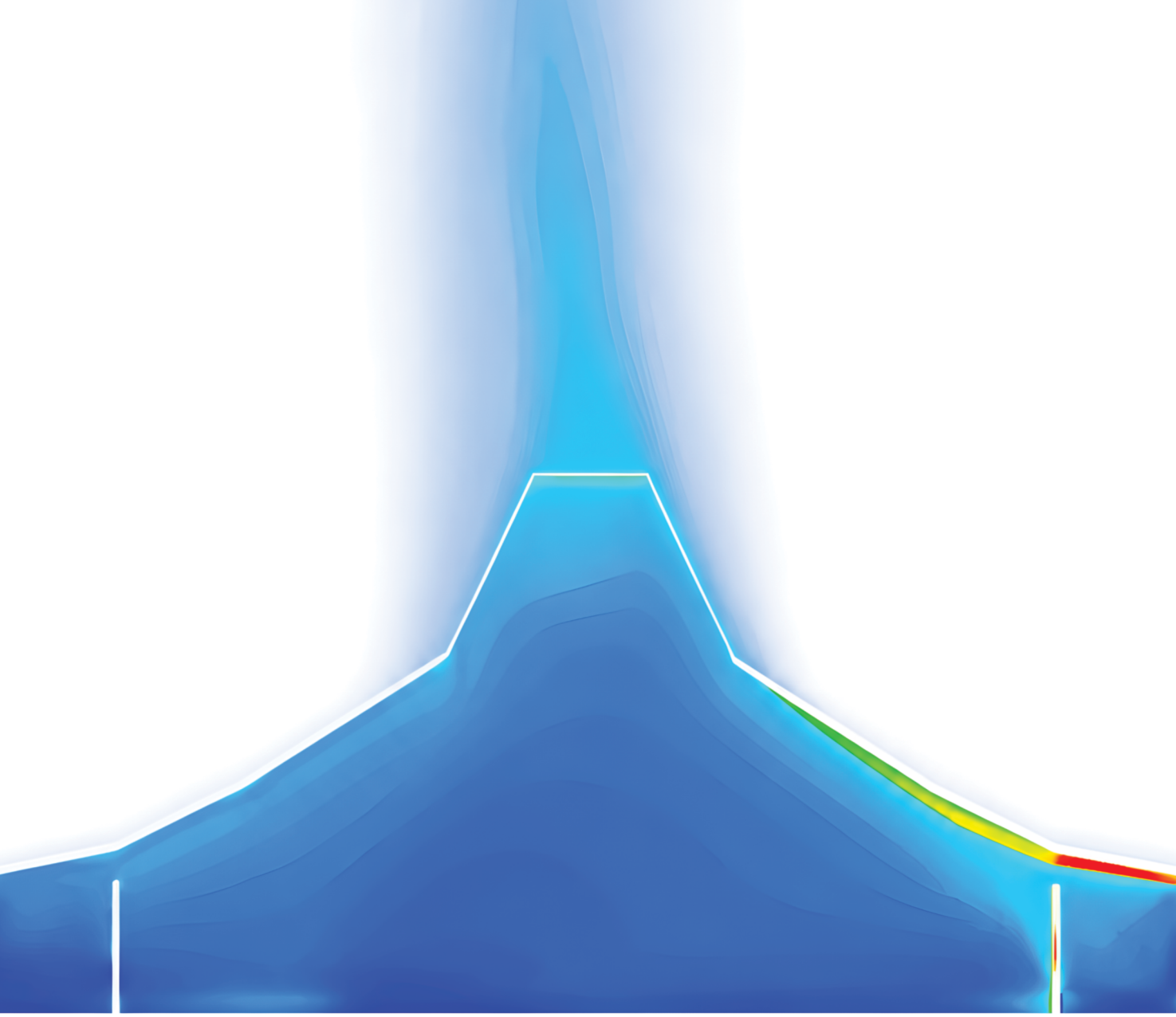


ARUNIKA
di Atas Joglo

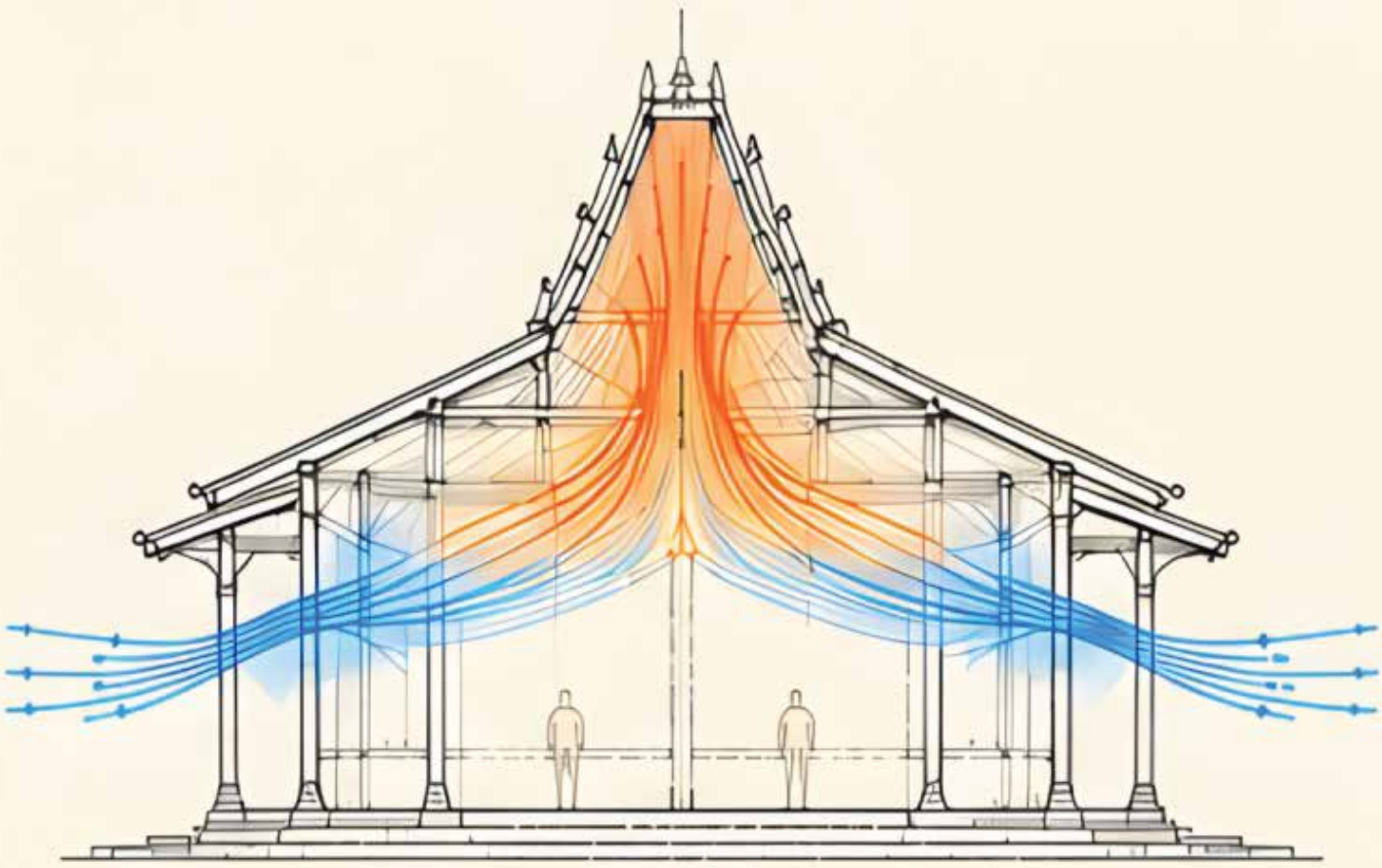
SINERGI CITRA DAN KEDAULATAN ENERGI

Floriberta Binarti
Priyo Pratikno
Adiana Hemas Desira

ARUNIKA
di Atas Joglo

Sinergi Citra dan Kedaulatan Energi

Floriberta Binarti
Priyo Pratikno
Adiana Hemas Desira



Universitas Atma Jaya Yogyakarta

ARUNIKA
di Atas Joglo

SINERGI CITRA DAN KEDAULATAN ENERGI

Penulis:

Floriberta Binarti
Priyo Pratikno
Adiana Hemas Desira

Ukuran
xix, 142 hlm; Uk. 19,5 x 25 cm

ISBN: 978-634-05-6683-3 (PDF)

Cetakan Pertama
September 2026

Hak Cipta © 2026, pada penulis
Hak publikasi pada Penerbit Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Diterbitkan oleh
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
Jl. Babarsari No. 5-6 Yogyakarta 55281
Telp. +62 274 487711
E-mail: lib.publisher@uajy.ac.id

Hak Cipta dilindungi oleh Undang-Undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014
Ketentuan Pidana
Pasal 113

1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana

PROLOG

MENJEMPUT MATAHARI MEMAKNAI NAUNGAN

ARUNIKA, semburat merah matahari di langit pagi, menerangi Ibu Pertiwi adalah penanda waktu. Selain itu ia juga sebuah prosesi kehidupan dari pagi hingga senja menjelang. Saat sang arunika menyentuh puncak-puncak TAJUG yang menjulang, di sanalah sebuah dialog purba dimulai. Atap-atap Joglo, Limas, Kampung dan Tajug yang berdiri megah lagi presisi bukan hanya sedang unjuk pamer keatraktifannya, memang semuanya itu mahkota, melainkan sedang menjalankan perannya sebagai penaung kehidupan di bawahnya.

Dalam kurun waktu lama semenjak moyang kita dulu, selalu saja memandang atap bangunan adalah pembatas. Sebuah labirin langit, perisai pemisah diri dari terik matahari dan tumpahan hujan, tak lebih. Matahari sering kali dipandang sebagai pengganggu. Penaungan di bawah *brunjung* yang tinggi, juga dari celah perlubangan dinding atau celah dinding dengan atapnya, udara selalu bergerak dalam sunyi, menciptakan ruang-ruang sejuk. Tersadar, kita paham bahwa nenek moyang kita adalah empunya arsitektur dan piawai dalam sains bangunan tropis. Mereka berhasil tidak melawan sengat matahari tropis yang pekat; tetapi justru menari-nari di bawah naungannya, sembari mengelakkan diri dari suhu panasnya. Lalu lahirlah atap-atap Jawa yang menjulang tetapi juga yang melandai bersahabat.

Kini kesenangan dan selera berganti, matahari yang dahulu kita hadapi dengan keteduhan, memanggil kita dalam sebuah tantangan baru. Saat bumi makin panas, sumber daya kian menipis, dan bahkan matahari menyengat lebih panas, peran atap harus bertransformasi. Ia tidak lagi cukup hanya memberikan penaungan semata tetapi ia harus menjadi 'pemberi' energi yang terbarukan.

Buku "Arunika di Atas Joglo" lahir dari sebuah kegelisahan ilmuwan, optimisme, dan ketelatenan seorang peneliti arsitektur. Pemikirannya tentang

apakah keindahan citra tradisi harus dikorbankan demi selera baru yang menonjolkan kemajuan teknologi? Ataukah sebaliknya, yakin bahwa identitas arsitektur Indonesia justru bisa menjadi wadah bagi kedaulatan energi terbarukan masa depan?

Lembar demi lembar pemikiran Flo, sapaan akrab Floriberta Binarti, menelusuri bagaimana grafis-garis dan komposisi puitis elemen tektonik dapat menguak tabir bahwa atap bangunan nan penuh pesona itu menyimpan rahasia kenyamanan termal yang jenius. Ditelisiknya bagaimana teknologi surya tidak perlu ditampilkan sebagai benda asing yang merusak, melainkan bisa melebur sebagai sahabat dan saling bersinergi agar kita mandiri.

Flo melakukan perjalanan sunyi, sendiri, untuk menemukan kembali jati diri arsitektur kita. Ia buktikan bahwa di atas atap rumah-rumah kita, tersimpan kekuatan maha besar yang memberikan kenyamanan sepanjang hari serta memberi citra sebagai masyarakat yang memahami alam. Kita kembali melihat bagaimana cahaya fajar, sengatan terik di siang hari, tak lagi sekadar cahaya yang menyinari genteng-genteng tua, tetapi juga menyalakan harapan akan kemandirian mengolah energi yang berakar pada kecerdasan itu sendiri.

Selamat datang di bawah atap penaungan masa datang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas terwujudnya buku Arunika di Atas Joglo: Sinergi Citra dan Kedaulatan Energi. Karya ini merupakan wujud kolaborasi kajian arsitektur tradisional Jawa—khususnya dari aspek penghawaan alami—dengan pengembangan arsitektur surya di wilayah beriklim tropis lembap. Substansi buku ini bersumber dari tesis magister Floriberta Binarti yang berjudul Javanese Roof Architecture for Comfort and Energy Production, disusun pada tahun 2001 di Department of Architecture, ETH Zürich (ETHZ). Hasil penelitian tersebut dikembangkan dan disajikan kembali dalam bentuk buku agar gagasan, temuan, dan pembahasannya dapat menjangkau kalangan pembaca yang lebih luas.

Buku ini membahas secara mendalam arsitektur Jawa sebagai manifestasi kosmologi, ekspresi budaya, sekaligus bentuk kecerdasan ekologis yang tumbuh dari pengalaman panjang manusia Nusantara dalam membaca dan beradaptasi dengan alam. Atap, sebagai mahkota bangunan, bukan hanya merupakan elemen visual yang dominan, melainkan juga pembentuk ruang, pengatur aliran udara, pelindung dari hujan dan terik matahari, serta simbol relasi manusia dengan langit. Dalam bingkai inilah Joglo, Limasan, Tajug, Kampung, dan berbagai bentuk kombinasinya memperoleh makna dan fungsi yang utuh.

Di tengah realitas perubahan iklim, meningkatnya kebutuhan energi, dan tuntutan penerapan teknologi energi terbarukan, muncul pertanyaan mendasar: apakah integrasi teknologi surya harus mengorbankan citra dan nilai arsitektur tradisional? Ataukah arsitektur Jawa, dengan geometri atapnya yang khas, justru menyimpan potensi besar sebagai medium strategis bagi pemanfaatan energi matahari?

Buku ini berupaya menjawab pertanyaan tersebut melalui pendekatan historis, klimatologis, fisika bangunan, serta kajian parametrik terhadap geometri

atap. Pembahasan dimulai dari kondisi geografis dan iklim Yogyakarta, kemudian dilanjutkan dengan penelusuran sejarah arsitektur rumah Jawa, prinsip kenyamanan termal di wilayah beriklim hangat-lembap, analisis pergerakan udara, serta potensi integrasi sistem photovoltaic pada atap tradisional. Keseluruhan pembahasan diarahkan untuk menunjukkan bahwa tradisi dan teknologi bukanlah dua kutub yang saling meniadakan, melainkan dua unsur yang dapat bersinergi secara elegan dan kontekstual.

Penulisan buku ini tidak hanya bertujuan memberikan kontribusi akademik bagi bidang arsitektur dan energi terbarukan, tetapi juga mengajak pembaca untuk melihat kembali warisan arsitektur Nusantara sebagai sumber inspirasi bagi masa depan. Di atas Joglo, di bawah arunika yang terbit setiap pagi, tersimpan peluang besar untuk membangun kedaulatan energi yang berakar pada identitas budaya.

Dalam proses penyuntingan naskah, teknologi kecerdasan artifisial generatif, yaitu ChatGPT, digunakan sebagai alat bantu untuk memperbaiki tata bahasa, ejaan, dan gaya bahasa. Teknologi ini juga dimanfaatkan untuk membantu merapikan penyajian beberapa gambar. Sedangkan substansi, argumentasi, penafsiran, serta tanggung jawab akademik atas keseluruhan isi buku tetap sepenuhnya berada pada penulis.

Akhir kata, semoga buku ini dapat memperkaya diskursus arsitektur tropis, mendorong eksplorasi desain yang lebih peka terhadap konteks lokal, serta menjadi bagian dari upaya bersama menuju masa depan yang berkelanjutan.

Yogyakarta, 2026

DAFTAR ISI

PROLOG V
MENJEMPUT MATAHARI MEMAKNAI NAUNGAN

KATA PENGANTAR VII
DAFTAR ISI IX
DAFTAR GAMBAR XIII
DAFTAR TABEL XIX

ARUNIKA ARSITEKTUR JAWA 1
1.1. WILAYAH GEOGRAFI JAWA 6
1.1.1. RUANG BUDAYA JAWA 7
1.1.2. TOPOGRAFI WILAYAH JAWA 9
1.2. PERKEMBANGAN ARSITEKTUR JAWA 11
1.2.1. ASAL USUL ARSITEKTUR JAWA 11
1.2.2. AWAL PEMUKIMAN DI JAWA 13
1.3. RUMAH TRADISIONAL JAWA 18
1.3.1. TIPOLOGI RUMAH JAWA 20
1.3.2. SIMBOL DALAM ARSITEKTUR JAWA 24
1.3.3. PETUNGAN; GEOMANSI JAWA 24

ATAP ARSITEKTUR JAWA 29
2.1. TIPE ATAP ARSITEKTUR JAWA 32
2.2.. JENIS BANGUNAN JAWA 35
2.2.1. JENIS JOGLO 36
2.2.2. JENIS LIMASAN 42
2.2.3. JENIS KAMPUNG 44
2.2.4. JENIS TAJUG 47

ARSITEKTUR SURYA ATAP RUMAH JAWA 51
3.1. KONDISI IKLIM DARI MASA LALU HINGGA SAAT INI 53
3.2. POTENSI ARSITEKTUR SURYA ATAP RUMAH JAWA 60
3.2.1. RASIO GEOMETRI ATAP RUMAH JAWA 60
3.2.2. ANALISIS RASIO LUAS PERMUKAAN ATAP TERHADAP LUAS LANTAI 61
3.2.3. ANALISIS RASIO VOLUME ATAP TERHADAP LUAS LANTAI 62
3.2.4. PERBANDINGAN ANTAR TIPE ATAP 63
3.2.5. IMPLIKASI TERHADAP PENGEMBANGAN ARSITEKTUR SURYA 63
3.3. KENYAMANAN TERMAL MELALUI VENTILASI PADA ARSITEKTUR RUMAH JAWA 64
3.3.1. PRINSIP KENYAMANAN TERMAL DAN VENTILASI ALAMI 64
3.3.2. MODEL SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)* 66
3.4. ATAP RUMAH JAWA SEBAGAI PANEL SURYA 96
3.4.1. DARI ARSITEKTUR SURYA PASIF MENUJU ARSITEKTUR SURYA AKTIF 96
3.4.2. ATAP RUMAH JAWA SEBAGAI KOLEKTOR SURYA AKTIF 97
3.5. POTENSI PRODUKSI LISTRIK ATAP RUMAH JAWA 101
3.5.1. POTENSI GEOMETRI ATAP RUMAH JAWA UNTUK INTEGRASI *PHOTOVOLTAIC* 101
3.5.2. SIMULASI PRODUKSI ENERGI SURYA PADA ATAP RUMAH JAWA 103

3.5.3. PENGARUH BENTUK ATAP TERHADAP PRODUKSI ENERGI SURYA 115
3.5.4. VENTILASI ALAMI DAN EFISIENSI PANEL SURYA 127

PENUTUP 129
DAFTAR PUSTAKA 135
DAFTAR ISTILAH 137
PENULIS 141

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Indonesia dan posisi Jawa 6
Gambar 2. Kraton Yogyakarta sebagai Pusat Negarigung. Kotagede berada di sebelah Tenggara Kota Yogyakarta 8
Gambar 3. Wilayah etnis di Jawa 9
Gambar 4. Pembentukan Pulau Jawa 10
Gambar 5. Geomorfologi Yogyakarta 10
Gambar 6. Kurva hipsometri Yogyakarta: dari utara (N) ke selatan (S) 11
Gambar 7. Rumah pada relief Prambanan 12
Gambar 8. Dua rumah pada relief Borobudur 12
Gambar 9. Candi Prambanan 13
Gambar 10. Candi Borobudur 13
Gambar 11. Masjid Kudus di Jawa Tengah 13
Gambar 12. Rencana tata kawasan Kotagede 15
Gambar 13. Dalem di Yogyakarta 17
Gambar 14. Sumbu Utara-Selatan Yogyakarta 17
Gambar 15. Orientasi rumah pangeran di Yogyakarta 18
Gambar 16. Tipologi rumah Jawa 19
Gambar 17. Pendapa rumah Jawa di Kotagede 20
Gambar 18. Situasi Pendapa di rumah Jawa 21
Gambar 19. Pemandangan Krobongan dari Dalem 21
Gambar 20. Wayang Kulit Jawa 22
Gambar 21. Salah satu rumah bangsawan di Yogyakarta 24
Gambar 22. Pendapa 26
Gambar 23. Sebuah Kuil di Jawa sebagai Manifestasi Mahameru 27
Gambar 24. Masjid Demak dengan Atap Tajug Bertingkat Tiga 27
Gambar 25. Satuan dalam Petungan Menurut Primbon, Serat Centhini, dan Kawruh Kalang 27

