pukul 08.00 dan pukul 18.00-23.00 (5 jam). Zona nyaman optimal pada TU6 hanya terjadi pukul 09.00 dan pukul 19.00-23.00 (4 jam)



Gambar 50. Penempatan TU5 dan TU6 BBM
(Sumber: koleksi penelitian,2008)

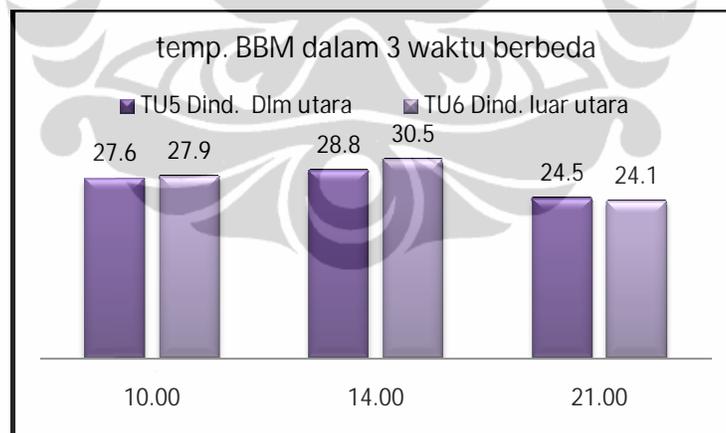
Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 51, TU5 dan TU6 diletakan pada dinding sebelah utara tepatnya di bawah jendela ruang serbaguna. Pada gambar 50 menunjukkan bahwa pergerakan suhu pada TU5 dan TU6 hampir selalu dalam posisi yang sama, dimana saat OT (TU6) meningkat atau berada diluar zona nyaman selalu diikuti dengan kondisi pada ET (TU5) yang jika ditarik garis lurus berada diluar zona nyaman pada jam yang sama dengan TU6.

Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBM yang besar atau daya hantar panas yang besar tidak dapat menghambat panas dari luar sehingga mengakibatkan pergerakan suhu TU5 dan TU6 selalu sama.

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU5 dan TU6 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 51.

Pada pukul 10 pagi suhu pada TU6 hampir sama dengan suhu pada TU5 hanya selisih 0.3°C, dalam keadaan seperti ini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dari radiasi matahari langsung mengalir material dan meningkatkan suhu pada permukaan dinding dalam (TU5).

Ketika OT pada TU6 meningkat 30.5°C ET pada TU5 juga naik menjadi 28.8°C, walaupun ET pada TU5 tercatat lebih rendah dari OT pada TU6 namun tetap berada diluar zona nyaman. Pada siang hari material BBM tidak dapat menghambat panas yang masuk dalam ruang selain itu material juga tidak bisa menghambat suhu dingin pada malam hari, seperti yang tercatat pada pukul 21.00 malam ketika suhu dinding TU6 menurun suhu dinding TU5 juga ikut menurun hampir sama dengan TU6 dengan selisih 0.4°C.



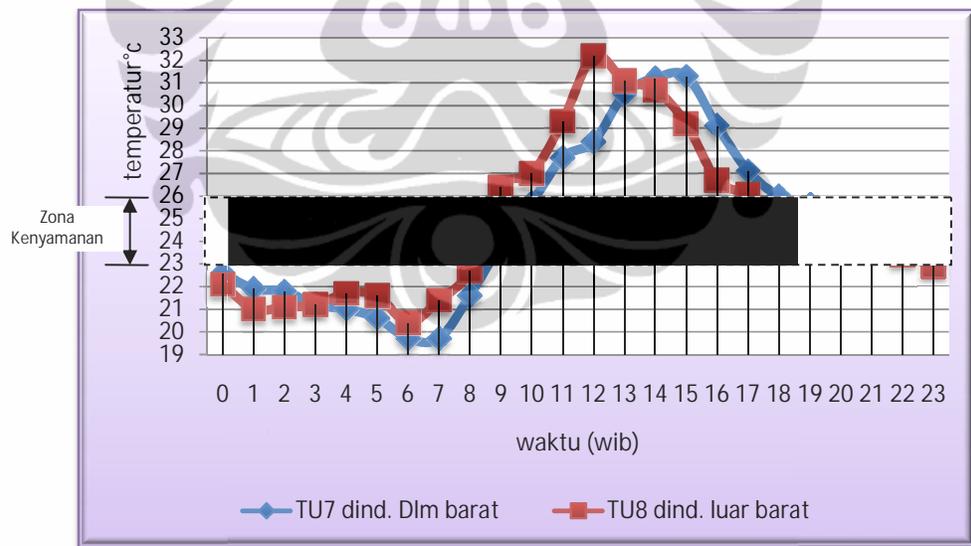
Gambar 51.
Diagram temperatur dinding BBM pada TU5 dan TU6 dalam tiga waktu yang berbeda
(Sumber: data penelitian, 2008)

1. Pada pukul 10 pagi suhu TU5 sama dengan TU6 27°C, diantara kedua titik hanya mempunyai selisih 0.3°C.

2. Pada pukul 2 sore suhu TU6 sangat tinggi 30.5°C walaupun sebagian suhu sudah memasuki TU5, sebagian besar panas masih tetap dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
3. Pada pukul 9 malam suhu TU6 telah cukup menurun 24.5°C hampir bersamaan dengan TU5 24.1°C.

Dari kondisi di atas dapat disimpulkan bahwa material BBM tidak dapat menghambat panas pada siang hari dan tidak dapat mengisolasi suhu dingin pada malam hari. Walaupun terjadi perubahan gambar pada pukul 10 pagi sampai pukul 21.00 malam namun TU 5 tetap berada diluar zona nyaman mengikuti suhu pada TU6 walaupun demikian kedua titik ukur pada pukul 9 malam berada dalam zona nyaman. Terlihat pada gambar 49 bahwa kedua titik ukur hampir selalu berada dalam kondisi yang sama, dalam situasi seperti ini timelag BBM tidak dapat memisahkan bangunan dari OTmax dan OTmin.