Gambar 26. Depa, satuan dasar dalam Petungan 27
Gambar 27. Arsitektur Indonesia 31
Gambar 28. Empat tipe rumah atap Jawa dalam gambar CAD 32
Gambar 29. Elemen atap khas Jawa 33
Gambar 30. Sistem konstruksi kasau konvensional pada struktur atap Jawa 33
Gambar 31. Kasau sebagai elemen non struktural atap Jawa 33
Gambar 32. Penataan kasau dengan sistem paralel. Kasau menumpang di balok bawahnya (kiri). Penataan sistem radial, kedua ujung kasau dimasukkan ke dalam balok untuk membentuk bidang trapesium. Maka dikatakan bahwa atap terbentuk dari empat buah lempengan yang disebut *empyak* (kanan) 34
Gambar 33. Alas bambu untuk dinding (atas) dan konstruksi kolom dan dinding (bawah) 35
Gambar 34. Macam dan varian Joglo di atas belum menampilkan semua jenis. Ke sebelas joglo ini setidaknya sudah menjelaskan tentang komposisi, dimensi, dan konstruksi yang ada pada saat ini 40
Gambar 35. Proporsi Joglo 41
Gambar 36. Konstruksi Tumpang Sari di tipe Joglo 41
Gambar 37. Macam ragam Limasan 42
Gambar 38. Proporsi Limasan 43
Gambar 39. Variasi Kampung 46
Gambar 40. Komposisi Kampung 46
Gambar 41. Variasi Tajug 48
Gambar 42. Proporsi Tajug 49
Gambar 43. Perbandingan suhu minimum, suhu rata-rata, dan suhu maksimum bulanan pada periode 1961-1970 dan 1989-1998 56
Gambar 44. Perkembangan kelembaban relatif bulanan Yogyakarta periode 1961-1970 dan 1989-1998 57
Gambar 45. Distribusi curah hujan bulanan Yogyakarta pada periode 1961-1970 dan 1989-1998 58
Gambar 46. Sistem sirkulasi muson dan pola arah angin dominan di Yogyakarta 58
Gambar 47. Perkembangan radiasi matahari bulanan di Yogyakarta 59
Gambar 48. Evolusi suhu udara Yogyakarta tahun 1866-1998 60
Gambar 49. Model Joglo 1, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 69
Gambar 50. Model Joglo 1, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 70

Gambar 51. Model Joglo 1, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 71
Gambar 52. Model Joglo 2, kecepatan aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 73
Gambar 53. Model Joglo 2, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 74
Gambar 54. Model Joglo 2, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 75
Gambar 55. Model Joglo 3, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 76
Gambar 56. Model Joglo 3, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 77
Gambar 57. Model Joglo 3, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 78
Gambar 58. Model Joglo 4, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 81
Gambar 59. Model Joglo 4, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 82
Gambar 60. Model Joglo 4, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 83
Gambar 61. Model Joglo 5, kecepatan aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 84
Gambar 62. Model Joglo 5, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 85
Gambar 63. Model Joglo 5, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 86
Gambar 64. Model Joglo 6, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 88
Gambar 65. Model Joglo 6, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah) 89
Gambar 66. Temperatur udara pada ketinggian di atas permukaan lantai di tengah ruangan 91
Gambar 67. Temperatur vertikal 5m dari tengah ruang 92
Gambar 68. Temperatur vertikal di tengah ruang 93
Gambar 69. Distribusi kecepatan udara vertikal 94
Gambar 70. Temperatur permukaan atap 95
Gambar 71. *Solar fraction* 98

Gambar 72. Radiasi global yang diterima oleh bidang kolektor 99
Gambar 73. Efisiensi energi keluaran modul *photovoltaic* 100
Gambar 74. Efisiensi energi keluaran modul *photovoltaic* dengan dan tanpa bayangan 100
Gambar 75. Efisiensi energi keluaran modul *photovoltaic* dengan bayangan..... 101
Gambar 76. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – utara 104
Gambar 77. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – selatan 104
Gambar 78. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – timur..... 105
Gambar 79. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – barat 105
Gambar 80. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – utara 105
Gambar 81. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – selatan 106
Gambar 82. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – timur..... 106
Gambar 83. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – barat 106
Gambar 84. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 57^0 – utara 107
Gambar 85. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo Joglo 57^0 – selatan 107
Gambar 86. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo Joglo 57o – timur 107
Gambar 87. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo Joglo 57^0 – barat..... 108
Gambar 88. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – utara 108
Gambar 89. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – selatan..... 108
Gambar 90. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – timur 109
Gambar 91. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – barat 109

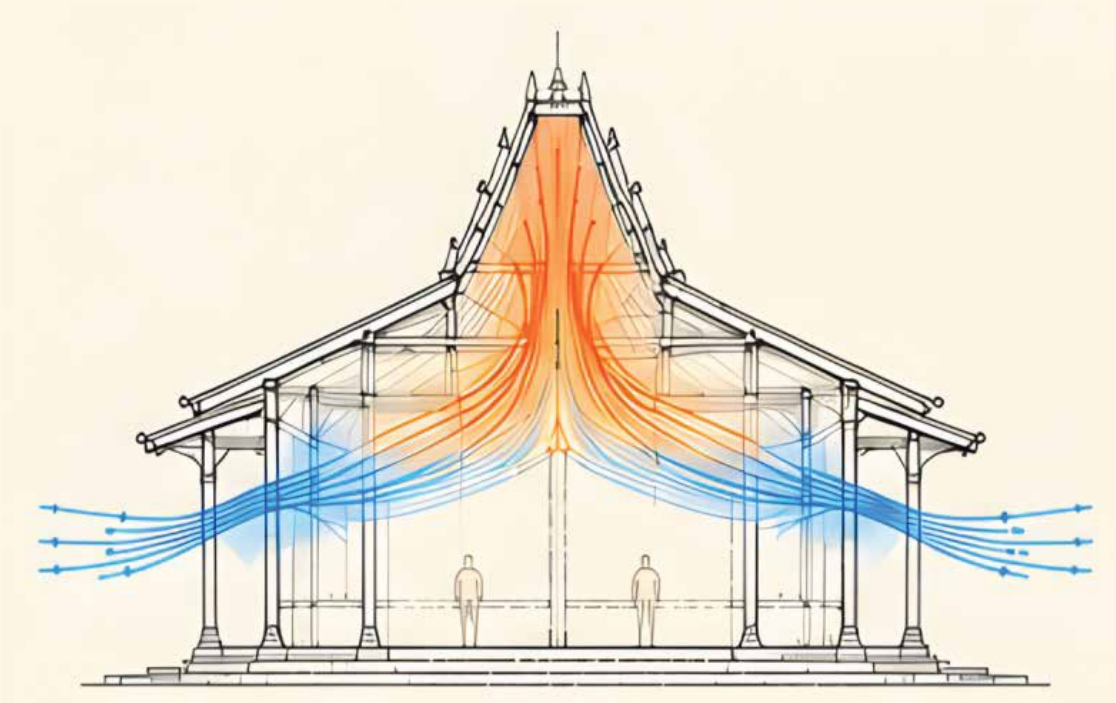
Gambar 92. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – utara 109
Gambar 93. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – selatan 110
Gambar 94. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – timur 110
Gambar 95. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – barat 110
Gambar 96. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 45^0 – utara 111
Gambar 97. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 45^0 – selatan 111
Gambar 98. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 45^0 – timur 111
Gambar 99. Kurva penghalang pada bidang kolektor photovoltaic pada atap Limasan 45^0 – barat 112
Gambar 100. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – utara 112
Gambar 101. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – selatan 112
Gambar 102. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – timur 113
Gambar 103. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – barat 113
Gambar 104. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – utara 113
Gambar 105. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – selatan 114
Gambar 106. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – timur 114
Gambar 107. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – barat 114
Gambar 108. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Joglo dengan kemiringan 17^o pada berbagai orientasi 116
Gambar 109. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Joglo dengan kemiringan 27^o pada berbagai orientasi 117

Gambar 110. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Joglo dengan kemiringan 57^{o} pada berbagai orientasi 118
Gambar 111. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Limasan dengan kemiringan 15^{o} pada berbagai orientasi 120
Gambar 112. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Limasan dengan kemiringan 28^{o} pada berbagai orientasi 121
Gambar 113. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Limasan dengan kemiringan 45^{o} pada berbagai orientasi 122
Gambar 114. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Tajug dengan kemiringan 32^{o} pada berbagai orientasi 124
Gambar 115. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Tajug dengan kemiringan 60^{o} pada berbagai orientasi 125

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rasio luas permukaan dan volume terhadap plafon adalah rasio jenis atap Jawa 61

ARUNIKA ARSITEKTUR JAWA





Di dalam diskursus Arsitektur Nusantara, esensi dan sisi artistik bangunan Jawa diyakini berpusat pada konfigurasi atapnya. Sebagai elemen simbolis, atap memberi penanda yang krusial pada arsitektur di Nusantara, sehingga tak mengherankan bila dipakai untuk memberikan identitas oleh banyak suku bangsa di seluruh wilayah Nusantara. Berdasarkan bentuk dan komposisinya atap akan dapat menunjukkan siapa penghuni dan status pemilik bangunan tersebut, dan darinya pula kita dipahamkan tentang siapa diri kita. Selaras dengan pemahaman *wastu citra* arsitektur sebagaimana yang digagas oleh YB Mangunwijaya (1992) atap adalah mahkota sehingga perlu dirancang dengan penuh kesungguhan. Lebih jauh lagi, selain dari segi fungsionalnya, atap menjadi aspek tata atur bagaimana orang dari masa lalu memahami dan memanfaatkan ruang arsitekturalnya. Pendapat terkini disampaikan oleh Prijotomo bahwa atap merupakan awal sebuah desain arsitektur dilakukan. Ia mencontohkan rumah Jawa, baik jenis Joglo Limasan, maupun lainnya, bahwa dimensi ruang dan ukuran oleh dimensi dan bentuk atapnya. Prijotomo bahkan menyatakan lebih jauh lagi, dan sangat esensial dalam memahami

orang Jawa berarsitektur, bahwa arsitektur Jawa dirancang bukan dari denahnya terlebih dahulu baru kemudian menentukan volume ruangnya. Melainkan, ataplah yang menentukan dimensi dan komposisi ruangnya.

Bentuk atap bangunan pada arsitektur lokal banyak mendapat apresiasi berkaitan dengan fungsinya maupun maknanya, maka sering kali menjadi subjek penelitian. Rapoport (1969) memperkaya pengetahuan tentang atap, dengan menyatakan bahwa karakteristik atap yang khas mencerminkan respons lokal terhadap masalah iklim. Di samping itu beberapa ahli termal bangunan menyatakan bahwa atap di wilayah beriklim hangat dan lembap sebaiknya dapat menjaga suhu ruangan tetap sama dengan suhu di luar ruangan (Wilson, 1975, p. 218). Di wilayah yang memiliki dua musim, penghujan dan kemarau, atap dengan kemiringan curam ditujukan agar dapat mengalirkan air hujan dengan cepat. Seiring dengan semakin curamnya kemiringan atap, area udara tenang terus bertambah sebagai hasil langsung dari peninggian ujung atap, karena semakin banyak aliran udara yang terbelokkan (Boutet, 1987). *Emperan*, bidang atap di sisi luar bangunan, berperan dalam melindungi pinggiran bangunan dari sinar matahari dan hujan. Di samping itu sangat memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai ventilasi selama berlangsungnya hujan. *Emper* atap juga dapat mengalihkan lebih banyak udara mengalir ke dalam ruangan. Alhasil semakin dalam tebing atap, semakin besar aliran udara masuk melalui jendela di bawahnya (Boutet, 1987). Kecepatan dan jumlah aliran udara luar ruangan sangat memengaruhi kenyamanan termal bagi penghuni yang ada di dalam ruangan. Di sepanjang garis khatulistiwa yang bersuhu hangat dan kelembapannya tinggi, kenyamanan termal banyak diperoleh melalui efek pendinginan pasif, diantaranya melalui pelubangan dinding dan atap.

Komponen atap arsitektur Jawa telah menjawab fenomena ini. Ada empat jenis arsitektur Jawa yang utama yaitu: Tajug, Joglo, Limasan, Kampung, dan sebuah lagi adalah Panggang Pe. Masing-masing jenis memiliki bentuk yang tidak banyak berbeda tetapi yang membedakan karena ditandai oleh bentuk atapnya yang khas dan dominan. Kenyataan itu sejalan dengan beberapa manuskrip kuno Jawa yang mengonfirmasikan bagaimana bentuk atap tersebut menentukan transformasi bentuk bangunan yang dinaunginya. Salah satunya adalah manuskrip "Kawruh Griya" yang pada bab pertama menjelaskan secara rinci asal-usul arsitektur Jawa:

> *"Bentuk atap bangunan Jawa dihasilkan dari tipe Tajug. Ini adalah geometri piramida dengan rencana persegi, dan bertumpu pada Saka guru (tiang utama). Transformasi dari Tajug ini dapat*

mengambil dua kemungkinan. Selama saka guru tetap berjumlah dua, denah atap dapat berbentuk persegi atau persegi panjang, dan puncak atap ini diperpanjang untuk memungkinkan balok struktural yang menghubungkan kedua puncak atap (dinamakan dalam bahasa Jawa sebagai Molo), tipe ini disebut Joglo. Nama Joglo sendiri merupakan singkatan dari Tajug-loro, yaitu dua Tajug atau Tajug ganda. Transformasi yang mengubah jumlah Saka guru – kini menjadi enam Saka guru atau lebih, dan rencana atap menjadi persegi panjang—menghasilkan tipe baru yang dikenal sebagai tipe Limasan. Nama ini berasal dari Liman-sap, yaitu dua Liman. Transformasi lebih lanjut pada tipe Limasan akan menghasilkan tipe keempat bentuk atap Jawa yang disebut tipe Kampung. Jenis ini memiliki ciri-ciri yang sama dengan Limasan kecuali penggantian dua bidang atap miring pada lebarnya dengan penutup kayu. Atap pelana praktis merupakan sinonim dari tipe Kampung ini." [11]

Pada hari-hari belakangan ini banyak orang berusaha kembali untuk menghidupkan bentukan dan gaya arsitektur masa lalu ke dalam bangunan modern mereka. Sekelompok masyarakat tertentu mencoba menafsirkan ide dan nilai simbolis dari bentuk-bentuk lama tersebut untuk dipopulerkan kembali. Namun demikian tampak bahwa sebagian besar orang-orang itu hanya menerapkan bentuk atap tradisional (Jawa) secara visual saja. Penerapan bentuk-bentuk lama tersebut kemungkinan karena adanya keinginan menerapkan kembali bentuk atap lama yang mempunyai kesan dominan dan menjadi daya tarik pandang mata, sehingga cara yang dilakukan adalah dengan menempelkan atap lama pada bangunan baru tanpa pertimbangan lebih mendalam. Sepertinya cara ini menjadi mode dengan menyajikan kembali komposisi lama dan menampilkan gaya tradisional secara utuh menyeluruh.

Di masa kini, ketika bangunan ramah lingkungan dan hemat energi menjadi kebutuhan, peran atap menjadi sangat dibutuhkan untuk mengatasi persoalan itu. Atap sebagai selubung bangunan yang paling luas bidangnya, dan secara langsung menerima panas matahari paling banyak, harus mendapat perhatian secara detail. Atap sangat potensial mengatasi kenyamanan termal bagi penghuni bangunan. Apalagi saat ini semakin banyak aktivitas orang yang dilakukan di dalam bangunan, berbagai pekerjaan membutuhkan ruangan di dalam bangunan. Dilain pihak gaya hidup baru telah mengubah desain bangunan, rencana penggunaan material bangunan, dan tata letak ruang-ruang agar saling berkoneksi. Atap harus maksimal

[1] Prijotomo, 1996, *"On the Origin of Jawanese Architecture: a preliminary study upon Kawruh Kalang and Kawruh Griya"*, International Conference on Traditions and Modernity Dec. 9-11, 1996: 2-3

memberikan kenyamanan di dalam ruangan sebagai komponen perlindungan maupun penaungan. Lebih mendesak lagi adalah atap seharusnya menjadi media untuk memanfaatkan radiasi matahari yang melimpah sepanjang hari. Saat ini sudah banyak dilakukan penerapan desain modular yang tepat, agar dapat menciptakan keberlangsungan menjaga bentuk atap tradisional tetap harmonis. Pengetahuan itu diperoleh dari manuskrip seperti Kawruh Kalang, Serat Centhini, dan lainnya. Metode desain tersebut dapat dikombinasikan dengan geometri surya dan energi untuk menciptakan 'arsitektur surya Jawa kontemporer'.

Narasi di dalam buku ini mengemukakan beberapa pernyataan masalah terkait dengan kenyamanan termal, dan secara khusus tentang penerapan arsitektur surya dalam desain arsitektur kontemporer; (1) bagaimana bentuk atap Jawa dapat memberikan kenyamanan kepada penghuninya, (2) apa saja potensi yang terkandung dalam bentuk atap Jawa sebagai selubung bangunan aktif yang memanfaatkan energi matahari? Guna menjawab tantangan dalam permasalahan kenyamanan termal analisis dan diskusi di dalam bab-bab selanjutnya bertujuan untuk menjawab melalui dua hal yaitu: *Pertama*, menyelidiki kontribusi geometri atap Jawa terhadap kenyamanan termal bagi penghuni di dalam ruang bangunan. *Kedua*, memberikan pemahaman yang jelas tentang geometri atap Jawa dalam hal strategi desainnya bagi arsitek.

1.1. WILAYAH GEOGRAFI JAWA



Gambar 1. Indonesia dan posisi Jawa

(Bateman et al., 2009)

Masyarakat suku Jawa mendiami sebagian besar wilayah Jawa, yaitu Jawa Tengah, Jawa Timur, dan sebagian kecil di Jawa Barat kecuali Jakarta. Wilayah 'Jawa' ini merupakan lahan pertanian paling subur di Indonesia. Hal itu yang menyebabkan di wilayah ini terdapat populasi terbesar dan terpadat di Indonesia. Sepanjang dua pertiga Pulau Jawa yang berpegunungan ini membentang hampir 1.000 km. Terletak di antara 105° dan 115° bujur timur. Lebarnya bervariasi antara 90-195 Km. berada di antara 6° dan 9° lintang Selatan). Hampir di seluruh wilayah ini dapat ditemukan berbagai dialek bahasa, perbedaan iklim dan suhu udara (dataran tinggi, dataran rendah, dan pantai). Ketinggian dan kemiringan bentangan alam, karakter lingkungan, dan adat istiadat membentuk pola permukimannya masing-masing.