Titik ukur 7 dan 8 (dinding barat)



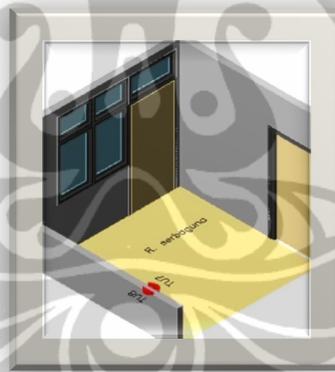
Gambar 52.
Pergerakan temperatur TU 7 dan TU8 BBM
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 52 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada titik ukur TU8 dan TU7. Kurva merah adalah OT (TU8) sepanjang hari selama 24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU7). Suhu TU8 dan TU7

berubah dari pagi hari kemalam hari dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 10.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU8 mencapai 32.2°C pada pukul 12.00 dan Tmin TU8 mencapai 20.4°C pada pukul 06.00.

Sementara suhu TU7 berubah dari pagi kemalam juga dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 11.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU7 mencapai 31.3°C pada pukul 15.00 dan Tmin TU7 mencapai 19.7°C pada pukul 06.00.

Perbedaan antara suhu TU7 dan TU8 tidak terlalu jauh, dalam 24 jam suhu TU7 dan TU8 hampir secara keseluruhan berada diluar zona nyaman. Zona nyaman pada TU7 (7 jam) hanya terjadi pada pukul 09.00-10.00 (2 jam) dan pukul 18.00-23.00 (5 jam). Sementara zona nyaman pada TU8 hanya terjadi pada pukul 18.00-23.00 (5 jam)



Gambar 53. Penempatan TU8 dan TU7 BBM
(Sumber: koleksi penelitian,2008)

Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 55, TU7 dan TU8 diletakan pada dinding sebelah barat. Pada gambar 54 menunjukkan bahwa pergerakan suhu pada TU7 dan TU8 hampir selalu dalam posisi yang sama, dimana saat OT (TU8) meningkat atau berada diluar zona nyaman selalu diikuti dengan kondisi pada dinding dalam (TU7) yang jika ditarik garis lurus berada diluar zona nyaman pada jam yang sama dengan TU6.

Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBM yang besar atau daya hantar panas yang besar tidak dapat menghambat

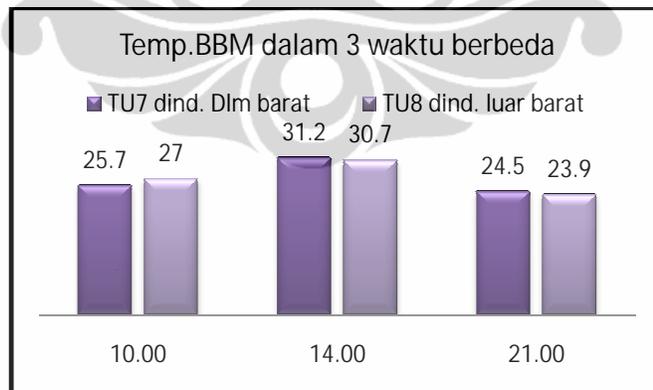
panas dari luar sehingga mengakibatkan pergerakan suhu TU7 dan TU8 selalu sama.

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU7 dan TU8 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 54 dibawah ini.

Pada pukul 10 pagi suhu pada TU7 lebih rendah dari suhu pada TU8, dalam keadaan seperti ini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dari radiasi matahari langsung mengalir material dan meningkatkan ET (TU7).

Ketika suhu dinding pada TU8 meningkat 31.2°C suhu dinding pada TU7 juga naik menjadi 30.5°C , walaupun suhu dinding TU7 tercatat lebih rendah dari dinding TU8 namun tetap berada diluar zona nyaman.

Pada siang hari material BBM tidak dapat menghambat panas yang masuk dalam ruang namun ada perbedaan antara TU5 dan TU6 seperti yang tercatat pada pukul 9 malam ketika suhu dinding TU8 menurun suhu dinding TU7 juga ikut menurun namun suhu pada TU7 mempunyai selisih 0.6°C dengan TU8.



Gambar 54.

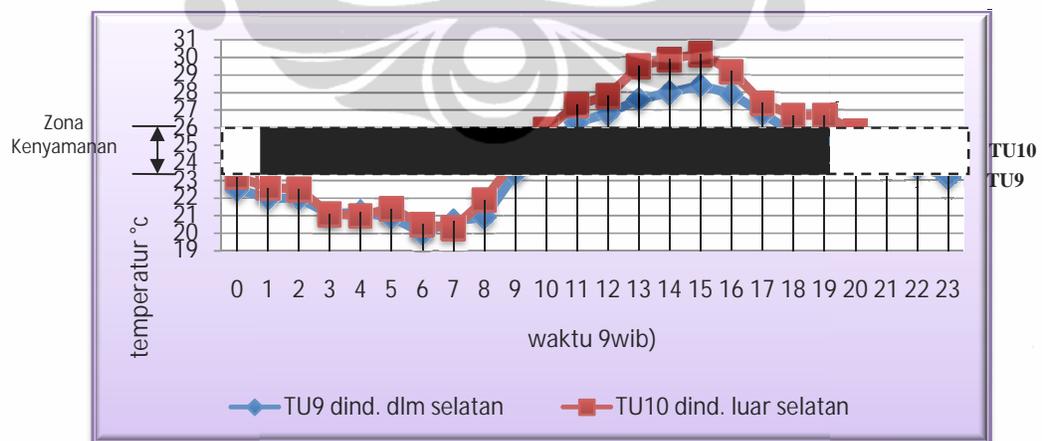
Diagram temperatur dinding BBM pada TU7 dan TU8 dalam tiga waktu berbeda
(Sumber: data penelitian, 2008)

- Pada pukul 10 pagi suhu TU7 lebih tinggi 27°C dibanding suhu TU8 25.7°C sehingga panas akan mengalir kedalam walaupun

- demikian sebagian besar panas akan dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
- Pada pukul 14.00 sore suhu TU8 sangat tinggi 31.2°C, kondisi suhu TU7 dan TU8 sangat dekat sebagian besar panas TU8 langsung dihantarkan TU7.
 - Pada pukul 21.00 malam suhu TU8 telah cukup menurun 23.9°C menjadi dibawah suhu TU7 24.5°C. Sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir keluar tanpa pernah memasuki ruang dalam rumah.