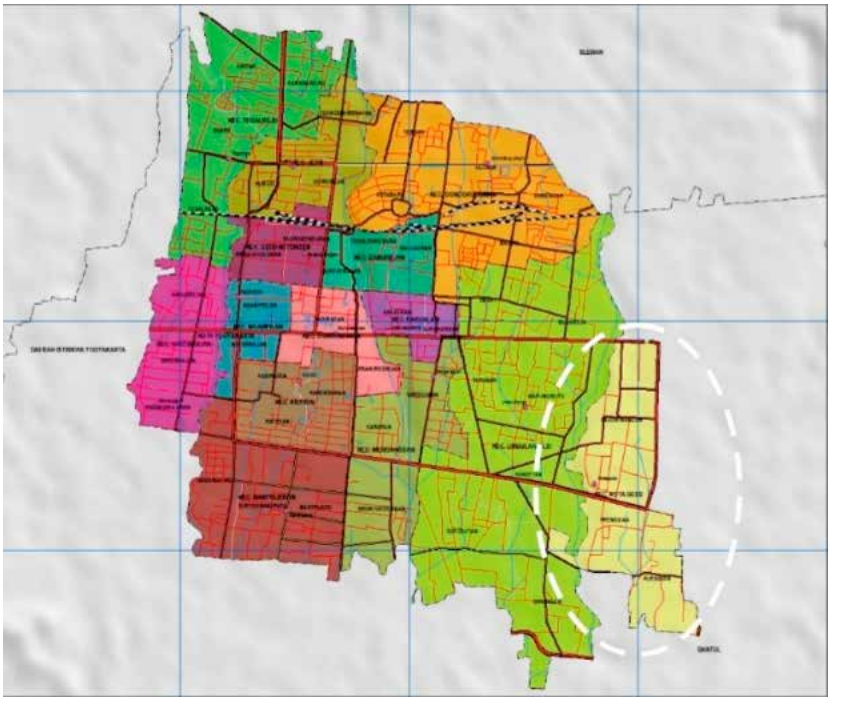
Perbedaan kondisi geografi Pulau Jawa, dan tentu persoalan adat budayanya yang berbeda pula, menyebabkan perbedaan aritekturnya pula. Setidaknya Joglo dapat dibedakan menjadi tiga yaitu: *Pertama*, Joglo di pesisir utara Jawa, mereka menyebutnya '*pencu*', lebih banyak berfungsi sebagai *omah* (rumah induk) daripada sebagai pendapa yang ruangnya terbuka. *Kedua*, Joglo di sekitar wilayah Yogyakarta dan Surakarta, hingga kini dianggap sebagai Joglo tipe ideal yang memenuhi *pakem* (standar). Ketiga, Joglo Banyumasan, wilayahnya meliputi Bagelen, Purworejo hingga pantai selatan Jawa Tengah. Joglo dengan *brunjung* yang tinggi sehingga penutup atapnya menggunakan seng, sedangkan atap pinggirnya, emperan, dengan kemiringan landai menggunakan genteng tanah liat. Guna memperoleh rumusan akhir yang terukur dan bermanfaat maka secara geografis harus dipilih salah satu wilayah dari ketiganya tersebut. Pembahasan iklim dalam buku ini akan berfokus pada Joglo yang berada di wilayah Yogyakarta.

1.1.1. RUANG BUDAYA JAWA

Studi budaya etno-linguistik menghasilkan temuan bahwa realitanya di Pulau Jawa memiliki beberapa ruang kebudayaan yang berbeda-beda, disebut dengan "wilayah budaya Jawa." Wilayah budaya Jawa dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu zona Pasundan, Pasisir, dan Kejawen. Setiap zona budaya memiliki budaya yang sangat khas, terutama dalam hal dialek bahasanya, kesenian rakyat, upacara adat, dan seni musik.

Kejawen adalah pusat budaya Jawa Tengah dan Jawa Timur. Kejawen menunjuk pada sifat-sifat yang kental tentang ke-jawa-an, selain istilah ini dipakai pada nama sebuah aliran kepercayaan yang tumbuh di Jawa dan hingga kini masih

berlangsung. Pada pembahasan buku ini istilah Kejawen ini merujuk pada tempat tinggal (komunitas) sisa-sisa aristokrasi Jawa. Wilayah ini mencakup tiga zona sub-budaya, yang dibedakan berdasarkan dialek dan tradisi. *Pertama*, zona budaya Banyumas terletak di bagian barat wilayah Kejawen. Zona ini mencakup Bagelan. *Kedua*, zona budaya Negarigung (pusat pemerintahan) terletak di tengah wilayah Kejawen. Pusat budaya Jawa etnis ini mencakup wilayah Yogyakarta dan Surakarta. Pada abad ke-18, Kerajaan (keraton), dalam rangka penguatan politik dan kebudayaan, mengembangkan konsep yang memberikan nuansa aristokratis pada seni, bahasa, dan budaya setempat. Budaya khas tersebut dipengaruhi oleh sinkretisme agama yang kuat dari Hindu, Buddha, dan Islam. *Ketiga*, zona Mancanegari (wilayah periferi di luar Negarigung) terdiri atas tiga wilayah: Madiun, Kediri, dan sebagian besar wilayah Brantas.

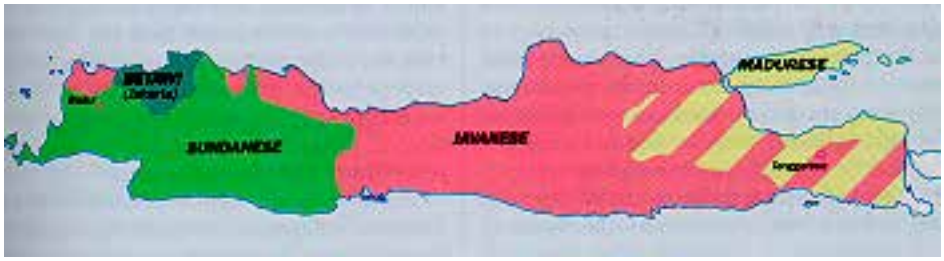


Gambar 2. Kraton Yogyakarta sebagai Pusat Negarigung. Kotagede berada di sebelah Tenggara Kota Yogyakarta

(Peta Tematik Indo, 2013)

Pembahasan objek materi buku ini akan difokuskan pada wilayah budaya Negarigung, Yogyakarta. Negarigung meliputi pusat wilayah budaya di dalam pemerintahan Daerah Istimewa Yogyakarta. Dalam pengertian ini tinjauan secara khusus dilakukan berdasarkan pengertian 'kota sebagai pusat kebudayaan'. Dalam lingkup Negarigung, Yogyakarta dan Kotagede merupakan satu kesatuan pusat

budaya. Terkait dengan masalah tersebut maka setiap pengucapan Kota Yogyakarta selalu terkait dengan Kotagede yang terletak di sebelah Tenggara Kota Yogyakarta. Demikian pula terkait dengan tata administrasi pemerintahan tersebut ditentukan yaitu Yogyakarta dan Kotagede. Perlu diingat bahwa semenjak sistem pemerintahan kerajaan hingga sekarang, secara administrasi Kotagede merupakan wilayah yang dikuasai oleh dua kerajaan yaitu Yogyakarta dan Surakarta.



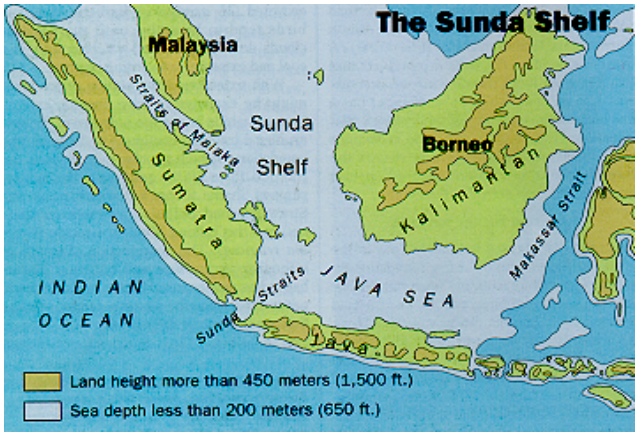
Gambar 3. Wilayah etnis di Jawa
(Oey, 1991, p. 59)

1.1.2. TOPOGRAFI WILAYAH JAWA

Pulau Jawa terbentuk melalui beberapa tahap, dari masa lalu hingga yang terakhir sekitar 15.000 tahun lalu, ketika permukaan laut naik akibat mencairnya es Pleistosen. Pulau ini terletak di ujung selatan lempeng benua yang bergerak, yang dibatasi oleh salah satu segmen paling aktif di Cincin Api Pasifik. Selama Zaman Es, lempeng-lempeng ini membentuk sub benua raksasa tersebut mencakup seluruh wilayah Jawa, Bali, Borneo, Sumatera, Malaya, dan wilayah di antara mereka yang kini tenggelam di bawah Laut Jawa yang dangkal (kurang dari 200 meter di titik terdalamnya). Selama periode tersebut, dua lipatan memanjang sepanjang garis tabrakan antara dua lempeng benua yang bertabrakan membentuk "fondasi" dasar Jawa, berupa dua barisan bukit utara dan selatan, dengan lembah yang membentang di antara keduanya. Melalui lembah ini, gunung-gunung berapi pulau ini telah terdorong secara dramatis ke atas.

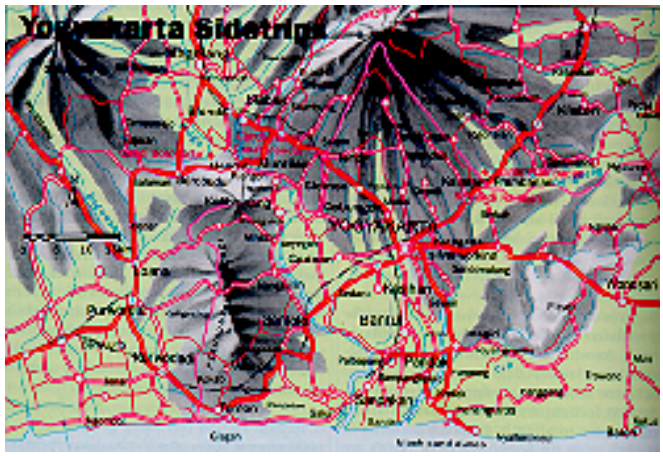
Rangkaian gunung berapi (lebih dari 25 gunung berapi) di Jawa membentuk garis tidak beraturan yang membentang sepanjang pulau, membentuk topografi Jawa, dan menyediakan lembah-lembah luas yang subur dan berair, ideal untuk pertanian padi sawah. Sebuah kompleks pegunungan dan lembah yang rumit terletak di bagian barat pulau, memiliki komposisi andesit atau basaltik. Di sebelah timur, gunung-gunung berapi tersebar lebih luas, membentuk serangkaian lembah yang berlereng landai, sangat cocok untuk terasering sawah. Banyak puncak

terbentuk pada era Tersier yang telah kehilangan bentuknya yang khas. Sebagian lainnya masih sangat muda. (Gill, 1994: 21).

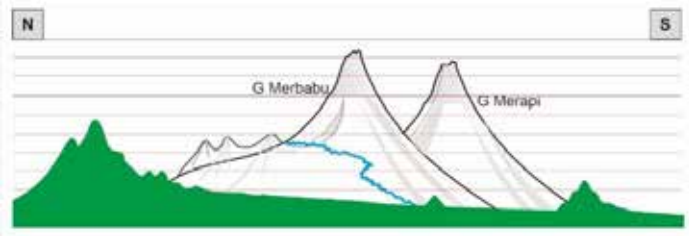


Gambar 4. Pembentukan Pulau Jawa
(Oey, 1991)

Yogyakarta terletak di pusat kurva subur 'dataran padi' Gunung Merapi (2.914 m di atas permukaan laut), tepat di sisi Selatan. Gunung berapi aktif, paling sering meletus di Jawa, mendominasi bagian Utara provinsi ini dan menciptakan salah satu kawasan pertanian paling produktif di dunia. Di sisi lain terdapat Pegunungan Menoreh membentang di bagian barat, sedangkan di selatan berupa dataran rendah berakhir di pantai Samudra Indonesia. Bagian tenggara ditutupi oleh bentangan Gunung Sewu (Pegunungan Seribu) tanah berbatu kapur membentuk tanah kontras dengan lereng vulkanik yang subur dan hijau di kaki Gunung Merapi. Di pegunungan kapur ini tanahnya yang dangkal terdiri atas tanah liat gelap dan berat.



Gambar 5. Geomorfologi Yogyakarta
(Oey, 1991, p. 192)



Gambar 6. Kurva hipsometri Yogyakarta: dari utara (N) ke selatan (S)
(Gill, 1995, p. 21)

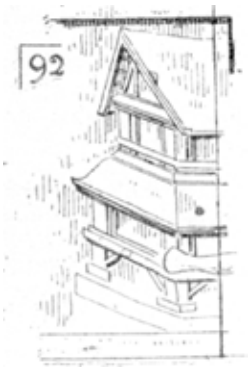
1.2. PERKEMBANGAN ARSITEKTUR JAWA

Arsitektur hasil kecerlangan dan kreativitas yang berkembang dari masa lalu menjadi sebuah tradisi keilmuan suatu suku bangsa. Kini secara singkat karya-karya itu disebutnya sebagai arsitektur tradisional. Diksi 'arsitektur tradisional' mempunyai banyak arti tergantung pada pemakaian dan tujuan si peneliti. Pada pembahasan di dalam buku ini arsitektur tradisional Jawa dimaknai sebagai 'karya seni dan teknologi masa lalu dari suku bangsa Jawa'. Ketahanan selama berabad lamanya dan keberadaannya yang merata di seluruh wilayah tinggalnya masyarakat Jawa, hingga kini, menunjukkan adanya perkembangan pemikiran dan kreativitas yang cemerlang berlanjut seiring dengan perubahan sosial masyarakat dan lingkungannya. Menelusuri masa lalu dari periode prasejarah hingga periode kolonial Belanda membantu menjelaskan asal-usul arsitektur rumah tinggal khususnya rumah-rumah Jawa beserta evolusinya yang tiada henti.

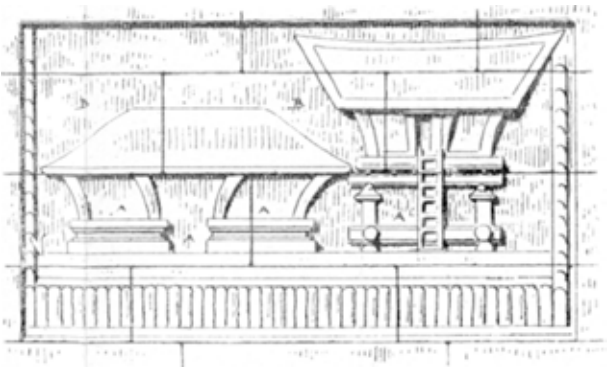
1.2.1. ASAL USUL ARSITEKTUR JAWA

Diskursus sejarah perkembangan arsitektur Jawa dimulai dari migrasi kedatangan bangsa-bangsa asing ke tanah Jawa. Pada masa prasejarah di Asia Tenggara dapat dianggap sebagai titik awal evolusi arsitektur Jawa. Gelombang migrasi pertama, Austronesia, datang dari Yunan sekitar tahun 5000-3000 SM. Mereka membangun rumah kayu di atas tiang dengan atap melengkung dan menonjol. Desain tersebut kemudian diakui sebagai rumah kayu Austronesia klasik. Survei etnografi menunjukkan bahwa bentuk-bentuk arsitektur semacam itu telah ditemukan di banyak bagian Kepulauan Asia Tenggara, tentunya dalam berbagai variasi. Bentuk ini tampaknya dirancang untuk mengatasi masalah iklim seperti curah hujan dan radiasi matahari. Bentuk atap ini diinterpretasikan sebagai simbol kapal yang membawa nenek moyang para pendatang ke tanah baru ini (Noriaki, 1982, pp. 10, 28–29)

Migrasi kedua adalah migrasi Dongson, yang jangkauannya lebih luas yaitu menyebar ke seluruh Asia Tenggara. Peradaban ini ditandai dengan silinder perunggu. Silinder-silinder ini dihiasi dengan gambar-gambar yang terkadang menggambarkan konstruksi arsitektur. Semua gambar tersebut menggambarkan rumah panggung, yakni merupakan jenis rumah tinggal yang paling umum pada saat itu. Rumah-rumah ini memiliki bentuk yang sama dengan rumah-rumah Austronesia.



Gambar 7. Rumah pada relief Prambanan
(Parmentier, 1907)



Gambar 8. Dua rumah pada relief Borobudur
(Parmentier, 1907)

Jenis rumah-rumah tersebut direkam sebagai relief batu di monumen Buddha Candi Borobudur, sekitar 40 Km ke arah barat laut Yogyakarta tepatnya di Kabupaten Magelang. Jenis rumah tersebut dibangun pada masa Kerajaan Mataram yaitu pada abad ke-8, masa Kekaisaran Maritim Shailendra. Desain rumah yang serupa juga ditemukan di kompleks candi Hindu Prambanan dekat Yogyakarta, 17 km arah timur menuju Surakarta, yang dibangun pada akhir abad ke-9. Pada masa berikutnya bangunan rumah yang serupa dapat dijumpai pada relief-relief di candi-candi di Jawa Timur.

Tipe bangunan rumah tinggal seperti yang digambarkan di atas tampaknya sudah umum dibangun semenjak abad ke-9 hingga abad ke-12. Sedangkan pada sekitar abad ke-13 atau ke-14, tipe rumah yang lebih disukai di Jawa Tengah dan Jawa Timur adalah rumah dengan lantai di tanah, atap bergelombang horizontal, dan tanpa adanya elemen atap yang menonjol. Pada masa tersebut rumah panggung, lantai rumah di atas tiang, menjadi semakin jarang ditemui.



Gambar 9. Candi Prambanan
(Dokumentasi Pribadi, 2026)



Gambar 10. Candi Borobudur
(Dokumentasi Pribadi, 2023)



Gambar 11. Masjid Kudus di Jawa Tengah
(Prijotomo, 1992, p. 65)

Pada perkembangan selanjutnya rumah-rumah di Jawa pada abad ke-13 hingga ke-15 sangat dipengaruhi oleh arsitektur dari peradaban India (abad ke-2 hingga ke-15 Masehi). Selama periode ini, Buddha dan Hindu di Nusantara akhirnya bercampur dengan agama lokal asli Jawa, membentuk kombinasi yang unik. Hingga saat ini, arsitektur Jawa ditandai oleh ketinggian proporsional vertikal yang rendah, dengan karakteristik penekanan yang kuat pada elemen horizontal.

Fase berikutnya jenis rumah mengalami perkembangan khususnya pada masa Islam diperkenalkan ke Jawa pada abad ke-15. Meskipun transisi agama ini memengaruhi banyak aspek budaya Jawa, hal ini tidak tercermin dalam arsitektur kecuali ketidakhadiran monumen Hindu-Jawa. Arsitektur Jawa pada periode setelah transisi menunjukkan banyak kesamaan dengan arsitektur yang digambarkan pada relief batu di candi Hindu-Jawa hingga abad ke-15. Arsitektur Jawa menunjukkan suatu anomali dalam proses perubahan (Prijotomo, 1984: 4). Beberapa bangunan Islam bahkan mengadopsi bentuk eksternal candi Hindu-Jawa, dengan gambar dewa-dewa dan pangeran yang diangkat ke derajat Tuhan. Elemen yang sering diadopsi adalah atap yang bertingkat-tingkat.

1.2.2. AWAL PEMUKIMAN DI JAWA

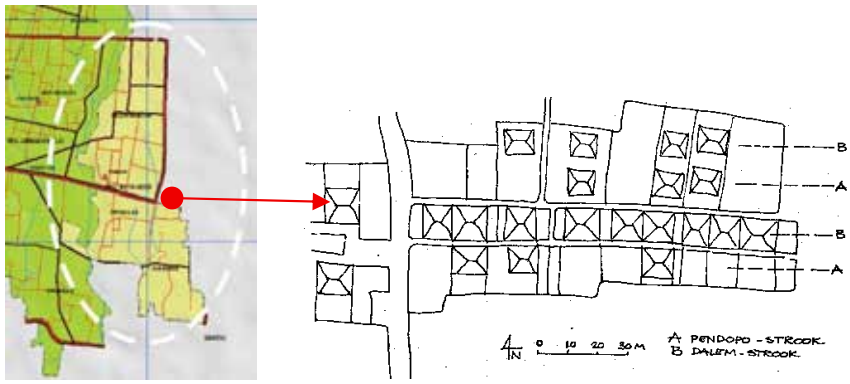
Pemukiman Jawa diperkirakan dimulai pada tahun 500 SM. Kurangnya catatan sejarah kuno menyebabkan arsitektur permukiman pada masa itu tidak banyak dikenali. Hilangnya informasi pada masa lalu dapat dimengerti mengingat permukiman biasanya dibuat dari material bangunan yang umurnya relatif pendek, semisal kayu dan bagian tertentu dari tanaman jenis pohon. Sementara itu gejala alam seperti kebencanaan berkaitan dengan vulkanologi sering terjadi menyebabkan hilangnya peninggalan arsitektur permukiman pada masa silam. Berbeda dengan

arsitektur candi yang banyak terdapat di Sumatera dan Jawa, karena tingkat keawetan material bangunannya tinggi sehingga banyak meninggalkan jejak sejarahnya. Hingga saat ini arsitektur batu, percandian, masih terlacak dan terdokumentasi secara baik.