Dari kondisi di atas dapat disimpulkan bahwa material BBM tidak dapat menghambat panas pada siang hari dan tidak dapat mengisolasi suhu dingin pada malam hari. Walaupun terjadi perubahan grafik pada pukul 10 pagi sampai pukul 21.00 malam namun TU7 tetap berada diluar zona nyaman mengikuti suhu pada TU8 walaupun demikian kedua titik ukur pada pukul 21.00 malam berada dalam zona nyaman. Terlihat pada gambar 52 bahwa kedua titik ukur hampir berada pada suhu yang sama, dalam situasi seperti ini dapat dikatakan timelag BBM tidak dapat memisahkan bangunan dari OTmax dan OTmin.

Titik ukur 9 dan 10 (dinding selatan)



Gambar 55. Pergerakan temperatur TU9 dan TU10 BBM
(Sumber: data penelitian, 2008)

Gambar 55 menunjukkan naik turunnya suhu dinding pada titik ukur TU9 dan TU10. Kurva merah adalah OT (TU10) sepanjang hari selama

24 jam. Kurva biru menguraikan ET (TU9). Suhu TU10 berubah dari pagi hari kemalam hari dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 11.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU10 mencapai 30.2°C pada pukul 15.00 dan Tmin TU10 mencapai 20.3°C pada pukul 07.00.

Sementara suhu TU9 juga berubah dari pagi kemalam dengan perbedaan yang besar. Menjelang pukul 11.00 sampai pukul 17.00 suhu naik dan berada diluar zona nyaman optimal. Tmax pada TU9 mencapai 28.4°C pada pukul 15.00 dan Tmin TU9 mencapai 20°C pada pukul 06.00.

Antara suhu TU10 dan TU9 tidak mempunyai banyak perbedaan, tercatat dalam gambar suhu TU10 selalu mengikuti suhu pada TU9. dalam 24 jam suhu TU10 dan TU9 hampir secara keseluruhan berada diluar zona nyaman optimal. Zona nyaman optimal pada TU9 (7 jam) hanya terjadi pada pukul 09.00-10.00 (2 jam) dan pukul 18.00-23.00 (5 jam). sementara zona nyaman optimal pada TU10 (5 jam) terjadi pada pukul 09.00-10.00 (2 jam) dan pukul 20.00-23.00 (3 jam)



Gambar 56. Penempatan TU9 dan TU10 BBM
(Sumber: data penelitian,2008)

Penempatan titik ukur dapat dilihat pada gambar 59, TU9 dan TU10 diletakan pada dinding sebelah selatan dekat jendela. Pada gambar 55 menunjukkan bahwa pergerakan suhu pada TU9 dan TU10 hampir selalu dalam posisi yang sama, dimana saat OT (TU10) meningkat atau berada diluar zona nyaman selalu diikuti dengan

kondisi pada ET (TU9) selama 24 jam, yang jika ditarik garis lurus berada diluar zona nyaman pada jam yang sama dengan TU10.

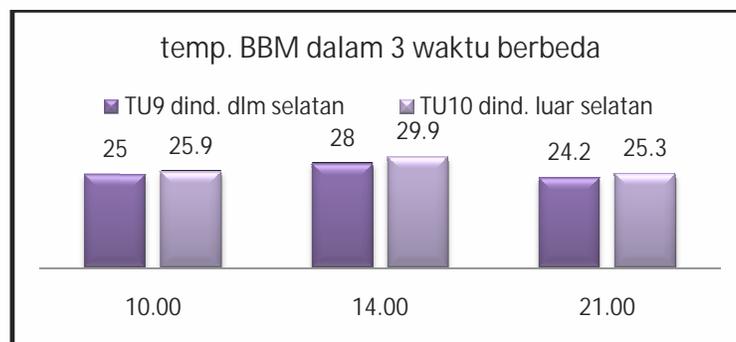
Asumsi awal dari peristiwa ini adalah nilai konduktivitas BBM yang besar atau daya hantar panas yang besar tidak dapat menghambat panas dari luar sehingga mengakibatkan pergerakan ET TU9 dan OT TU10 selalu sama.

Jika perbedaan suhu sebuah material meningkat tinggi dengan cara yang spesifik maka material ini akan berperilaku seolah memiliki daya tahan termal yang besar. TU9 dan TU10 terlihat dalam tiga waktu yang berbeda seperti pada gambar 57 dibawah ini.

Pada pukul 10 pagi suhu pada TU9 hampir sama dengan suhu pada TU10 hanya selisih 0.9^oc, dalam keadaan seperti ini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dari radiasi matahari langsung mengalir material dan meningkatkan ET (TU9).

Ketika OT pada TU10 meningkat 28^oc ET pada TU9 juga naik menjadi 29.9^oc, OT pada TU10 tercatat lebih rendah dari ET dari TU9 dan berada diluar zona nyaman. Hal yang beda dengan TU sebelumnya dimana ET pada TU9 lebih tinggi dari OT pada TU10 penyebabnya kemungkinan karena titik ukur ini berada dekat jendela.