Perkembangan selanjutnya adalah hadirnya budaya Dongson di tanah air, datang menyusul kemudian hari, menghasilkan karya arsitektur berupa arsitektur perkotaan, dalam hal ini berupa kota-kota besar, istana pada umumnya, secara luar biasa. Di kawasan Austronesia, khususnya di pusat kebudayaan Jawa, terbentuklah kota-kota baru yang modern, istana sebagai pusat pemerintahan, seperti Surakarta, Yogyakarta, dan Kota Gede dianggap sebagai sebuah prototipe baru. Pembahasan pada buku ini hanya akan mencakup salah satu kota saja yaitu kota kerajaan Yogyakarta dan wilayah sekitarnya yakni Kotagede itu.

Kota Gede didirikan pada paruh kedua abad ke-16 sebagai ibu kota Kerajaan Mataram Kuno. Di sinilah kerajaan Mataram terakhir berkedudukan dan selanjutnya pindah ke Kartasura, berjarak sejauh 60 km. Mataram sebuah kerajaan dengan ideologi Islam. Maka kini Kerajaan Mataram itu disebut dengan kesultanan; Kasultanan Ngayogyakarta Hadiningrat atau Kasultanan Yogyakarta.

Struktur tata ruang kerajaan diatur dengan sistem formal yang ketat, mirip seperti peninggalan yang ditemukan di kota Majapahit. Pola ruang dan tatanan bangunan keraton Kotagede merupakan komposisi formal, sebagai berikut: Pasar terletak di pusat kota, di sebelah Tenggara terdapat pusat pemerintahan, istana. Masjid di sisi Selatan pasar. Pemukiman tertata secara linear, menghadap ke Selatan secara simbolis menghadap ke arah Dewi Laut Selatan (Ratu Kidul). Arah mata angin diberi makna tertentu, melambangkan sesuatu yakni dzat, medium, yang mengatur ‘perilaku yang benar’ (Salam, 1990, p. 194). Secara tipologis setiap rumah terdiri atas beberapa unit bangunan, yang utama adalah Pendapa sebagai ruang tamu dan *dalem* (Jawa: rumah) sebagai rumah induk. Keduanya banyak yang menggunakan gaya dan sistem arsitektur Joglo, yakni sebuah jenis arsitektur khas Jawa.



Gambar 12. Rencana tata kawasan Kotagede
(Gill, 1995, p. 49)

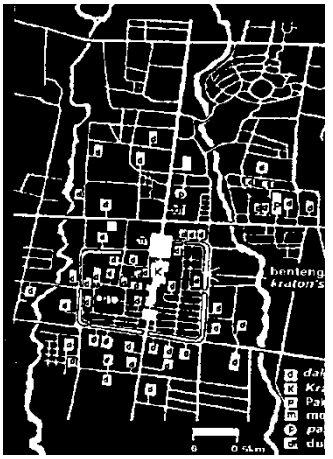
Kuasa Kesultanan Yogyakarta mencakup seluruh wilayah provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Istana, tempat tinggal sultan, menjadi pusat kerajaan dan kini menjadi pusat kota Yogyakarta. Keraton dirancang dan dibangun secara bertahap antara tahun 1756 dan 1790 oleh pendiri Yogyakarta, Pangeran Mangkubumi bergelar Sultan Hamengku Buwono I. Berdiri semenjak tahun 1755 setelah perjanjian Giyanti membagi Mataram menjadi dua yaitu Kasunanan Surakarta dan Kasultanan Yogyakarta. Rancangan keraton dibangun dengan pola tata ruang yang menerjemahkan model kosmos Jawa dalam skala miniatur (kota raja) dengan tujuan agar negeri tersebut memperoleh kehidupan sosial dan relijius yang harmonis. Tatanan ruang terencana dalam konsep arsitektur kota Jawa yang secara transenden bertujuan agar negeri itu memperoleh daya kekuatan ilahiah dalam lingkup seluas semesta alam. Konsep tersebut mewujud menjadi sebuah arsitektur kota yang kini menjadi contoh sebuah keindahan arsitektur istana tradisional Jawa. Konsepsi kosmologi Hindu-Jawa kuno ini didasarkan pada model kosmologi India yang kemudian disublimasikan sesuai dengan gagasan dan pola pikir *kejawen*. Konsep ini terus dipertahankan tanpa banyak perubahan hingga masa Islam dikemudian hari.

Secara fisik dan visual ciri khas kosmos India mewujud dalam gunung suci Mahameru yang berdiri di pusat alam semesta, dikelilingi oleh serangkaian laut dan benua yang berlapis-lapis. Keraton terbentuk dari sebuah komposisi ruang khas beraura Jawa moderen masa lalu. Kini orang menyebutnya keraton adalah arsitektur Jawa tradisional yang menjadi ikon dan konsep berarsitektur pada masa selanjutnya. Terbentuk dari peruangan berskala ruang urban, yakni berupa halaman tengah luas dilengkapi dengan pelataran-pelataran kecil bebangunan di sekelilingnya, membentuk komposisi ruang-masa berkarakter terbuka, sebuah kedaton. Di dalam

kedaton berisi beberapa paviliun besar terbuka dengan pusatnya berupa bangunan ikonik yaitu sebuah ruang pertemuan besar bernama pendapa. Dalam tataran konsep ruang pada kosmologi Jawa, pendapa dengan atap tinggi menjulang yang dinamai Joglo, adalah simbolisasi dari Gunung Mahameru; ia pusat alam semesta.

Di sisi luar pendapa terdapat dinding pelingkup dalam ukuran yang amat panjang membentuk jeda antar ruang. Dinding putih tersebut mengelilingi pendapa itu adalah sebuah benteng berbentuk persegi empat. Terdapat beberapa lubang pada dinding panjang dan tinggi berfungsi sebagai pintu gerbang berukuran tinggi menyesuaikan dengan proporsi dindingnya. Paviliun-paviliun yang berada di dalam benteng ketinggian lantainya diangkat dari permukaan tanah, *platform* nya ditinggikan, memiliki halaman depan tidak seberapa luasnya. Tak lain unit-unit tersebut adalah bangunan pelengkap dan fasilitas keraton. Dua pintu gerbang utama disebut dengan *plengkung* (bentuk pintunya melengkung separuh busur lingkaran), yang ada di Utara namanya *Plengkung Wijilan* sedangkan yang ada di Selatan namanya *Pengkung Gading*. Secara simbolik kedua *plengkung* tersebut adalah pemisah antara benua (daratan keraton) dengan lautan simbol dari lapangan yang luas tersebut. Selain pendapa yang bentuknya ikonik terdapat dua paviliun besar terletak di ujung Utara di belakang pendapa dan sebuah lagi berada di ujung Selatan. Keduanya memiliki halaman yang luas disebut alun-alun, dengan demikian keraton Yogyakarta memiliki dua buah alun-alun yaitu *Alun-alun Utara* dan *Alun-alun Selatan*. Diantara keduanya terdapat ruang terbuka adalah sebuah halaman tengah dalam susunan simetris. Kedua Alun-alun tersebut membentuk garis lurus utara-selatan yang disebut sumbu imajiner keraton. Kearah Utara sumbu itu berakhir di Gunung Merapi sedangkan kearah Selatan berakhir di Laut Selatan yaitu Samudera Indonesia.

Pada skala makro, keraton dirancang sebagai titik tengah garis lurus yang membentang dari puncak Gunung Merapi, sebagai titik Utara, hingga Samudra Indonesia sebagai akhiran di sisi Selatan. Penataan dan komposisi ruang pada *dalem* keraton tersebut diulang pada kediaman-kediaman para bangsawan (*dalem* pangeran) dalam skala yang lebih kecil. *Dalem* pangeran letaknya tersebar ke Utara dan Selatan sejajar dengan dua sungai yang mengapit dan menjadi pembatas kawasan keraton. Sungai Code berada di sepanjang sisi timur kawasan keraton sedangkan Sungai Winongo di tepi barat keraton.

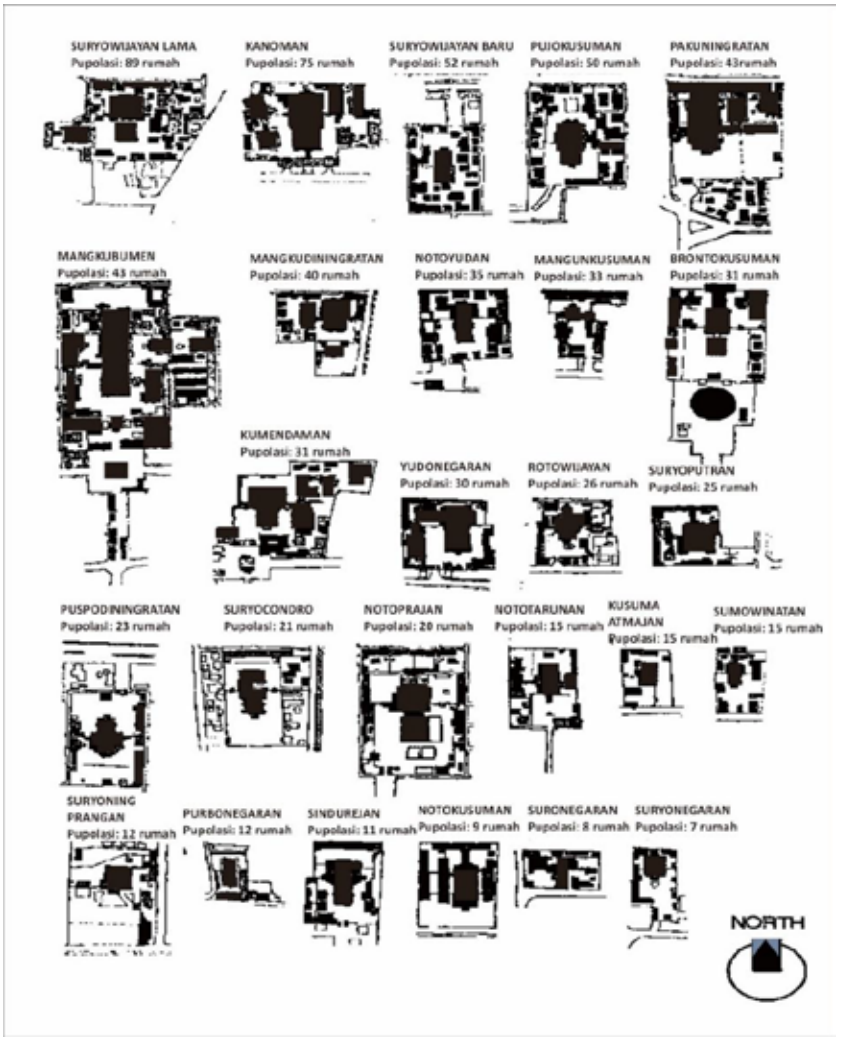


Gambar 13. Dalem di Yogyakarta
(Ikaputra, 1996, p. 22)



Gambar 14. Sumbu Utara-Selatan Yogyakarta
(Gill, 1996, p. 49)

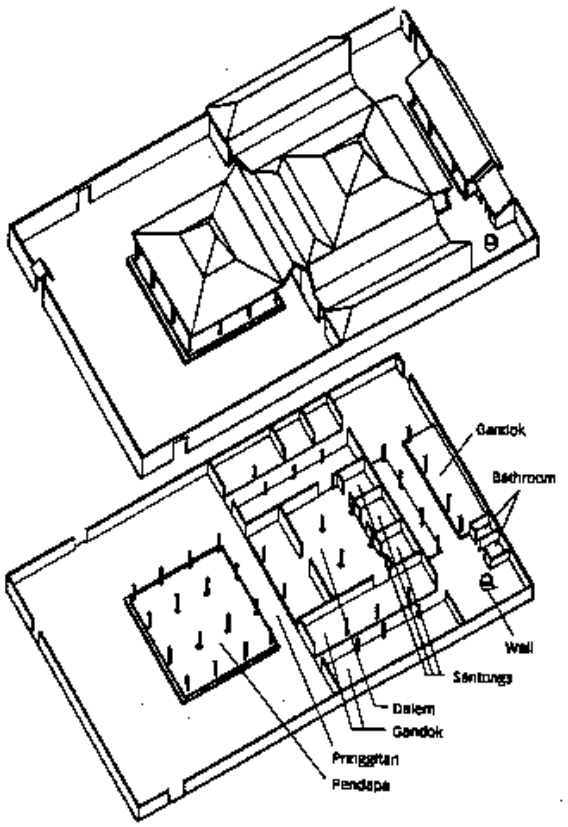
Sistem orientasi dan pola ruang keraton diterapkan pada komposisi ruang *dalem* pangeran Yogyakarta. Struktur ruang permukiman di dalam keraton, khususnya elemen dominan keraton yaitu *dalem* pangeran, berorientasi ke arah Selatan, sementara masa bangunan lainnya berorientasi menghadap ke arah Utara. Orientasi bebangunan tersebut ditunjukkan dengan adanya pintu gerbang utama ke dalam rumah tinggal yang posisinya tergantung dari jalan utama lingkungannya. Pada saat kini beberapa *dalem* pangeran masih berfungsi dengan baik dan masih didiami oleh para pangeran keraton (Ikaputra, 1996, p. 4).



Gambar 15. Orientasi rumah pangeran di Yogyakarta
(Ikaputra, 1996)

1.3. RUMAH TRADISIONAL JAWA

Rumah Jawa atau *omah* memiliki makna yang jauh lebih dalam daripada sekadar tempat tinggal (Prijotomo, 1995, p. 4). Dalam pengertian fisik, *omah* dapat berarti sebuah unit bangunan tempat tinggal, tetapi bisa juga berarti sebuah pekarangan dengan beberapa unit bangunan tempat tinggal. Berkenaan dengan kebutuhan pokok kehidupan orang Jawa, yaitu makan, pakaian, tempat tinggal, dan beribadah, rumah dapat dibagi menjadi empat kelas sebagaimana didefinisikan oleh (Mees, 1994, p. 1):



Gambar 16. Tipologi rumah Jawa
(Oliver, 1997, III.6)

1. *Longkangan*: ruang kehidupan berupa komposisi ruang fisik. Tempat tinggal dengan organisasi ruang dan bentuk masa yang jelas sehingga merupakan sebuah tempat yang terstruktur. Sebuah penyempitan lingkungan sekitar, sehingga terbentuk ruang yang berketubuhan, sebagai gambaran kemampuan manusia di dalam mengendalikan ruang-lingkup hidupnya,
2. *Panggonan*: adalah tempat berupa wilayah dengan habitatnya,
3. *Panepen*: tempat untuk kontemplasi. Tempat untuk menetap secara permanen. Juga sebuah tempat untuk refleksi dan komunikasi metafisik.
4. *Palungguhan*: tempat untuk interaksi sosial dan tempat beradaptasi. Suatu tempat agar orang dapat menyesuaikan diri satu sama lain. Tempat berlangsungnya interaksi antara pribadi dengan anggota komunitasnya.



Gambar 17. Pendapa rumah Jawa di Kotagede
(Dokumentasi Pribadi, 2026)

1.3.1. TIPOLOGI RUMAH JAWA

Satu rumah tinggal dihuni oleh satu keluarga. Biasanya sebuah keluarga Jawa tinggal di satu kompleks rumah tunggal, yang di dalamnya dapat terdiri atas satu unit bangunan maupun beberapa unit bangunan. Secara umum digambarkan rumah Jawa ideal adalah sebuah kompleks pekarangan yang memiliki beberapa unit bangunan, dalam komposisi yang terstruktur dan teratur, dalam satu kavling yang berpagar dinding. Pada mulanya bangunan-bangunan tersebut, dimasa lalu, terbuat dari kayu. Bentuk, dimensi, dan luasnya ditentukan oleh atapnya, bukan berdasarkan fungsi dan keinginan penghuninya. Penghuni rumah biasa tinggal di satu bangunan dengan jenis atap tertentu yang dirasanya cocok. Setiap jenis bangunan memiliki tatanan ruang dan bentuk atap yang sudah tertentu. Setiap jenis bangunan memiliki arti dan makna tertentu sehingga pemilik tinggal memakainya sesuai dengan status sosial dan kemampuan ekonominya. Jenis bangunan akan cocok dan serasi bila dipakai oleh orang-orang dengan status dan prasyarat tertentu berdasarkan hierarki dalam strata sosial di masing-masing lingkungan masyarakatnya. Sebagai contoh pendapa berarsitektur Joglo biasanya dimiliki oleh para priayi dan saudagar kaya, jarang masyarakat biasa membangun pendapa Joglo di rumahnya. Dapat dikatakan setiap jenis bangunan akan mencerminkan status atau kekayaan mereka. Sebagai contoh misalnya jenis bangunan panggang Pe, Kampung, dan Limasan akan dipilih dan disesuaikan dengan fungsi kegiatan di dalamnya. Prinsip dan tatanan primordial ini dalam perjalanan waktu akan mengalami perkembangan dalam berbagai cara dan penyesuaian kehidupan masyarakatnya. Di bawah ini sebuah contoh kompleks

bangunan rumah tinggal dengan atap Joglo di beberapa tempat dibangun oleh masyarakat kaya lagi bangsawan. Pendapat di bagian depan, menyatu dengan dalem yang dirangkai dengan ruang penghubung yakni *pringgitan*. Nampak di sini pendapa sudah mengalami perubahan yaitu dengan adanya penambahan dinding pelingkupnya.

Pada prinsipnya rumah-rumah ini, dalam susunannya yang lengkap, memiliki setidaknya tiga struktur independen yang bersama-sama membentuk kesatuan utuh yaitu pendapa, pringgitan, dan *dalem*. Struktur-struktur ini diklasifikasikan berdasarkan satuan atapnya. (Prijotomo, 1992, pp. 40–42):



Gambar 18. Situasi Pendapa di rumah Jawa
(Dokumentasi Pribadi, 2026)



Gambar 19. Pemandangan Krobongan dari Dalem
(Dokumentasi Pribadi, 2026)

Pendapa, ruang terbuka beratap yang terletak di bagian depan rumah. Unit ini merupakan ciri khas arsitektur Jawa yang paling menonjol dan masih dapat dilihat hingga saat ini. Kata 'pendapa' adalah variasi dari kata Sansekerta kuno 'mandapa' atau aula, yang berarti semacam paviliun besar tempat tamu diterima. Unit pendapa terdapat di banyak rumah mewah dan memiliki denah persegi panjang atau bujur-sangkar dengan atap Joglo. Perayaan keluarga dan pertemuan dengan para tamu diadakan di unit bangunan pendapa ini. Adapun acara keagamaan, sebuah upacara yang bersifat pribadi, dilakukan di *senthong tengah*, yang terletak di unit bangunan *dalem*.



Gambar 20. Wayang Kulit Jawa
("Yogyakarta, Wayang Kulit" by Arian Zwegers, CC BY 2.0)

Pringgitan: ruang untuk *ringgit*, yang berarti wayang kulit atau pertunjukan wayang kulit Jawa. Pringgitan adalah unit bangunan terkecil berupa selasar yang digunakan sebagai lorong sempit menuju ke bagian belakang rumah yakni *dalem*. Di bagian *pringgitan* ini, panggung selalu didirikan pada setiap kali pertunjukan wayang. Bentuk pringgitan segi empat memanjang yang diatapi dengan atap berbentuk 'Kampung'. *Pringgitan* merupakan ceruk, ruang antara, yaitu ruangan yang berada diantara *dalem* dan pendapa. Selain berfungsi sebagai ruang penghubung juga menjadi tempat untuk mendirikan *kelir* (layar pertunjukan) panggung wayang kulit.

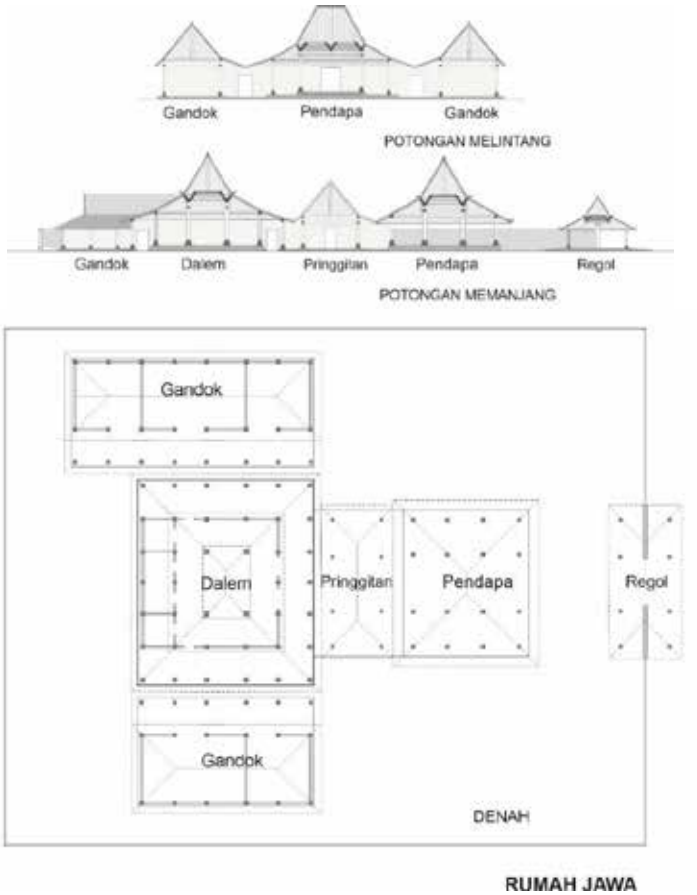
Dalem atau *omah*: sekumpulan ruangan bersifat pribadi untuk menyelenggarakan aktivitas keluarga. *Dalem* adalah satu-satunya bangunan yang berdinding tembok dengan atap Limasan atau Joglo. Peruangan pada sebuah dalem terbagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut:

Krobongan atau *Senthong Tengah*: ruang di bagian tengah belakang dalem. Ruangan ini merupakan area yang paling sakral dibandingkan dengan seluruh ruangan yang ada di dalam *dalem*. Sebuah tempat untuk menyelenggarakan meditasi dan upacara ritual keluarga. Ritual tersebut ditujukan sebagai penghormatan kepada Dewi Sri, yaitu dewi, atau bidadari, yang menyimbolkan kesuburan dalam konteks masyarakat agraris. Dewi Sri juga menjadi perwakilan dewa dan leluhur orang Jawa.

Senthong Kiwa dan *Senthong Tengen:* dua buah kamar yang mengapit *senthong tengah*. Ketiganya mempunyai ukuran ruang yang sama. Ruang tengah untuk kegiatan ritual dan untuk menyimpan benda-benda perlengkapannya, sementara itu ruang di sebelah kiri dan kanannya untuk tidur.

Beberapa ruang yang disebutkan tadi adalah ruang yang selalu ada di rumah tinggal yang mempunyai unit pendapa dan *omah*. Sebagai tempat tinggal pada umumnya di dalam rumah Jawa, terutama milik para pangeran dan orang terpandang, juga terdapat ruangan lainnya seperti: kamar tidur, ruang makan, kamar mandi, *pawon* (dapur), dan semua jenis kandang ternak. Kelengkapan ruangan di dalam rumah sangat tergantung pada kondisi kemampuan ekonomi dan status sosial pemiliknya. Elemen penting lainnya yang memberikan rasa privasi dan status sosial yang tinggi bagi keluarga adalah dinding yang mengelilingi rumah (Prijotomo, 1992, pp. 40–42)

Arsitektur Jawa bervariasi sesuai dengan status sosial ekonomi penghuninya. Perbedaan kelas ditunjukkan dengan jumlah peruangan di dalam rumah. Pembedaan kelas juga didasarkan pada pola tatanan ruang dan dimensinya . Kelas sosial yang banyak berhubungan dengan fungsi publik memiliki pola ruang yang lebih rumit dan beragam demikian pula dimensinya serba luas (Mees, 1994, p. 2)



Gambar 21. Salah satu rumah bangsawan di Yogyakarta
(Ronald, 1990)

1.3.2. SIMBOL DALAM ARSITEKTUR JAWA

Memahami salah satu tipe arsitektur Jawa, yakni salah satu jenis bangunan yang amat dikenal secara luas yaitu Joglo, kita akan temui beberapa unsur berupa elemen dan komponen bangunan yang amat khas. Komponen tersebut membentuk bahasa tertentu sehingga menjadi simbol kejawaan yang mempunyai makna tertentu. Komponen tersebut berupa: (1) atap bertingkat, menjulang, dan menandai sebuah kekhususan bangunan tersebut, (2) empat tiang utama pendukung beban seluruh bangunan yang disebut 'saka guru', dan (3) pusat bangunan berupa ruang kosong, berada tepat di tengah bangunan dinamai '*krobongan*'. Ketiganya merupakan kekhususan karena tidak terdapat di bangunan tradisi Jawa lainnya. Oleh karenanya masyarakat memberi predikat khusus, yang menandakan sifat utama atau suci, pada Joglo tersebut.

Atap susun dua, tiga, hingga lima tingkatan, memberi karakter yang amat kuat sebagai sosok masa dengan komposisi vertikal. Atap piramida ujungnya membentuk garis, bukan titik, menjadi perlambang bersatunya bangunan dengan langit. Selain itu ujung atap berupa garis memberikan petunjuk orientasi bangunan dan arah mana bagian depan maupun bagian samping bangunan itu. Penghayatan secara lebih mendalam terhadap bentuk dan komposisi atap bangunan tersebut dibaca sebagai sebuah relasi antara pusat yang menguasai empat penjuru dengan lingkungan sekitarnya.

Joglo sebuah bangunan tergolong besar dan luas karena fungsinya diperuntukkan sebagai ruang publik. Ruangan terbuka dan luas karena untuk menampung kerumunan besar, misalnya pertemuan antara tuan rumah dengan para tamunya. Kadang juga menjadi ruangan untuk menampung tetamu yang datang untuk menonton pergelaran wayang kulit yang diselenggarakan si empunya rumah di halamannya.

Karakter vertikalitasnya pada atap sedikit dimodifikasi dengan horizontalitasnya, pada bagian ruang di bagian bawah karena kebutuhan untuk menutupi ruang yang lebih luas tersebut dari sengat cahaya matahari dan tempias air hujan. Horizontalitas yang kuat digunakan demi menciptakan keseimbangan, yakni antara vertikalitas dan horizontalitas berkelindan dalam tampilan komposisi secara menyeluruh. Bentuk atap dominan ini seolah-olah menggambarkan ruang di bawahnya tersembunyi dan bangunan terlihat menghunjam kuat ke dalam tanah. Selain pada Joglo atap berlapis-lapis ini juga diterapkan pada jenis bangunan '*Tajug*', yaitu Joglo yang ujung atapnya berupa sebuah titik.

Penampilan pendapa sering kali tidak memiliki lapisan atap dalam posisi bersusun. Sebagai gantinya, atap bangunan ini diberi bentukan piramida meruncing, merupakan cara bertahap untuk mengakhiri atap menjadi semakin mengecil hingga berakhir dalam batasan tertentu. Bentuk bangunannya yang persegi empat secara konsisten akan menentukan pembentukan atap dengan puncaknya berupa garis, bukan titik. Pentahapan bagian bersusun ini juga dimaknai sebagai sebuah cara untuk mencapai tingkat kesempurnaan, atau kesucian, dalam kesekuleran arsitektur rumah tinggal orang Jawa.



Gambar 22. Pendapa
(Prijotomo, 1996, p. 77)

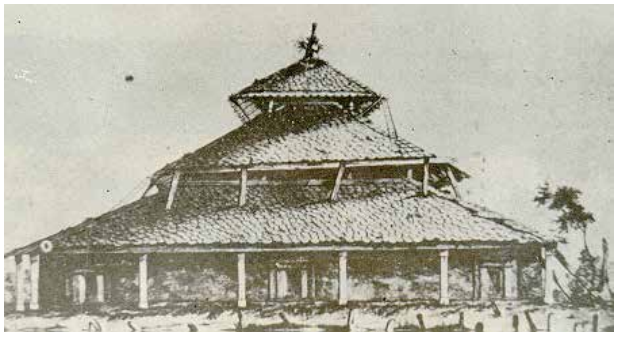
'Sel suci', di dalam ruangan Joglo disebut *krobongan*, adalah bagian satu-satunya ruang yang tidak untuk dihuni dan tidak dapat diakses di seluruh bangunan. *Krobongan* penuh akan materi energi yang pada akhirnya selalu kosong dari jamahan aktivitas penghuninya. Ruangan ini selalu ada pada titik pusat monumen-monumen Hindu-Jawa. Sel suci ini ditempatkan langsung di bawah atap tipe meru, tempat yang paling terlindungi dari sentuhan aktivitas keseharian. Melalui analogi ruang, bila *krobongan* berada di tengah ruangan, pada bangunan lain seperti masjid, sel suci ini ditempatkan di ujung susunan ruang seperti ruang imam, *mihrab*, di masjid.

Gugus ruang rumah tinggal orang Jawa memiliki dua macam ruang, satu terbuka dan lainnya tertutup. Ruangan terbuka beratap, pendapa, mengekspresikan kecerahan, keterbukaan, dan transparansi. Berbeda dengan pendapa, dalam komposisi dan konstruksi ruang yang sama, *dalem* berdinding masif, oleh karenanya tidak ada jendela di bangunan *dalem* (tempat *krobongan* berada). *Dalem* memiliki kualitas ruang yang terbalik dengan pendapa ruangannya didominasi oleh kegelapan, ketidakjelasan[2], dan misteri.

[2] Kegelapan dan ketidakjelasan *dalem* mungkin diciptakan oleh dinding tanpa jendela. Jendela dalam arsitektur tradisional Jawa sebenarnya masih menjadi perdebatan. Relief di candi-candi menunjukkan beberapa rumah Jawa dengan atap dan lantai, tetapi tanpa dinding. Rumah-rumah Jawa yang digambarkan pada relief Candi Plaosan memiliki dinding dengan lubang yang menyerupai jendela. Rumah tradisional yang tersebar di kepulauan Indonesia tidak memiliki jendela. (Prijotomo, jospri@indo.net.id, 2000).



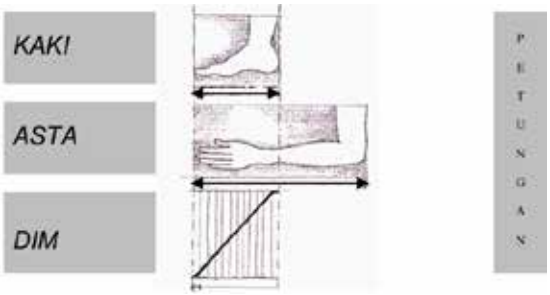
Gambar 23. Sebuah Kuil di Jawa sebagai Manifestasi Mahameru
(Prijotomo, 1996, p. 74)



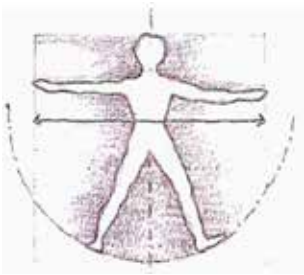
Gambar 24. Masjid Demak dengan Atap Tajug Bertingkat Tiga
(Prijotomo, 1996, p. 75)

1.3.3. PETUNGAN; GEOMANSI JAWA

Petungan adalah sistem numerologi yang digunakan oleh masyarakat Jawa untuk menghitung hari-hari keberuntungan untuk mengadakan upacara adat atau membangun rumah, serta memberikan informasi tentang berbagai kegiatan dasar bagi individu dan komunitas. Namun, fungsi paling penting dalam pembahasan di dalam buku ini adalah untuk menghitung dimensi bangunan. Untuk melakukan pengukuran ini, masyarakat Jawa merujuk pada beberapa bagian tubuh mereka (pemilik rumah) sebagai sistem metrik yaitu telapak tangan, panjang siku dan rentangan lengan. Satuan yang digunakan adalah:



Gambar 25. Satuan dalam Petungan Menurut Primbon, Serat Centhini, dan Kawruh Kalang

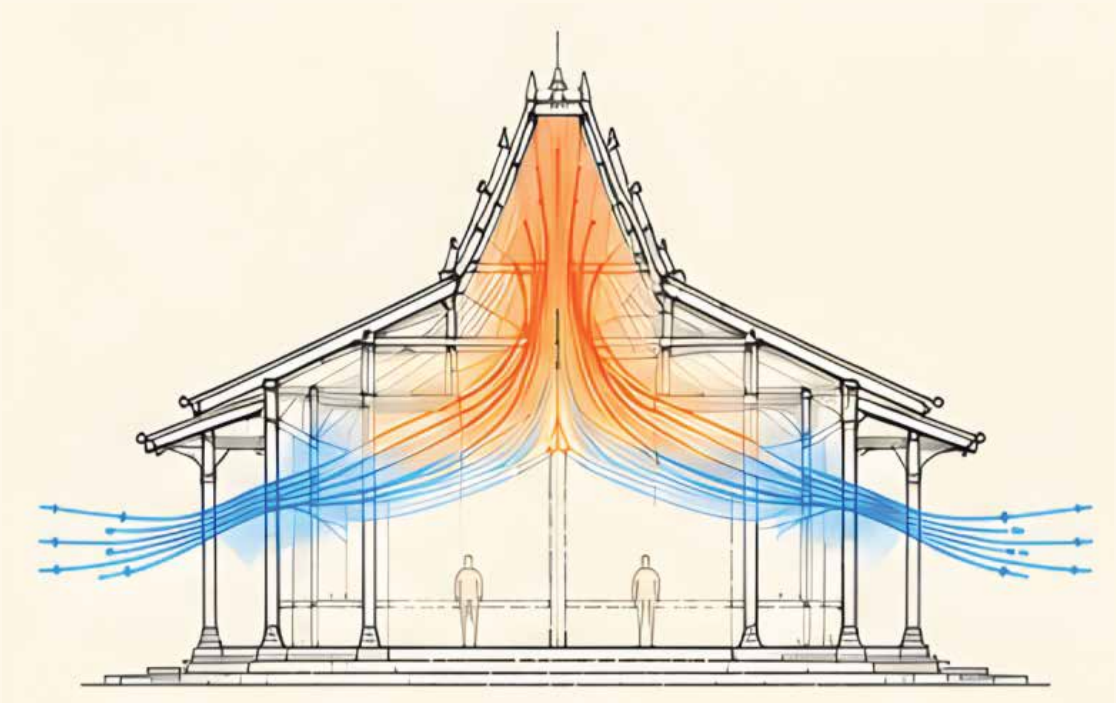


Gambar 26. Depa, satuan dasar dalam Petungan

Sebelum tahun 1806, nilai satuan ukur bervariasi dan sangat beragam. Reformasi sistem metrik yang dilakukan pada tahun 1806 menstandarkan satuan-satuan tersebut. Sistem-sistem ini disebutkan dalam beberapa manuskrip Jawa yang mengungkapkan sumber-sumber tentang arsitektur Jawa dengan cara yang

berbeda. Orang Jawa tampaknya menggunakan petungan sebagai buku panduan untuk berbagai tindakan sejak abad kesembilan belas, meskipun mereka ditulis ulang pada abad kedua puluh.

ATAP ARSITEKTUR JAWA



"Semua budaya lokal ada di dalam, dan sebagian besar bergantung pada, serta terbentuk sebagian oleh konteks lingkungan mereka. Bentuk-bentuk arsitektur lokal yang beragam merupakan ekspresi dari kondisi fisik yang mereka hadapi, lahan dan ekonomi yang dapat mereka kembangkan dan yang menjadi dasar kehidupan mereka, serta hubungan mereka dengan tanah yang mereka tempati dan bentuk-bentuk pendudukan yang mungkin mereka ambil. Semua hal ini saling terkait erat dengan kualitas dan potensi lahan."(Oliver, 1997, p. 125)



Gambar 27. Arsitektur Indonesia

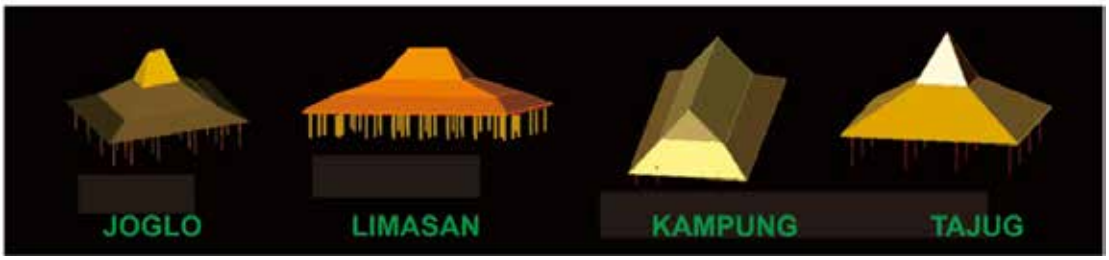
Arsitektur Jawa dikenal dengan keragaman bentuk atap, selain atraktif atap dapat menggambarkan representasi simbolik dari status dan filosofi hidup pemiliknya. Sebagai penanda yang merujuk pada makna tertentu atap merupakan manifestasi dari ritual, kehidupan sosial, dan keterkaitan antara bangunan dengan kondisi geografis Jawa. Cara yang baik untuk mendalami arsitektur Jawa selain memahami komposisi ruang, pengolahan bentuk dan kostruksinya juga harus memahami aspek-aspek di atas tersebut.

Konfigurasi ruang, bentuk beserta elemen detail arsitekturnya, dapat dibaca melalui analogi bahasa. Di dalam bahasa Jawa arti kalimat amat tergantung pada

pemilihan kata beserta konteksnya serta intonasi dan gaya pengucapannya. Pengucapan, lagu, beserta logatnya akan menunjukkan dan memberikan gambaran arti dari kata-kata tersebut. Demikian pula di dalam pembacaan arsitekturnya, jenis arsitektur akan menunjukkan siapa pemiliknya. Akan tetapi tidak hanya jenis arsitektur saja yang dapat menggambarkan status pemiliknya. Cara pemilihan ragam hias dan merangkai detail keseluruhan bangunan akan menjelaskan status sosial si pemilik.

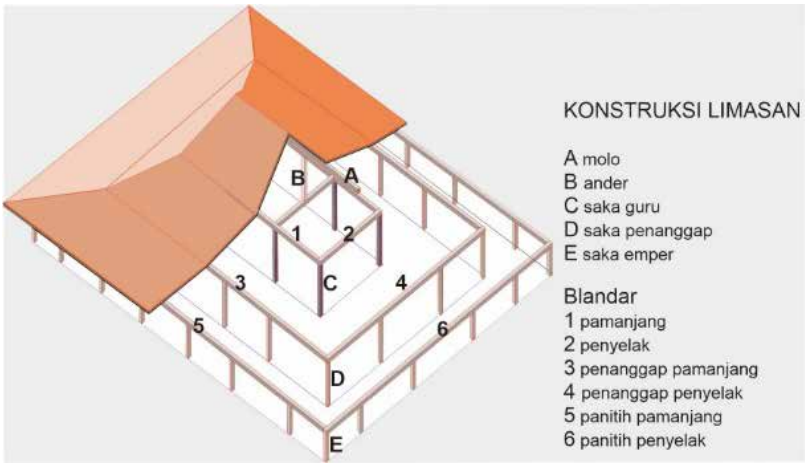
2.1. TIPE ATAP ARSITEKTUR JAWA

Rumah tradisional Jawa terkenal dengan atapnya yang miring curam pada puncaknya dan menjadikannya dramatis. Tipologi rumah dapat dikembangkan bukan dari denah dasar, tetapi lebih dari jenis atap dan strukturnya. Ada empat jenis utama atap rumah Jawa, yaitu: Tajug, Joglo, Limasan, dan Kampung (Prijotomo, 1996, pp. 2–3).