Pada siang hari material BBM tidak dapat menghambat panas yang masuk dalam ruang selain itu material juga tidak bisa menghambat suhu dingin pada malam hari, seperti yang tercatat pada pukul 21.00 malam ketika OT TU10 menurun ET TU9 juga ikut menurun hampir sama dengan TU10 dengan selisih 1.1^oc.



Gambar 57.

Diagram temperatur dinding BBM pada TU9 dan TU10 dalam tiga waktu yang berbeda
(Sumber: data penelitian, 2008)

1. Pada pukul 10 pagi suhu TU9 lebih rendah 25°C dibanding suhu TU10 25.9°C . selisih panas TU9 dan TU10 hanya 0.9°C , menggambarkan bahwa panas langsung akan mengalir kedalam ruang dan sebagian kecil panas dialihkan untuk meningkatkan suhu dinding.
2. Pada pukul 2 sore suhu TU10 sangat tinggi 29.9°C dari TU9, sebagian suhu sudah memasuki ruang dalam, BBM tidak dapat menghambat panas dari luar sehingga ruang dalam menjadi lebih panas ketika pukul 14.00.
3. Pada pukul 9 malam suhu ruang luar telah cukup menurun menjadi dibawah suhu ruang dalam. Sebagian besar panas yang tersimpan pada dinding mengalir keluar tanpa memasuki ruang dalam rumah.

Dari kondisi di atas dapat disimpulkan bahwa material BBM tidak dapat menghambat panas pada siang hari dan tidak dapat mengisolasi suhu dingin pada malam hari. Walaupun terjadi perubahan grafik pada pukul 10 pagi sampai pukul 9 malam namun TU 9 tetap berada diluar zona nyaman mengikuti suhu pada TU10 walaupun demikian kedua titik ukur pada pukul 10 pagi dan 9 malam berada dalam zona nyaman. Terlihat pada gambar 55 bahwa kedua titik ukur hampir berada pada suhu yang sama, dalam situasi seperti ini dapat dikatakan timelag BBM tidak dapat memisahkan bangunan dari suhu luar yang tinggi dan suhu luar yang rendah.

Kesimpulan secara keseluruhan pada setiap titik ukur pemakaian BBM secara bersamaan berada pada zona nyaman hanya terjadi pada pukul 9 malam. Hal ini menunjukkan bahwa material BBM tidak dapat menghambat panas dari dinding luar bangunan. Boleh dikatakan kalau material BBM tidak menyimpan panas secara berlebihan seperti pada saat pengukuran di malam hari dimana saat kondisi suhu luar bangunan menurun suhu material BBM juga ikut menurun hampir selalu mengikuti kondisi di sekitarnya. Material BBM cepat menjadi panas dan cepat pula menjadi dingin. Pada siang hari material BBM selalu berada diluar zona nyaman, Sementara pada malam hari material ini dapat berada dizona nyaman.

3. Analisis kondisi kenyamanan termal BBM

Untuk memperjelas analisa zona kenyamanan untuk kondisi Indonesia, maka penulis mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Mom, dengan kategori sebagai berikut: zona *sejuk* (20,5 – 22,8 °C T_e), *nyaman optimal* (22,8 – 26 °C T_e), dan *hangat nyaman* (26 – 27,1 °C T_e). Dengan memperhatikan data pada tabel 12, maka dapat disimpulkan bahwa angka-angka untuk temperatur dalam ruang baik minimum maupun maksimum rata-rata memenuhi syarat kenyamanan, pada kondisi T maksimum yaitu:

- 1) Pengukuran pukul 11.00 pada titik ukur TU 2 mencapai 27°C, maka TU 2 berada pada rentang hangat nyaman
- 2) Pengukuran pukul 16.00 dalam beberapa titik ukur berada diluar zona nyaman dengan kata lain pada jam 16 semua titik ukur tidak menunjukkan nilai atau suhu dalam zona nyaman.
- 3) Pengukuran pukul 21.00 dalam beberapa titik ukur (TU 1, TU 3, TU10) mencapai 25°C, maka titik ukur tersebut berada pada rentang nyaman optimal.

Di bawah ini adalah tabel yang menunjukkan waktu nyaman optimal dan waktu diluar nyaman optimal Pada setiap titik ukur BBM selama 24 jam

Tabel 13
Waktu nyaman optimal dan waktu diluar nyaman optimal BBM

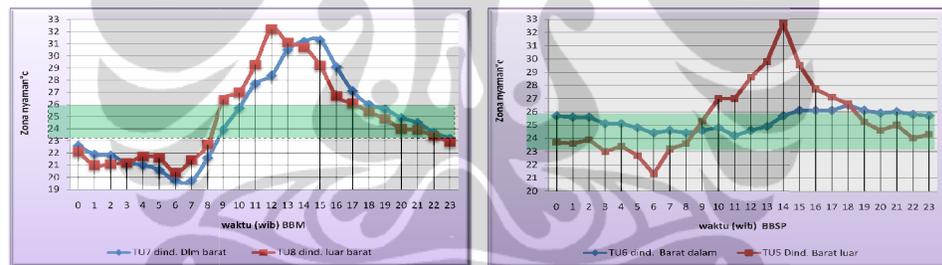
Titik ukur (TU)	Maks.		Min		Zona		Waktu nyaman optimal (jam)	Waktu di luar nyaman optimal (jam)
	(°c)	Jam	(°c)	Jam	Maks	Min		
1	28,8	15.00	20	07.00	Luar zona nyaman	Luar zona nyaman	12	12
2	29,4	15.00	20,6	06.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	10	14
3	31	14.00	21,1	05.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	4	20
4	28,7	14.00	20,2	05.00	Luar zona nyaman	Luar zona nyaman	8	16
5	28,2	14.00	20,7	06.00	Luar zona nyaman	Sejuk nyaman	6	18
6	30,5	14.00	20,2	06.00	Luar zona nyaman	Luar zona nyaman	5	19
7	31,3	15.00	19,7	06.00	Luar zona nyaman	Luar zona nyaman	7	17
8	32,2	12.00	20,4	06.00	Luar zona nyaman	Luar zona nyaman	5	19
9	28,4	15.00	20	06.00	Luar zona nyaman	Luar zona nyaman	7	17
10	30,2	15.00	20,3	07.00	Luar zona nyaman	Luar zona nyaman	5	19