Gambar 28. Empat tipe rumah atap Jawa dalam gambar CAD

Pada bab pertama buku Kawruh Griya menyebutkan bahwa bentuk atap rumah Jawa dihasilkan dari bentuk tipe Tajug. Atap Joglo dan Limasan adalah transformasi bentuk dari atap Tajug. Transformasi pertama, yang mengubah puncak atap Tajug adalah atap Joglo. Sedangkan atap Limasan, tipe kedua, memiliki bubungan yang lebih panjang dan lebih banyak memiliki *saka guru* (tiang utama). Dapat ditengarai bahwa puncak Tajug berupa titik tidak mempunyai bubungan. Joglo mempunyai bubungan relatif pendek sehingga atap bagian atasnya (atap *brunjung*) lebih pendek daripada jarak tiang saka guru. Limasan memiliki brunjung yang relatif panjang tergantung pada panjang bangunannya. Transformasi lebih lanjut pada tipe Limasan menghasilkan tipe keempat dari bentuk atap Jawa yang dinamakan Kampung. Tipe Kampung ini diperkenalkan ke Jawa melalui budaya Sansekerta, sedangkan tipe lainnya berasal dari Jawa (Prijotomo, 1996, p. 233). Setiap jenis atap memiliki beberapa varian namun jumlah variasinya tampaknya tidak tetap sama.



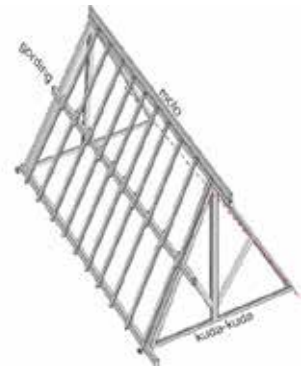
Gambar 29. Elemen atap khas Jawa
(Prijotomo, 1995, p. 98)

Atap Jawa sering kali muncul sebagai atap berlapis-lapis dengan kemiringan yang berbeda. Lapisan paling atas disebut Gajah atau Brunjung, dan lapisan paling bawah disebut Pananggap. Lapisan berikutnya adalah Panitih dan yang lainnya disebut Paningrat. Kemiringan Brunjung melebihi 45°. Tetapi lapisan lainnya kurang dari 45°.

Atap Jawa diatur oleh penempatan satu atau lebih pilar yang menopang setiap lapisan atap. Dinding merupakan elemen sekunder. Penempatannya ditentukan oleh pilar penyangga atap. Pilar utama yang besar yang menopang atap paling atas disebut sebagai saka guru. Beberapa varian menggunakan ander (tiang raja atau tiang pusat) untuk menopang bubungan (molo), sementara yang lain tidak. Kadang-kadang dapat ditemukan di beberapa varian kolom tengah yang menggantikan fungsi ander.



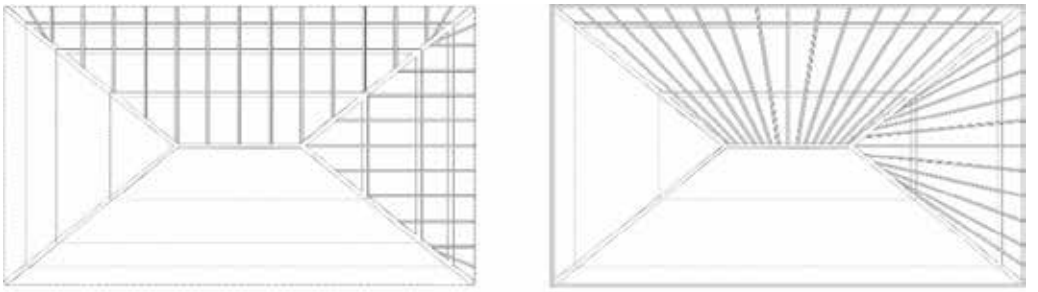
Gambar 30. Sistem konstruksi kasau konvensional pada struktur atap Jawa
(Prijotomo, 1995, p. 35)



Gambar 31. Kasau sebagai elemen non struktural atap Jawa
(Prijotomo, 1995, p. 35)

Dimensi kolom bervariasi; tergantung pada posisinya dan ukuran bangunan. Pengukuran dilakukan pada rumah kerajaan Kasatriyan di Yogyakarta oleh tim peneliti dari Universitas Gadjah Mada dan University of Wisconsin, Milwaukee pada tahun 1986. Dimensi pilar pendapa bagian luar berukuran sekitar 14 cm untuk pilar panitih, 16 cm untuk Pananggap dan 21,5 untuk Saka guru. Namun pada bagian dalam pendapa dimensinya hampir sama, sekitar 13 cm.

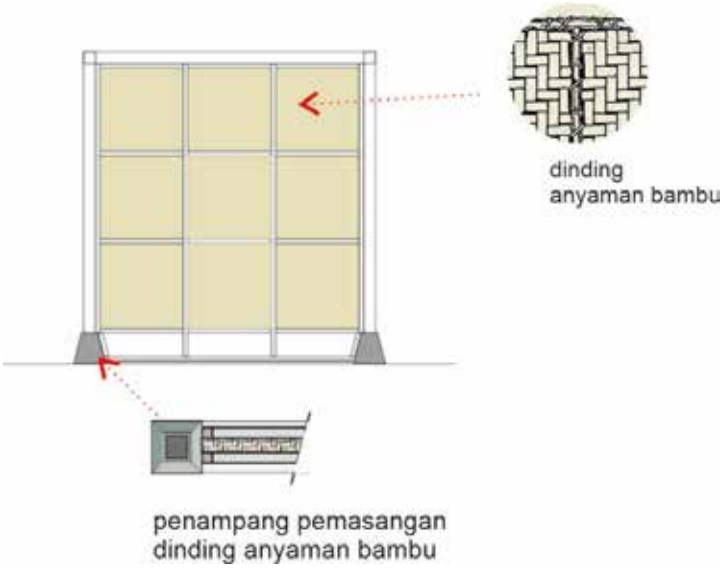
Setiap lapisan dibangun oleh pilar-pilar yang dihubungkan ke balok dengan berbagai cara. Sangat umum untuk melihat balok struktural yang terbuat dari beberapa lapisan hingga lima lapisan. Metode pelapisannya adalah pelapisan protektif, baik ke luar maupun ke dalam, sehingga di setiap lapisan terdapat dua balok horizontal, satu balok memproyeksikan ke luar dan satu balok lagi memproyeksikan ke dalam. Ciri khas sistem balok horizontal ini dinamakan Tumpangsari.



Gambar 32. Penataan kasau dengan sistem paralel. Kasau menumpang di balok bawahnya (kiri). Penataan sistem radial, kedua ujung kasau dimasukkan ke dalam balok untuk membentuk bidang trapesium. Maka dikatakan bahwa atap terbentuk dari empat buah lempengan yang disebut *empyak* (kanan)

(Frick, 1995, p. 121)

Konstruksi atap Jawa tidak mengenal rangka sebagai struktur atap utama. Kasau digunakan sebagai elemen struktur untuk menopang penutup atap dan mendistribusikan beban bagian atap di atasnya ke balok. Ada dua sistem dalam menyusun kasau. Sistem yang lebih tua adalah radial yang diaplikasikan pada atap dengan reng bambu. Sedangkan atap genteng yang berkembang setelahnya, menggunakan sistem kasau sejajar. Berbagai ukuran bahan digunakan untuk atap. Pemilihan bahannya tergantung pada salah satunya adalah kekayaan pemiliknya.



Gambar 33. Alas bambu untuk dinding (atas) dan konstruksi kolom dan dinding (bawah)
(Frick, 1995, p. 125)

Untuk mengamati potensi energi didasarkan pada bentuk atap rumah Jawa dan melakukan perhitungan untuk keempat jenis atap. *Pertama*, menggunakan rasio permukaan atap terhadap luas lantai, dan *kedua*, menggunakan rasio volume atap terhadap luas lantai. Rasio permukaan atap terhadap luas lantai mengindikasikan potensi geometri atap dalam menerima radiasi matahari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Tipe Kampung permukaan atapnya menerima radiasi matahari tertinggi, terutama pada orientasi sumbu panjang. Tipe Kampung ini memiliki proporsi volume atap terbesar terhadap luas lantai sehingga memungkinkan lebih banyak stratifikasi dalam ruangan dan lebih banyak difusi panas daripada tipe lainnya. (2) Tipe Tajug memiliki distribusi terbaik dalam hal pengumpulan radiasi matahari. Simetri ke segala arah tidak memerlukan pertimbangan orientasi atap. Potensi energi dari sub tipe atap dapat diperiksa dengan cara yang sama.

2.2.. JENIS BANGUNAN JAWA

Empat jenis bangunan dibahas dalam bab ini meliputi Joglo, Limasan, Kampung, dan Tajug sebagaimana terdapat dalam tabel di atas.

2.2.1. JENIS JOGLO

Komposisi tipe Joglo amat stabil dan terasa seimbang. Itulah mengapa penampilannya paling ikonik dibandingkan dengan jenis bangunan lainnya. Lapisan atap bersusun, semakin ke atas sudutnya semakin meruncing. Beberapa tipe Joglo berkesan gemuk terkesan rendah dan lainnya berkesan pipih menjulang meninggi. Tampilan yang sangat berbeda dibandingkan dengan atap jenis rumah Jawa lainnya, lebih elegan dan menjadi titik tangkapan pandang mata. Sudut kemiringan atap teratas atap *brunjung*) amat curam ada yang mencapai 60 derajat sehingga membutuhkan penutup atap khusus yakni lembaran seng. Atap curam ini tidak mungkin menggunakan penutup genteng tanah sebagaimana lazimnya. Sebaliknya ada pula Joglo yang atap bagian atasnya direka rendah dan kecil saja. Keragaman itu menunjukkan sebuah petanda bagi banyak arti dan makna sebagaimana yang dirasakan dan dicitakan pemiliknya. Joglo mempunyai rumusan baku sesuai penamaannya, tetapi di balik itu memiliki kelenturan untuk dikembangkan menjadi beragam bentuk yang tidak terprediksikan.

Joglo merupakan salah satu jenis bangunan di antara empat macam bangunan Jawa yang ada. Tiga di antaranya adalah Limasan, Kampung, dan Tajug. Perbedaannya yang paling menonjol ditandai dengan bentuk atap yang pada akhirnya akan menentukan komposisi ruang masing-masing jenis bangunan tersebut. Tajuk mempunyai bentuk ruang (denah) bujur sangkar. Sedangkan Joglo selain ada yang bujur sangkar juga ada yang berbentuk empat persegi panjang tetapi perbandingan sisi panjang dengan sisi pendeknya tidak banyak. Adapun Limas dan Kampung cenderung berbentuk empat persegi panjang dengan perbandingan sisi panjang dan pendek relatif besar.

1. Macam Joglo

Bentuk Joglo menurut Serat Centhini ada tujuh macam setiap nama memiliki komposisi ruang dan bentuk atap yang berbeda: (1) Joglo Kepuhan, (2) Joglo Traju-mas, (3) Joglo Prangrawit disebut juga lambang-gantung, (4) Joglo wantah, (5) Joglo Ceblokan, (6) Joglo Tawon-boni, dan (7) Joglo Semar Tinandhu. Ketujuh macam Joglo tersebut merupakan Joglo yang bisa ditemui pada waktu itu, namun kemudian Joglo berkembang variannya sehingga jumlahnya lebih dari tujuh macam (Marie, 2020).

Baik Joglo yang tujuh macam tersebut maupun varian berikutnya setelah mengalami perkembangan, semua Joglo pada dasarnya mempunyai patokan atau rumusan dasar yang kemudian dapat dibagi menjadi dua macam gaya yaitu: (1) tinggi-pendeknya bangunan, (2) panjang-lebarnya bangunan, dan (3) satu gaya lainnya adalah tebal tipisnya rangka bangunannya (*bebalungan.*)

Kedua macam gaya ditentukan oleh dimensinya bangunan sehingga mempunyai proporsi yang beragam. Sedangkan komposisi bentuk, fasad bangunannya, lebih ditentukan oleh faktor lainnya sesuai dengan fungsi dan keinginan sang pemilik. Dengan demikian faktor pemilik Joglo sangat berpengaruh pada gaya keseluruhan, proporsi dan komposisi, Joglonya. Pada perkembangan selanjutnya bentuk Joglo juga dipengaruhi oleh letak geografis, sehingga ada Joglo bergaya pesisiran dan ada Joglo gaya pedalaman.

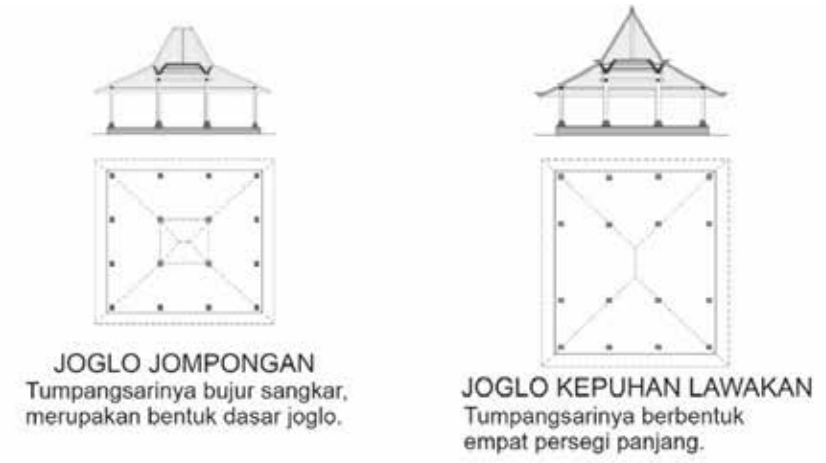
2. Komposisi dan Proporsi Joglo

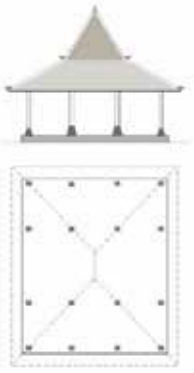
Jika sisi membujurnya dibuat lebih panjang dan bangunannya menjadi lebih tinggi tiangnya dibandingkan ukuran bakunya maka secara keseluruhan bangunan menjadi tinggi. Demikian pula atapnya menjadi lebih tegak dan sudutnya lebih curam maka Joglo tersebut mendapat nama "Joglo muda." Melalui cara yang sama bila Joglo yang berjumlah tujuh tersebut tiangnya dibuat lebih tinggi dari kebiasaannya akan menyebabkan selain bangunan keseluruhannya semakin meninggi dan atapnya menjadi semakin curam. Selain itu bila semua jenis Joglo dibuat agak tinggi tiangnya, sehingga membuat bangunan itu juga terlihat tinggi dan atap menjadi lebih curam, maka komposisi Joglo tersebut dinamai Joglo *anom* atau Joglo muda.

Bila rangka bangunan terkesan tebal, meyakinkan kokoh-kuat, disebut gaya bangunan *lanangan* (*lanang* = laki-laki atau jantan.) Demikian pula bila rangka bangunan dibuat agak tebal sehingga tampak kekar menyenangkan dilihat, maka Joglo dinamakan Joglo *lanangan*. Sedangkan bangunan yang membujurnya agak pendek, berkesan lebih kekar, tiangnya juga menjadi pendek sehingga tinggi keseluruhan bangunan juga pendek, atap menjadi agak landai, maka bangunan yang demikian itu disebut dengan istilah *sepuh* atau Joglo tua. Sebaliknya apabila kayu rangka bangunan yang dipakai agak tipis, ringan tidak kekar, maka disebut Joglo *estri* (perempuan). Joglo estri juga sering disebut dengan nama *padaringan-kebak*, sebuah nama tempat untuk beras dalam keadaan penuh. Elemen *padaringan-kebak* adalah plafon pada bidang *tumpangsari*, di tengah ruang Joglo biasanya dipenuhi dengan ornamen ukiran yang rumit.

Padaringan-kebak salah satu macam dari bentuk *pamidangan*, yaitu bidang bujur sangkar yang terbentuk oleh balok-balok *tumpangsari*. Bagian *pamidangan* ini terbentuk oleh tumpukan balok-balok susun, *pengeret*, bujur sangkar. *Pamidangan* merupakan patokan dasar untuk menentukan dimensi panjang dan lebar bangunan Joglo sehingga disebut *guru-pamidangan*. Di atas *pamidangan* adalah atap puncak Joglo yang dinamai *brunjung*. Jadi pembentukan bangunan Joglo dimulai dari pembuatan *pamidangan* tumpangsari, kemudian keempat sudutnya diletakkan tiang-tiang yang disebut *saka guru*. Ke arah atas dilindungi oleh atap brunjung. Semua komponen rumah, baik yang besar maupun yang kecil, ukurannya ditentukan oleh dimensi dari *pamidangan*.

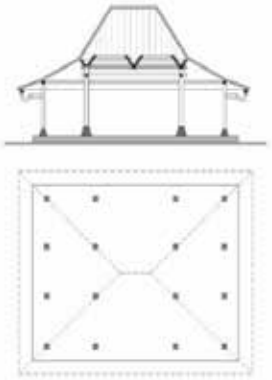
Misalnya, ukuran panjang sisi-sisi *pamidangan* sama-sama tujuh belas kaki. sedangkan dimensi balok (*pengeret*) yang dipakai masing-masing lebarnya 10 inci dan tebalnya 8 inci. Maka, ukuran bagian-bagian lain menyesuaikan ukuran dan dimensi tersebut. *Panyelak pamidangan* 12 kaki, lebarnya juga 12 inci, tebalnya pun 8 inci. Semua ukuran elemen bangunan Joglo, mulai dari patokan awal *(tumpangsari)* hingga dimensi lainnya menyesuaikan dengannya. Semuanya ukurannya tidak meninggalkan perhitungan yang ada sebagaimana diatur oleh formula baku, harus ditaati tanpa ada yang ditentukan kemudian di luar aturan tersebut (Marie, 2020).





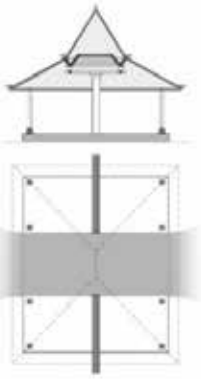
JOGLO KEPUHAN APITAN

Atap brunjung lebih pipih dan tinggi karena Pengeretnya pendek.
Pada Joglo Wantah Apitan brunjungnya lebih pendek terkesan kekar.



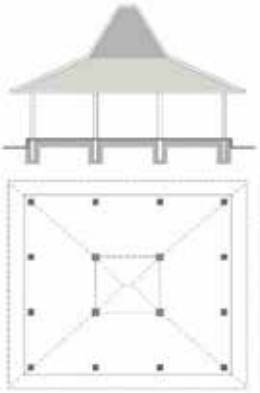
JOGLO KEPUHAN LIMOLASAN

Tumpangsarinya panjang karena memakai balok Sunduk Bandang.
Tiang Andernya agak pendek sehingga atap terlihat memanjang.



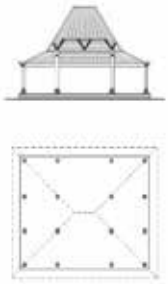
JOGLO SEMAR TINANDU

Saka guru penyangga tumpangsari diganti dinding batu bata.
Fungsi sebagai *regol* dan gerbang keraton.



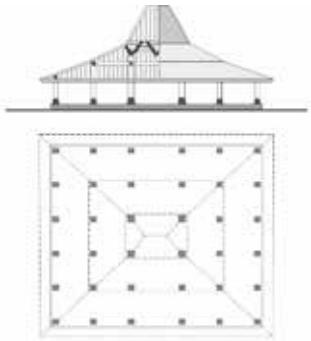
JOGLO CEBLOKAN

Saka guru dan seluruh tiang ditanam ke tanah tidak ditumpu batu umpak.
Kadang tidak memakai balok Sunduk.