Sumber: (data penelitian, 2008)

Dari tabel 13 dapat dilihat bahwa waktu nyaman optimal yang ditunjukkan oleh titik ukur yang diletakan didalam ruang pada bangunan berdinding BBM (TU1, TU2, TU4, TU5, TU7, TU9) yang diberi warna biru dan waktu nyaman pada titik ukur yang diletakan di luar bangunan berdinding BBM (TU3, TU6, TU8, TU10) yang diberi warna merah selalu berada lebih cepat dari waktu diluar nyaman optimal, hal ini bisa disebabkan karena pengaruh dari dinding BBM yang tidak dapat menghambat panas dari luar bangunan (timelag atau penundaan panas pada BBM cepat) sehingga membuat suhu dinding dalam ruang selalu berada diluar zona nyaman optimal mengikuti suhu di luar dinding BBM.

C. Perbandingan Pengaruh penggunaan dinding BBSP dengan dinding BBM terhadap kondisi termal.

1. Titik ukur



Gambar 58. Perbandingan titik ukur BBSP dan BBM
Sumber data penelitian, 2008

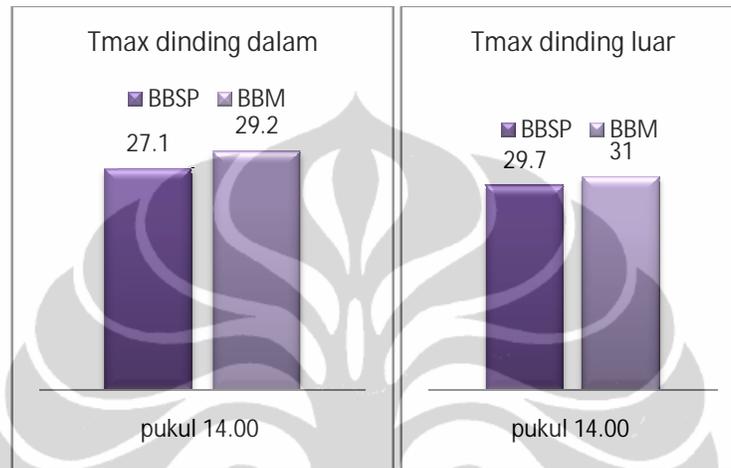
Pada gambar 58 adalah titik ukur yang diletakan pada sisi barat bangunan BBSP dan BBM. Ditunjukkan pada grafik bahwa perbedaan pada kedua material sangat besar, ET BBSP tetap berada dalam zona nyaman walaupun OT menunjukan Tmax. Sementara pada BBM ET menunjukan kondisi yang hampir sama dengan OT dan berada dalam zona tidak nyaman

2. Rata- rata temperatur puncak

Rata-rata Tmax pada dinding BBSP diperoleh pada pukul 14.00 sedangkan Rata-rata Tmax pada dinding BBM juga diperoleh pada pukul 14.00.

dibawah ini merupakan gambar rata-rata Tmax dinding BBSP dan dinding BBM.

- a. Diagram rata-rata Tmax dinding dalam dan dinding luar BBSP dan BBM



Gambar 59.
Rata-rata Tmax dinding dalam dan dinding luar BBSP dan BBM
Sumber data penelitian, 2008

Pada gambar 59, Tmax dinding dalam BBSP dan BBM yang merupakan rata-rata temperatur tertinggi dalam 24 jam. Tmax BBM lebih tinggi dari Tmax BBSP, perbedaan suhu keduanya yakni; 2.1°C. Perbedaan kedua Tmax tersebut kemungkinan terjadi karena BBSP mempunyai *konduktivitas* lebih rendah daripada BBM, yang berarti kemampuan isolasi panas BBSP lebih baik daripada BBM.

Dari kedua Tmax tersebut, dapat diketahui bahwa ET pada siang hari, yang mempergunakan dinding BBM lebih panas daripada ruang yang berdinding BBSP. jika ditinjau dari penelitian kenyamanan yang dilakukan Mom untuk orang Indonesia, rata-rata Tmax BBSP masuk kedalam zona hangat nyaman. Sementara BBM berada diluar batas nyaman.

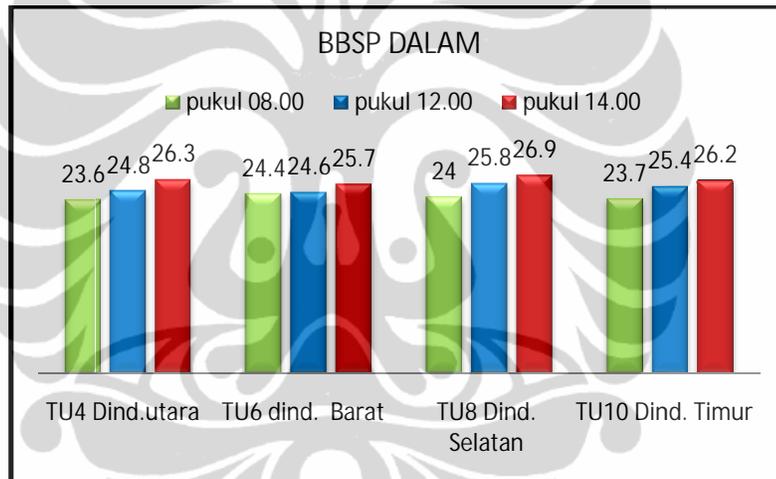
Pada gambar 59 juga tampak Tmax dinding luar BBSP dan BBM yang merupakan rata-rata temperatur tertinggi dalam 24 jam. Tmax BBM lebih tinggi dari Tmax BBSP. Perbedaan suhu keduanya yakni 1.3°C, rata-rata Tmax BBSP dan BBM berada diluar batas nyaman.