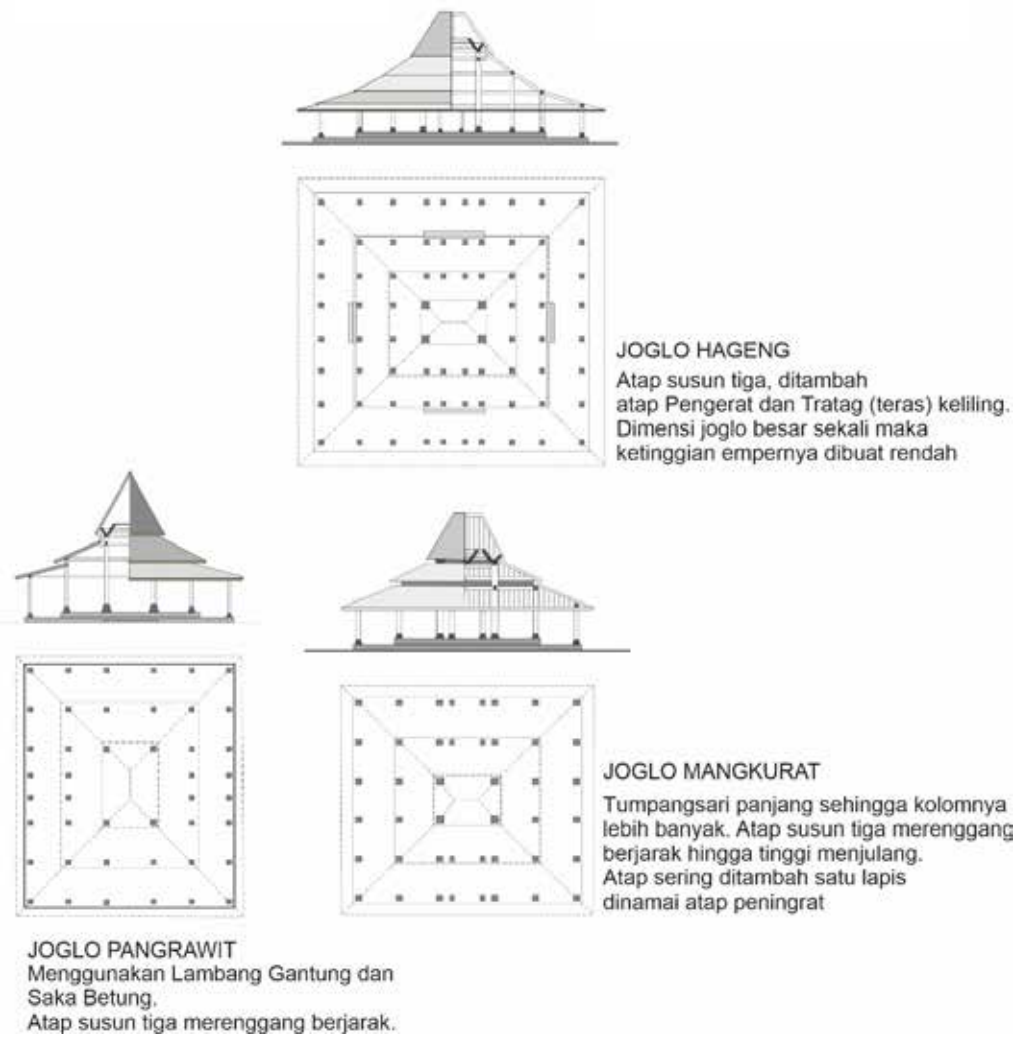
JOGLO LAMBANG SARI

Tumpang sari memanjang, terbagi dua ruang (uleng ganda).
Tanpa atap emper (teritisan), dan pemasangan kasonya rebah.



JOGLO SINOM

Atap susun tiga, memiliki emperan (teras) mengelilingi bangunan.



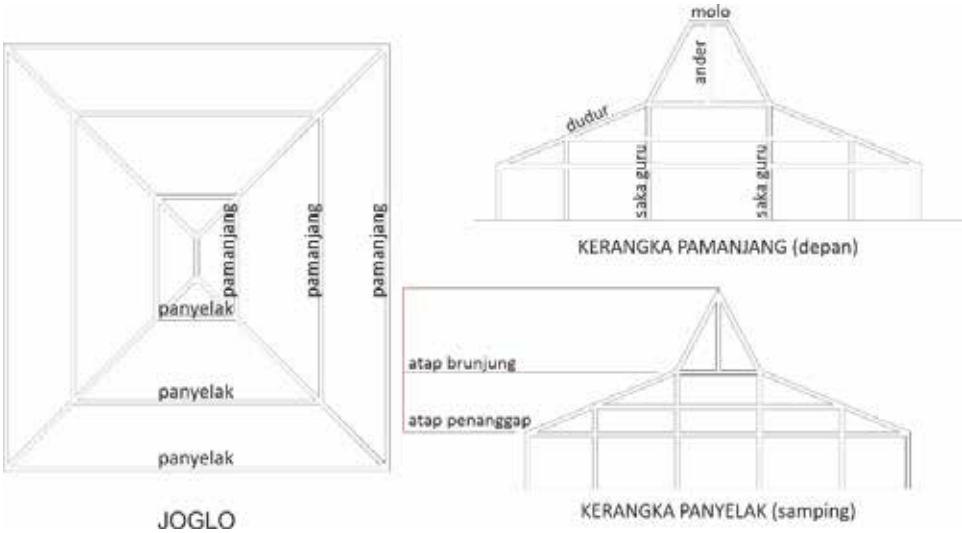
Gambar 34. Macam dan varian Joglo di atas belum menampilkan semua jenis. Ke sebelas joglo ini setidaknya sudah menjelaskan tentang komposisi, dimensi, dan konstruksi yang ada pada saat ini

(Prijotomo, 1992)

Sumber: www.rumahsketch.com diunduh Februari 2026

Di dalam aras pemikiran konsepsional, beberapa arsitek dan teoriwan menyatakan bahwa terdapat pengertian yang khas tentang Joglo yaitu dirancang dan dikembangkan melalui transformasi arsitektur jenis Tajug, dengan jumlah saka guru yang tetap sama. Denahnya bisa berbentuk bujur sangkar atau persegi panjang dan puncak atapnya direntangkan untuk memungkinkan adanya balok struktural yang menghubungkan kedua puncak atap (balok molo). Nama Joglo sendiri ditengarai merupakan singkatan dari *Tajug-loro*, yaitu dua buah Tajug disatukan. Bagian atap yang berada di atas empat pilar paling dalam jauh lebih

curam, hampir seperti piramida, hanya saja ia memiliki dua titik, bukan satu titik. Joglo tidak menggunakan tiang-tiang raja, seperti halnya atap Limasan atau Kampung. Sebaliknya, tiang utama terkadang lebih tinggi dari tiang luar. Dan di atas empat pilar utama terdapat lapisan-lapisan yang membentuk langit-langit limas berundak. Proporsi adalah ciri khas lain dari Joglo seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 35. Proporsi Joglo

(Prijotomo, 1992)

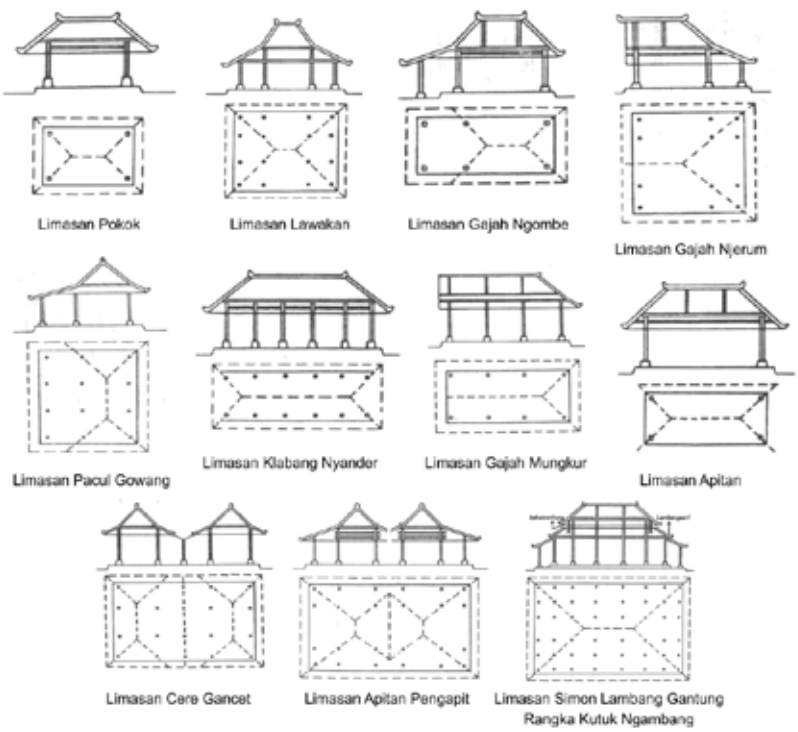


Gambar 36. Konstruksi Tumpang Sari di tipe Joglo

(UNESCO Office in Jakarta, UNESCO Office Bangkok and Regional Bureau for Education in Asia and the Pacific, 2007)

2.2.2. JENIS LIMASAN

Nama Limasan berasal dari Liman-sap yang berarti Liman ganda. Limasan merupakan transformasi lain dari Tajug dengan menambah jumlah saka guru dan memiliki molo yang lebih panjang. Atap utama yang disebut *brunjung* pada Joglo dan Tajug disangga oleh saka guru bertiang empat. Saka guru tersebut menjadi pedoman dasar dalam menetapkan bentuk ruang dalam. Pada Limas jumlah tiangnya setidaknya berjumlah enam batang. Keenam tian ini membentuk dua unit ruang yang menjadi ruang inti sebuah rumah tinggal. Komposisi dengan enam buah tiang ini adalah jenis atap yang paling umum di rumah-rumah Jawa, membentuk komposisi dua unit ruang sehingga berbentuk empat persegi panjang. Limasan yang khas memiliki empat lereng lempeng atap (*empyak*) dan memberikan penekanan pada area tengah di antara pilar-pilar pusat di tengah bangunan yang terdalam. Atap ini dapat merupakan satu lapisan tunggal maupun beberapa lapisan bersusun sebagaimana Joglo. Mengingat jenis Limas memiliki denah persegi panjang dan *empyak* pada keempat sisinya maka menjadi berbeda dengan atap Kampung yang hanya memiliki dua lereng. Pada sisi bangunan beratapkan Limasan seluruh sisi-sisinya terlindungi lereng atap yang membentuk *teritis*. Bentuk ini sama dengan atap Joglo dan Tajug, manfaat atapnya memiliki kelebihan yakni dalam mengantisipasi angin kencang yang menerpa keempat penjuru mata angin.

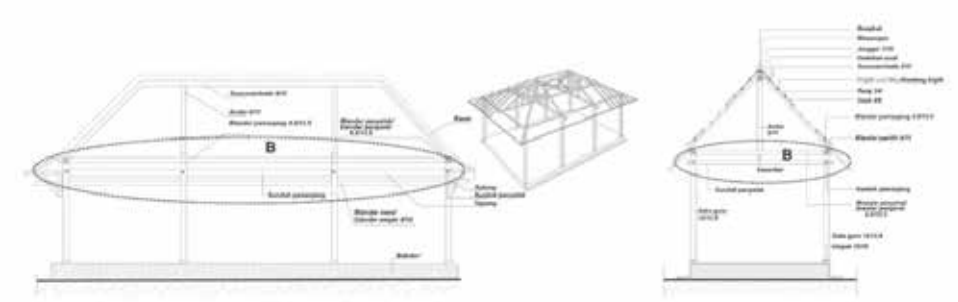


Gambar 37. Macam ragam Limasan

(Wibowo & Murniatno, 1998)

Bentuk dan gaya rumah Limasan terdiri atas sepuluh yaitu: Limasan Muda, (2) Limasan Sinom, (3) Limasan Bapangan, (4) Limasan Kelabang Nyander, (5) Limasan Traju Rukmi, (6) Limasan Gajah Ngombe, (7) Limasan Gajah Njerum, (8) Limasan Pacul Gowang, (9) Limasan Semar Tinandu, dan (10) Limasan Sarotangan.

Penentuan komposisi dan besaran ruang pada jenis Limasan ditentukan oleh panjangnya balok pengikat kolom-kolom yang membentuk ruang tengah. Balok-balok tersebut dinamakan *balandar* dan *pangeret* berada di ruang tengah yang dinaungi atap utama yang menjulang. Dimensi kedua balok tersebut menentukan besarnya dimensi ruang dan beberapa ukuran balok penting lainnya.



Gambar 38. Proporsi Limasan
(Jogja Heritage Society & Kotagede Heritage District Local Organization, 2007)

Elemen-elemen rangka batang di bawah atap gajah tersebut merupakan dimensi dan ukuran baku yang harus diikuti oleh komponen lainnya. Dengan demikian balok-balok lainnya yang ukurannya tidak disebutkan dapat ditentukan berdasarkan kondisi setempat secara proporsional dan kepantasan. Akhirnya akan terbentuk bangunan dengan komposisi dan elemen yang terkoordinasikan secara keseluruhan sesuai selera pemiliknya. Jenis kayu dan ukuran balok-balok lainnya menyesuaikan dengan keinginan pembuat atau ketersediaan bahan yang ada.

Pedoman pembangunan Limasan sedemikian ketat, khususnya pada penentuan material bangunan dan dimensi bagi tiang dan balok utamanya, tetapi membebaskan ketentuan aturan bagi elemen dan komponen pendukungnya. Limasan juga memberi kelonggaran pilihan gaya, komposisi, dan tampilannya sehingga mempermudah masyarakat untuk memilih dan memilikinya. Ada kebebasan menggunakan Limasan digunakan untuk beragam aktivitas di dalamnya. Memuaskan penggunanya dalam memilih apa yang dikehendaki dengan sedikit aturan yang mengikat. Pengerjaan pendirian bangunan dengan konstruksi yang relatif mudah, demikian pula batasan ketentuan status sosial yang longgar.

Pada perkembangan berikutnya Limasan menjadi semakin terbuka menerima kebaruan dan akhirnya menjadi berkarakter hibrid. Limasan mulai meninggalkan bahan dasarnya kayu digantikan dengan batu bata dan konstruksi beton bertulang, dengan tetap menjaga penampilannya yakni arsitektur Jawa. Di sisi lain Limasan memberi pengaruh baik bagi perkembangan arsitektur jenis Kampung. Paduan antara Limasan dan Kampung menghadirkan varian baru, yang selain memberi rona baru juga nyaman bagi aktivitas baru. Seolah Limasan mengatakan bahwa aturan yang baku, kemudahan membangun, dan kesempatan beradaptasi, merupakan cara untuk memberikan kesenangan pada pemiliknya dan membuka jalan bagi lestarinya Limasan itu sendiri.

2.2.3. JENIS KAMPUNG

Arsitektur rumah tinggal masyarakat Jawa yang paling sederhana adalah tipe Kampung, dikenal juga dengan "bangunan beratap pelana". Atap pelana terdiri atas dua *empyak* (lempengan atap) ujung sisi panjangnya saling bertemu membentuk sudut sekitar 30°. Atap tersebut mengikuti arah panjang bangunan sebagaimana yang diinginkan pemiliknya, sedangkan sisi pendeknya tidak terlindung atap kecuali oleh *teritis*, perpanjangan kedua lempengan atap, dengan ukuran panjang yang menjorok keluar bervariasi antara 60 – 90 Cm. Panjang *teritis* ini ditentukan berdasarkan rasa dan kepantasan saja.

Sederhana, dalam konteks rumah tipe Kampung, bisa berarti bahwa secara hierarki sosial penghuninya orang kebanyakan atau rakyat jelata. Ruang dalamnya tidak terdefinisikan untuk fungsi tertentu, semua bisa diatur sesuai dengan kebutuhan hidup pemiliknya. Dalam pengertian lain, kata sederhana juga dapat dilihat pada konstruksi bangunan dan penyelesaian komposisi bentuknya yang nyaris menekankan pada fungsinya, sebagai ruang tinggal keluarga. Sistem struktur dan detail konstruksinya semata-mata ditujukan untuk menahan beban bangunan dan gaya-gaya lateral. Tidak ada detail arsitektur yang menjadi kekhasan dan bahkan tidak ada ornamen berupa ukiran sama sekali, semua tiang dan baloknya polos.

Tidak ada landasan filosofi tentang bentuk, ruang, dan makna spesifik. Jenis bangunan ini sesungguhnya sebuah wadah, ruang penaungan dari panas matahari dan hujan serta sebuah ruang perlindungan dari panas-dinginnya suhu udara di luar rumah. Sebaliknya dalam pengertian yang lebih mengemukakan kesederhanaannya itu, rumah Kampung justru membuka dirinya untuk dieksplorasi, dikembangkan dan

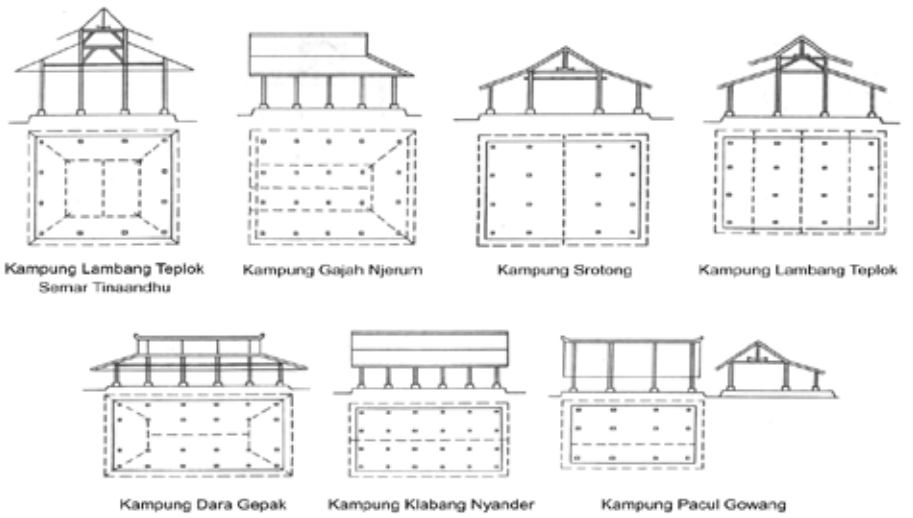
diubah, sesuai dengan hasrat penghuninya sehingga selalu dapat menghasilkan varian baru desain beserta pemikiran baru yang akhirnya menghadirkan 'objek liyan'.

Transformasi bentuk dan sublimasi jenis rumah Kampung ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya tetap menggunakan atap Kampung. Dimulai dari Kampung yang paling awal, paling sederhana, diperpanjang bangunannya dengan menambah satu deretan tiang maka terbentuklah varian Kampung Traju-mas. Jenis Kampung Traju-mas ditambah dengan *emperan* di salah satu sisi atapnya maka lahirlah varian Kampung Pacul Gowang. Dua unit tipe Kampung Pacul Gowang yang disatukan menjadi varian Kampung Gajah Njerum, sedangkan bila tiga unit tipe Kampung disatukan muncullah varian baru Kampung Gotong Mayit.

Melalui penggandaan unit bangunan dan lalu dijejerkan, menambah dan mengurangi sebagian ruang sesuai aktivitas penghuni, pada akhirnya akan memunculkan bentuk baru dalam varian baru. Selain itu transformasi juga dilakukan dengan mengombinasikan dua jenis bangunan berbeda yaitu atap Kampung dengan atap Limasan. Cara ini merupakan contoh dari masa lalu dalam sublimasi arsitektur agar memberikan kenyamanan baru. Transformasi sebagaimana sudah dilakukan para ahli pertukangan, arsitek kemudian menghasilkan varian baru dengan bentukan dan jenis baru yang sama sekali berbeda.

Penyatuan Kampung dengan Limasan dapat dilakukan hanya dengan mengganti atap bangunannya saja, sementara itu organisasi ruang, denah, dan dimensinya tetap sama tidak mengalami perubahan. Maka tidak mengherankan bila ada nama-nama yang sama, misal Kampung Pacul Gowang dan Limasan Pacul Gowang. Pertukaran atap hanya dilakukan antara jenis Kampung dengan jenis Limasan. Cara yang sama tidak terjadi pada jenis bangunan lainnya yaitu Joglo dengan Tajug.