Kesimpulannya walaupun T_{max} rata-rata BBSP berada pada 27.1°C namun tetap masuk dalam zona hangat nyaman sementara suhu BBM berada diluar zona nyaman.

3. Pengaruh orientasi bangunan pada BBSP

Untuk melihat perbedaan atau pengaruh orientasi bangunan BBSP, maka dibawah ini ditunjukkan dalam bentuk gambar seberapa besar pengaruh orientasi terhadap dinding dalam bangunan BBSP dilihat pada pukul 08.00, 12.00 dan 16.00.

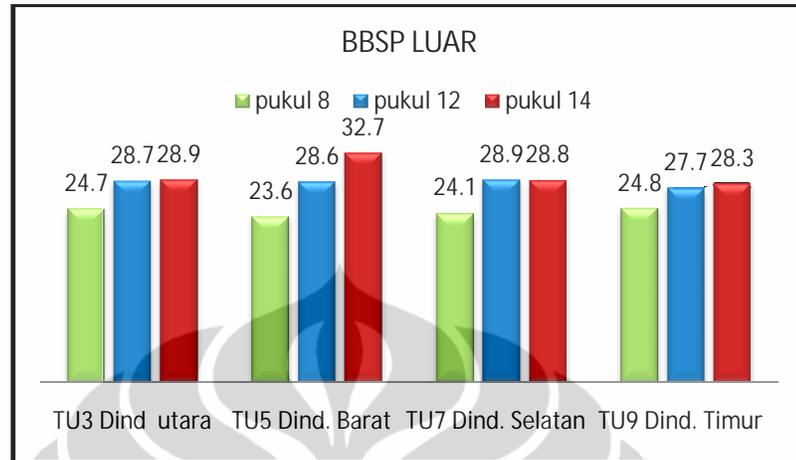
1) Dalam ruang



Gambar 60. Pengaruh orientasi bangunan pada dinding dalam BBSP
Sumber: data penelitian 2008

Ditunjukkan pada gambar 60 perbedaan ET bangunan untuk 4 arah orientasi pada 3 jam yang berbeda, pada pukul 08.00 suhu dalam ruang berada pada $T 23^{\circ}\text{C}$ - 24.4° , menjelang pukul 12.00 perlahan naik menjadi 24.6°C - 25.8°C , dan ketika pukul 14.00 T mulai meningkat menjadi antara 25.7 - 26.9 . Pada beberapa TU dalam jam yang berbeda menunjukkan T yang sama. Perubahan T pada ke 4 arah orientasi sangat kecil dan tetap berada dalam zona nyaman.

2) Luar ruang



Gambar 61. Pengaruh orientasi bangunan pada dinding luar BBSP
Sumber: data penelitian 2008

Secara umum terlihat bahwa T_{max} ET selalu berada dibawah T_{max} OT. Dari empat arah orientasi bangunan yang diletakan titik ukur, terlihat bahwa arah hadapan bangunan barat merupakan arah yang kurang baik namun ET yang ditunjukkan pada gambar 61 berada jauh dari OT pada pukul 14.00, Dimana ET yang dihasilkan terlihat rendah dari OT. OT pada 3 arah orientasi lainnya berada dalam kondisi T yang sama $28^{\circ}c$.

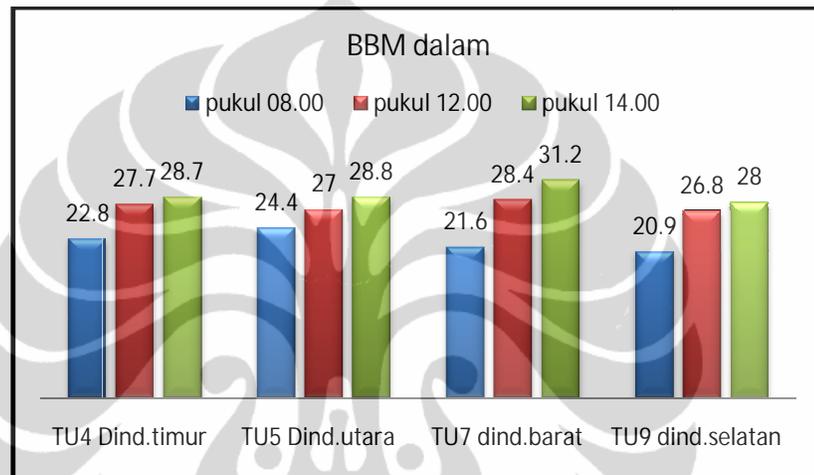
Dapat disimpulkan bahwa dari empat arah orientasi bangunan yang diletakan titik ukur, terlihat bahwa ke 4 arah hadapan bangunan merupakan yang terbaik, dimana ET yang dihasilkan terlihat rendah dari pada OT.

Orientasi barat merupakan arah yang kurang baik untuk orientasi bangunan namun dengan penggunaan material BBSP dapat menjadi baik karena material tersebut dapat menghambat panas dari luar bangunan dan menjadikan ET tetap berada dalam zona nyaman.

4. Pengaruh orientasi bangunan pada BBM

Untuk melihat perbedaan atau pengaruh orientasi bangunan BBM, maka dibawah ini ditunjukkan dalam bentuk gambar seberapa besar pengaruh orientasi terhadap dinding dalam bangunan BBM dilihat pada pukul 08.00, 12.00 dan 16.00.

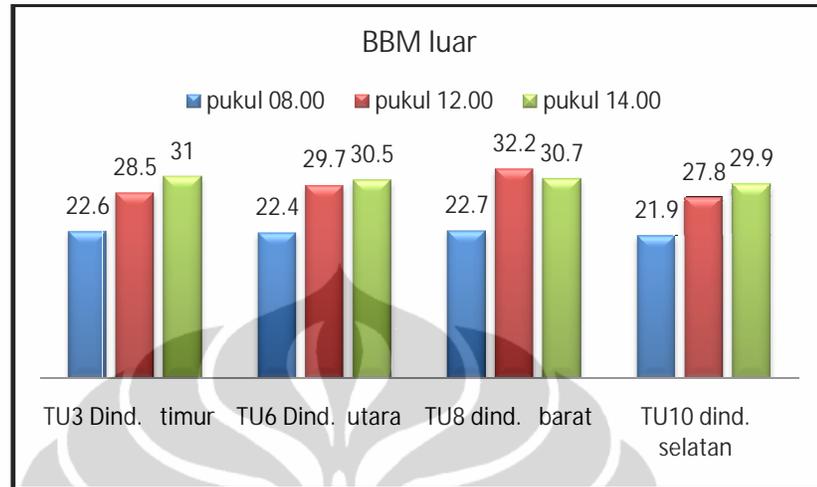
1) Dalam ruang



Gambar 62. Pengaruh orientasi bangunan pada dinding dalam BBM
Sumber: data penelitian 2008

Ditunjukkan pada gambar 62 perbedaan ET bangunan untuk 4 arah orientasi pada 3 jam yang berbeda, pada pukul 08.00 ET berada pada suhu 20.9°C-24.4°C, menjelang pukul 12.00 perlahan naik menjadi 26.8°C-28.4°C, dan ketika pukul 14.00 suhu mulai meningkat menjadi antara 28°C-31.2°C. Perubahan suhu pada ke 4 arah orientasi sangat besar, ET yang dihasilkan oleh ke 4 arah orientasi terlihat selalu berada diluar zona nyaman.

2) Luar ruang



Gambar 63. Pengaruh orientasi bangunan pada dinding luar BBM
Sumber: data penelitian 2008

Pada gambar 63 dapat disimpulkan bahwa ET ke 4 arah orientasi bangunan pada penggunaan BBM selalu berada di luar zona nyaman. Material BBM tidak dapat membuat 4 arah orientasi menjadi lebih baik dari OT karena material tersebut tidak dapat menghambat panas dari luar bangunan juga tidak dapat menyimpan panas sehingga menjadikan ET selalu mengikuti OT dan berada diluar zona nyaman.

Dari pembahasan sebelumnya data Perbandingan Pengaruh penggunaan dinding BBSP dengan dinding BBM terhadap kondisi termal secara keseluruhan hasilnya dapat di susun sebagai berikut :

1. Berdasarkan Nilai Konduktifitas Bahan
 - a. BBSP mempunyai konduktivitas panas atau kemampuan untuk menghantarkan panas yang rendah yaitu $K = 0.213 \text{ W/M}^\circ\text{C}$. Ini berarti bahwa bata beton sekam padi mempunyai daya isolasi panas atau sebaliknya mempunyai daya penahan panas yang tinggi. Sifat kemampuan ini menguntungkan sekali untuk menghalau panas matahari dari luar masuk ke dalam ruangan.
 - b. BBM yang mempunyai konduktivitas panas atau kemampuan untuk menghantarkan panas yang lebih tinggi dari BBSP yaitu

$K = 1 \text{ W/M}^\circ\text{C}$. Ini berarti BBM mempunyai daya penghantar panas yang tinggi dan daya isolasi panas yang rendah maka jika dibandingkan dengan BBSP, BBSP lebih baik dari BBM.

2. Berdasarkan Titik Ukur
 - a. Secara umum ET pada BBSP selalu berada dalam zona nyaman optimal dan tidak selalu mengikuti kondisi OT yang rata-rata berada dalam zona tidak nyaman. Hal ini menunjukkan bahwa material BBSP dapat menghambat panas dari dinding luar bangunan untuk masuk kedalam ruang. Walaupun dinding BBSP dapat menyimpan panas namun tidak meningkatkan ET secara ekstrim pada malam hari, karena dari grafik ditunjukkan bahwa suhu yang dihasilkan ketika malam hari masih tetap berada dalam zona nyaman.
 - b. Secara umum pada setiap titik ukur pada pemakaian BBM secara bersamaan berada diluar zona nyaman optimal, zona nyaman hanya terjadi hanya pada pukul 21.00 malam. Hal ini menunjukkan bahwa material BBM tidak dapat menghambat panas dari dinding luar bangunan pada siang hari. Boleh dikatakan kalau material BBM tidak menyimpan panas, seperti pada saat pengukuran di malam hari dimana saat kondisi OT menurun suhu material BBM juga ikut menurun hampir selalu mengikuti kondisi di sekitarnya. Material BBM cepat menjadi panas dan cepat pula menjadi dingin. Pada siang hari material BBM selalu berada diluar zona nyaman
3. Berdasarkan Waktu Nyaman Optimal
 - a. Waktu nyaman optimal yang ditunjukkan oleh titik ukur yang diletakan didalam ruang pada bangunan berdinding BBSP (TU1, TU2, TU4, TU6, TU8, TU10) yang di beri warna biru selalu berada lebih lama dari waktu diluar nyaman optimal. Waktu nyaman pada titik ukur yang diletakan di luar bangunan berdinding BBSP (TU3, TU5, TU7, TU9) yang diberi warna merah berada lebih cepat dari waktu diluar nyaman optimal. Saat OT lebih lama dengan waktu diluar nyaman optimal, ET justru menunjukkan waktu nyaman optimal yang lebih lama. Hal

ini bisa disebabkan karena pengaruh dari dinding BBSP yang dapat menghambat panas dari luar bangunan (timelag atau penundaan panas pada BBSP lambat) sehingga membuat ET tetap berada dalam zona nyaman optimal walaupun OT BBSP berada di luar zona nyaman optimal.

- b. Sementara waktu nyaman optimal yang ditunjukkan oleh titik ukur yang diletakan didalam ruang pada bangunan berdinding BBM (TU1, TU2, TU4, TU5, TU7, TU9) yang diberi warna biru dan waktu nyaman pada titik ukur yang diletakan di luar bangunan berdinding BBM (TU3, TU6, TU8, TU10) yang diberi warna merah selalu berada lebih cepat dari waktu diluar nyaman optimal, hal ini bisa disebabkan karena pengaruh dari dinding BBM yang tidak dapat menghambat OT (timelag atau penundaan panas pada BBM cepat) sehingga membuat ET selalu berada diluar zona nyaman optimal mengikuti OT BBM.
4. Berdasarkan Rata- Rata Temperatur Puncak
 - a. Tmax rumah tinggal BBSP yaitu 27,1°C berada dalam zona hangat nyaman
 - b. Tmax rumah tinggal BBM yaitu 29,2°C berada diluar zona kenyamanan menurut standar penelitian Mom untuk orang indonesia.
 5. Berdasarkan Arah Orientasi
 - a. Dapat disimpulkan bahwa dari empat arah orientasi bangunan yang diletakan titik ukur, terlihat bahwa ke 4 arah hadapan bangunan merupakan yang terbaik, dimana ET yang dihasilkan terlihat rendah dari pada OT. Orientasi barat merupakan arah yang kurang baik untuk orientasi bangunan namun dengan penggunaan material BBSP dapat menjadi baik karena material tersebut dapat menghambat panas dari luar bangunan dan menjadikan ET tetap berada dalam zona nyaman.
 - b. Dapat disimpulkan bahwa suhu dinding ke 4 arah orientasi bangunan pada penggunaan BBM selalu berada di luar zona nyaman. Material BBM tidak dapat membuat 4 arah orientasi menjadi lebih baik dari OT karena material tersebut tidak dapat

menghambat panas dari luar bangunan juga tidak dapat menyimpan panas sehingga menjadikan ET selalu mengikuti OT dan berada diluar zona nyaman.

Untuk lebih jelasnya data pengaruh penggunaan dinding BBSP dan BBM terhadap kondisi termal dapat dilihat pada tabel 14 dibawah ini:

Tabel 14.
Data perbandingan pengaruh penggunaan dinding BBSP dan BBM terhadap kondisi termal.

No	Data	BBSP	BBM
1	Nilai Konduktifitas Bahan	$K = 0.213 \text{ W/M}^\circ\text{C}$.	$K = 1 \text{ W/M}^\circ\text{C}$.
2	Berdasarkan Titik Ukur	Secara umum suhu pada setiap titik ukur yang diletakan dalam ruang selalu berada dalam zona nyaman optimal.	Secara umum pada setiap titik ukur secara bersamaan berada diluar zona nyaman optimal, dan selalu menunjukkan kondisi yang sama dengan suhu dinding di luar bangunan.
3	Berdasarkan Waktu Nyaman Optimal	Waktu nyaman optimal yang ditunjukkan oleh titik ukur yang diletakan didalam ruang (TU1, TU2, TU4, TU6, TU8, TU10) selalu berada lebih lama dari waktu diluar nyaman optimal.	waktu nyaman optimal yang ditunjukkan oleh titik ukur yang diletakan didalam ruang (TU1, TU2, TU4, TU5, TU7, TU9) selalu berada lebih cepat dari waktu diluar nyaman optimal,
4	Berdasarkan Rata-Rata Temperatur Puncak	Dapat menghambat panas pada siang hari dan juga dapat mengisolasi suhu dingin pada malam hari. Tmax rumah tinggal BBSP yaitu $27,1^\circ\text{C}$ berada dalam zona hangat nyaman.	Material BBM tidak dapat menghambat panas disiang hari serta tidak menyimpan panas dimalam hari sehingga material BBM selalu mengikuti suhu disekitarnya. Tmax rumah tinggal BBM yaitu $29,2^\circ\text{C}$ berada diluar zona
5	Berdasarkan Arah Orientasi	ke 4 arah orientasi bangunan merupakan yang terbaik, Dimana ET yang dihasilkan terlihat rendah dari pada OT.	ke 4 arah orientasi bangunan selalu berada di luar zona nyaman. ET selalu mengikuti OT dan berada diluar zona nyaman.

Sumber : data penelitian, 2008

Tabel diatas menunjukkan hasil yang didapat dari kedua material. Berdasarkan kelima hasil yang diperoleh dinyatakan material BBSP mempunyai pengaruh yang baik terhadap kondisi termal dalam ruang. Menurut Arif kusumawanto, penambahan panas terbesar terdapat pada fasade barat suatu bangunan dan merupakan fasade terburuk dari arah orientasi bangunan, namun hal ini tidak terjadi pada penggunaan material BBSP dimana walaupun suhu diluar bangunan

(OT) meningkat dan mencapai T_{max} , suhu dinding dalam bangunan (ET) tetap berada dalam zona nyaman dengan kata lain meningkatnya suhu dinding di luar bangunan tidak mempengaruhi suhu dinding di dalam bangunan sehingga fasade barat bangunan tetap menjadi arah orientasi yang baik dan tidak terjadi penambahan panas yang besar di dalam bangunan.

Sementara mengenai kenyamanan termal yang dirasakan manusia (berdasarkan standar penelitian Mom) dari pengaruh penggunaan BBSP dan BBM adalah didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa material BBSP masuk dalam standar penelitian Mom yaitu hampir secara keseluruhan berada dalam zona nyaman optimal sementara untuk penggunaan BBM jika disesuaikan dengan standar Mom secara keseluruhan berada diluar zona nyaman optimal dan hanya dalam waktu tertentu dimalam hari bisa berada dalam zona nyaman yaitu pukul 21.00.