Berdasarkan kasus-kasus di atas dapat disimpulkan bahwa arsitektur jenis Kampung yang paling sederhana itu, dan nyaris tidak terkait dengan makna maupun falsafah arsitektur, justru merupakan sistem arsitektur yang sangat adaptif terhadap kebutuhan baru dan perubahan zaman. Jenis Kampung dapat meninggikan energi dan kemanfaatannya dengan melakukan kombinasi-kombinasi bentuk maupun komposisi ruangnya dengan jenis lain. Sederhananya arsitektur rumah tinggal jenis Kampung, dapat dimengerti, bukanlah merupakan sebuah kekurangan tetapi justru sebuah kelebihan.



Gambar 39. Variasi Kampung

(Wibowo & Murniatno, 1998)



Gambar 40. Komposisi Kampung

(Prijotomo, 1992, p. 1170)

2.2.4. JENIS TAJUG

Jenis Tajuk memiliki sifat khusus dan satu-satunya (*sui generis*). Bentuk ruangnya bujur sangkar, pusat berupa sebuah titik berada tepat di tengah ruang, dan sehingga dapat dilihat dengan mudah dari puncak atap bangunannya yang runcing menjulang. Dalam literatur Surat Centhini bentuk Tajug juga disebut "mesjid", rupanya tajuk khusus untuk bangunan peribadatan.

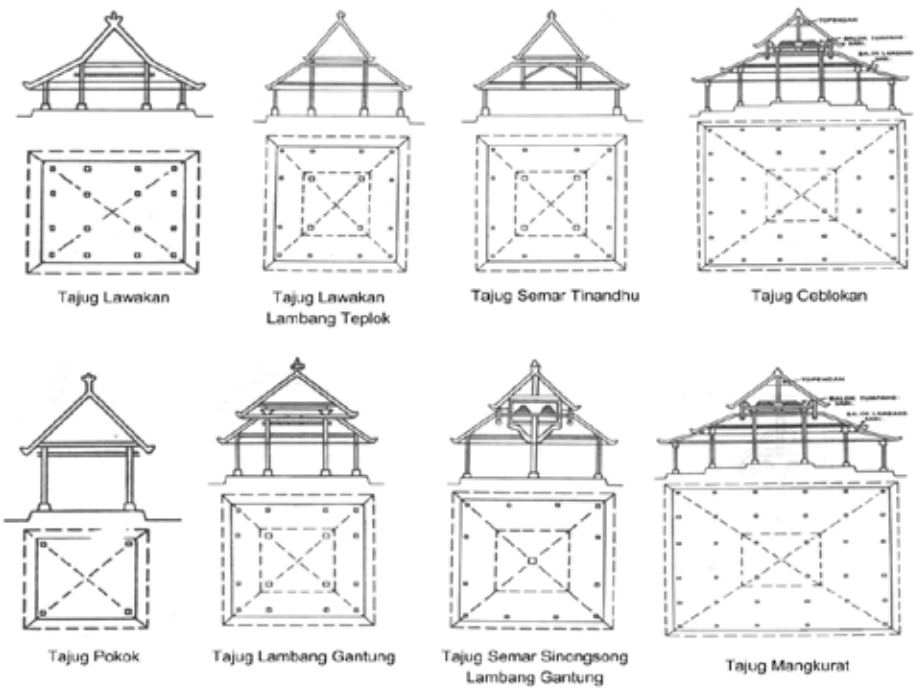
Dalam konsep arsitektur Jawa bentuk bujur sangkar diperoleh dari kesamaan ukuran panjang balok *pengeret*, pengikat keempat *saka guru*. Kesamaan ukuran *pengeret* menentukan tampak *pamanjang* sama dengan tampak *panyelak* berakibat terbentuknya bujur sangkar. Sedangkan keempat tiangnya disebut saka "guru" artinya 'yang pertama', yang harus diikuti sebagai *panutan* (pedoman.) Prosedur pembangunan Tajuk, sama seperti halnya Joglo, dilakukan pertama dengan membentuk tumpang sari. Dimulai dengan mengetahui ukuran panjang balok *pengeret* sehingga luasan ruang tengah terbentuk. Metode ini merupakan kekhususan bangunan Jawa dalam menentukan bentuk ruang (denah) dan komposisi ruangnya.

Berdasarkan proses membangunnya maka bangunan Jawa memiliki luasan yang tidak ditentukan oleh macam dan jumlah aktivitas di dalam ruangannya. Sedangkan panjang *pengeret*, pembentuk luasan tumpang sari, ditentukan berdasarkan geomansi dari pemilik bangunan. Komponen perhitungan tersebut ditetapkan terlebih dahulu dengan tujuan seluruh penghuninya, atau pemiliknya, hidupnya sejahtera dan berkecukupan.

Tajug berbentuk geometri piramidal (tanpa bubungan), denahnya bujur-sangkar, dan pusatnya adalah saka guru. Komposisi dan proporsi ruang serta konstruksinya menjadi *pakem* (hukum) dalam setiap pembangunan bangunan serupa dalam jangka waktu yang amat panjang. Bahkan hingga kini masyarakat masih memandang *pakem* tersebut harus ditaati agar arsitektur tersebut dinyatakan sebagai sebuah karya arsitektur "yang asli Jawa." Macam Tajug dan proporsi ruangnya ditunjukkan pada gambar di halaman berikutnya. Perubahan Tajug sudah terjadi semenjak dahulu, data tahunnya tidak tercatat, yakni saka guru yang semula berjumlah empat buah diganti dengan satu tiang sehingga disebut sebagai "Tajug Saka Tunggal." Beberapa sejarawan mengatakan bahwa Tajug Saka Tunggal tersebut sudah ada terlebih dahulu sebelum Tajug yang memiliki saka guru empat tiang.

Perkembangan teknologi konstruksi dan bahan bangunan mengubah tata cara dan *pakem* lama merancang jenis bangunan baru. Penggantian elemen kayu dengan beton bertulang atau baja, perluasan ruangan beserta komposisinya tergantung pada fungsi ruang dan kapasitas. Namun demikian bentuk dan gaya arsitekturnya sama sekali tidak mengubah komposisi ruang dari masa ke masa. Perubahan tersebut pada dasarnya disadari oleh masyarakat dan mereka menyatakan bahwa karya-karya masa kini sebatas tiruan bentuk demi kebutuhan mereka beraktivitas sosial dan berkumpul.

Kini Tajug semakin mudah dilihat hadir dimana-mana. Perubahan dan penggunaan Tajug menjadi hal yang lumrah, namun demikian muncul pendapat bahwa cara mengubah itu menurunkan makna dari arsitektur masa lalu tersebut. Namun, sebagaimana yang terjadi di ruang-ruang urban, menunjukkan bahwa mengubah dan mengembangkan arsitektur Tajug dilakukan tanpa adanya niat buruk, justru untuk mengenang sekaligus memperoleh kesenangan baru, dengan cara baru dan kondisi riil masa kini.



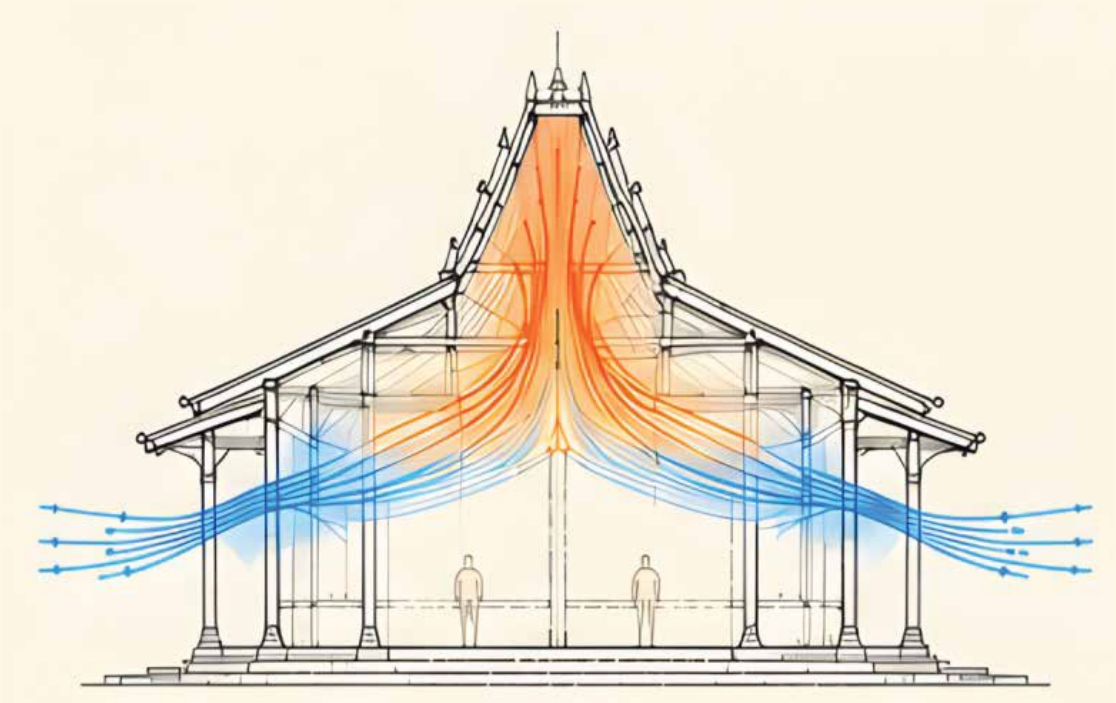
Gambar 41. Variasi Tajug
(Wibowo & Murniatno, 1998)



Gambar 42. Proporsi Tajug

(Prijotomo, 1992, p. 107)

ARSITEKTUR SURYA ATAP RUMAH JAWA



Arsitektur surya merupakan pendekatan perancangan bangunan yang memanfaatkan energi matahari sebagai dasar pembentukan ruang, bentuk, dan elemen bangunan guna mencapai kenyamanan termal sekaligus efisiensi energi. Dalam pengertian yang lebih luas, arsitektur surya tidak hanya berkaitan dengan pemanfaatan teknologi energi surya, seperti panel *photovoltaic* atau kolektor panas matahari, tetapi juga mencakup strategi desain pasif yang mempertimbangkan orientasi bangunan, lintasan matahari, intensitas radiasi, pencahayaan alami, ventilasi, serta karakteristik selubung bangunan. Melalui pengaturan tersebut, bangunan dapat memanfaatkan potensi matahari secara optimal pada saat dibutuhkan sekaligus mengurangi dampak panas berlebih pada periode tertentu. Dengan demikian, arsitektur surya menempatkan matahari sebagai salah satu determinan utama dalam proses perancangan sehingga hubungan antara bangunan, iklim, dan lingkungan menjadi lebih selaras.

Dalam konteks kawasan tropis, prinsip-prinsip arsitektur surya memiliki relevansi yang sangat kuat karena intensitas radiasi matahari berlangsung hampir sepanjang tahun. Oleh sebab itu, strategi perancangan lebih diarahkan pada pengendalian panas melalui pembayangan , pengurangan perolehan panas langsung, optimalisasi ventilasi alami, serta pemanfaatan pencahayaan alami tanpa meningkatkan beban termal bangunan. Salah satu bagian ini menerima paparan radiasi matahari paling besar dibandingkan dengan elemen bangunan lainnya. Bentuk, kemiringan, dimensi, material dan konfigurasi atap tidak hanya menentukan performa termal bangunan, tetapi juga memengaruhi kualitas ruang di bawahnya. Pada bab ini pembahasan mengenai atap dalam arsitektur tradisional dipahami sebagai manifestasi pengetahuan lokal dalam merespons kondisi iklim tropis melalui prinsip-prinsip yang sejalan dengan konsep arsitektur surya.

3.1. KONDISI IKLIM DARI MASA LALU HINGGA SAAT INI

Jawa adalah wilayah dari negeri dua musim, kemarau dan penghujan, silih berganti sepanjang tahun. Jawa beriklim hangat dan lembap. Matahari melintas di sisi utara dan ditandai dengan curah hujan yang melimpah, angin mengalir sepoi-sepoi basah yang lemah, suhu udara tinggi, dan kelembapan udara tinggi. Akibat kondisi klimatologi dan geologis tersebut, pulau Jawa bersama dengan pulau-pulau lain di kepulauan barat Indonesia menjadi rumah bagi beberapa flora dan fauna paling kaya dan beragam di dunia. Tidak hanya sawah, kebun kelapa, dan hutan

karet, jati, dan tebu tumbuh dengan baik dan cepat, tetapi binatang reptil dan serangga, nyamuk dan berbagai jenis serangga lainnya sangat banyak. Demikian pula jamur, alga, dan fungi tumbuh dengan cepat dan sulit dikendalikan.

Pulau ini tergolong cukup kecil untuk memungkinkan pertukaran udara yang efektif dengan laut sekitarnya. Posisinya berada di antara dua benua Asia dan Australia menjadikan pulau ini, dan pulau-pulau lainnya di Kepulauan Indonesia, sebagai wilayah muson paling khas di dunia. Perpaduan dan sinergi antara laut, daratan, dan pegunungan menciptakan keragaman iklim lokal yang luas. Iklim tahunan bervariasi secara signifikan akibat kekuatan musim hujan. Perubahan klimatik dari hari ke hari relatif kecil, kecuali fluktuasi curah hujan. Pegunungan tinggi menyebabkan peningkatan curah hujan dan awan, serta memengaruhi arah angin. Perbedaan iklim lokal semakin tampak menonjol, terutama di daerah pegunungan tinggi dan berlawanan dengan iklim dataran rendah. Suhu menurun sekitar 1 K setiap kenaikan elevasi 200 meter.

Pada bulan Januari hingga Februari, musim hujan barat laut yang basah tiba dengan awan dan angin basah mengalir menuju zona tekanan rendah di utara Australia. Musim hujan Tenggara yang kering bertiup dari gurun Australia dari Juli hingga September, membawa suhu yang lebih dingin dan dengan udara yang lebih kering. Selama periode ini, pantai timur dan selatan Jawa sangat kering dan cerah, meskipun pantai barat dan utara jarang merasakan manfaat kesejukan angin ini. Perubahan musim angin ditandai adanya angin lemah dan tidak stabil serta hujan petir yang sering dan cuaca yang menekan. Kekuatan musim angin paling besar ketika datang dari laut yang segar; oleh karena itu, musim angin barat lebih kuat di Jawa Barat daripada di Jawa Timur, sedangkan keadaan sebaliknya terjadi pada musim angin timur.

Perbedaan angin lokal di Yogyakarta juga terjadi antara daerah pegunungan dan dataran rendah. Gunung Merapi yang tinggi memodifikasi angin muson dan menciptakan perbedaan suhu serta curah hujan yang signifikan antara daerah pegunungan dan dataran rendah. Sebaliknya, pegunungan Gunung Sewu menghasilkan iklim yang mirip dengan iklim di negara-negara Mediterania.

> *"Ketika matahari terbit di langit yang cerah dan menghangatkan udara dengan panasnya, awan-awan cumulus kecil mulai muncul, umumnya sekitar pukul sembilan pagi; pada saat yang sama, angin muson yang telah mereda hingga hampir tenang sepenuhnya selama malam tetapi terus bertiup di lapisan udara atas, kembali berhembus. Kekuatan angin*

> *dan kerapatan awan meningkat seiring teriknya matahari, awan-awan menjadi lebih padat dan gelap, menumpuk ke lapisan yang semakin tinggi, hingga pada siang hari kondensasi terjadi dan hujan segar turun dengan suara gemuruh di atas dedaunan yang lebat, atau hingga, menjelang akhir hari yang kering, awan-awan perlahan-lahan larut seiring melemahnya sinar matahari. Kemudian malam menggantikan hari musim panas yang singkat, langit menjadi cerah, angin mereda, dan malam tropis yang cerah dan tenang dimulai, yang membawa kesegaran setelah panas yang menyengat sepanjang hari." (Braak, 1929, p. 12)*

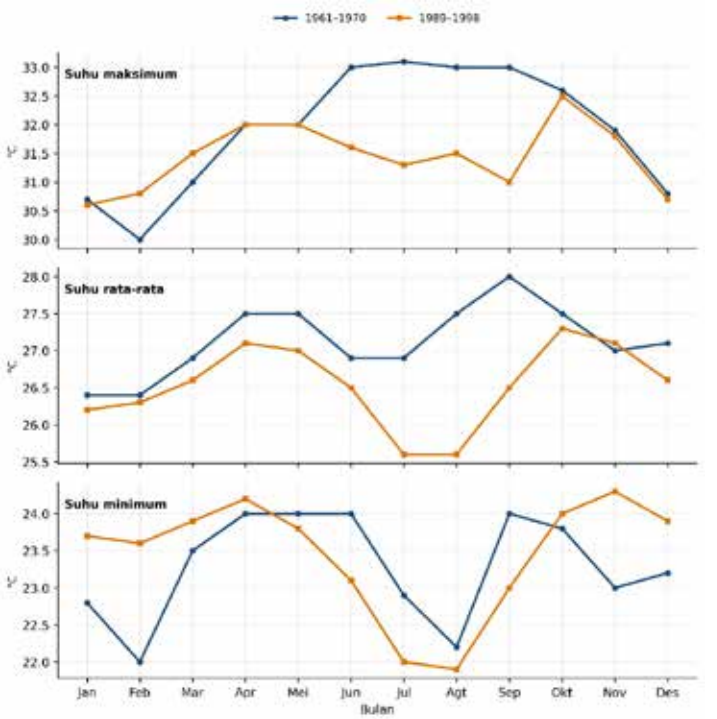
Paragraf di atas menggambarkan variasi cuaca harian di Jawa yang sangat repetitif dari hari ke hari. Ciri-ciri khas daerah beriklim tropis adalah hangat dan lembap meliputi curah hujan yang melimpah dapat berlangsung hingga seharian, angin lemah sepoi-sepoi, suhu udara tinggi, kelembapan udara tinggi, langit yang cukup berawan, dan variasi antara langit cerah, berawan tipis hingga gelap saat berawan tebal. Hal ini menggambarkan sebagian besar wilayah di Pulau Jawa, termasuk wilayah Yogyakarta (kasus bahasan buku ini), meskipun karakteristik lokal wilayah tersebut memang telah berubah seiring waktu terkait beberapa faktor iklim. Yogyakarta merupakan kota di Pulau Jawa yang terletak di garis lintang 7,470 °S dan garis bujur 110,260 °E.

Perkembangan iklim Yogyakarta digambarkan melalui komparasi antara data klimatologi Meteonorm periode 1961 – 1970 dan data hasil pengamatan Stasiun Meteorologi Bandara Adisutjipto di ketinggian 106,68 m di atas permukaan laut pada periode 1969-1998 yang mengilustrasikan bagaimana unsur-unsur iklim mengalami perkembangan dalam kurun waktu hampir tiga dekade. Dengan menggunakan dua periode pengamatan tersebut, evolusi iklim Yogyakarta dapat dianalisis berdasarkan perubahan suhu udara, kelembapan relatif, curah hujan, radiasi matahari, serta dinamika angin yang membentuk karakter iklim wilayah ini.

Secara umum, karakter iklim Yogyakarta menunjukkan tingkat kestabilan yang tinggi. Selama periode 1961-1970 maupun 1989-1998, suhu udara rata-rata tahunan tetap berada pada kisaran 27 °C, sedangkan kelembapan relatif rata-rata tetap tinggi, yaitu sekitar 81%. Penyinaran matahari berlangsung sekitar 11 jam per hari, dengan curah hujan rata-rata sekitar 178 mm per bulan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Yogyakarta tetap mempertahankan karakter sebagai wilayah beriklim tropis muson dengan variasi suhu tahunan yang relatif kecil dan pergantian musim yang jelas.

Meskipun karakter dasarnya relatif tidak berubah, perbandingan kedua periode menunjukkan adanya perkembangan pada intensitas unsur-unsur iklim. Perubahan paling nyata terlihat pada suhu udara. Data Meteonorm periode 1961-1970 menunjukkan pola suhu yang relatif stabil sepanjang tahun, sedangkan hasil pengamatan periode 1989-1998 memperlihatkan fluktuasi musiman yang lebih tegas. Suhu maksimum tetap berada pada kisaran 31–32,5 °C, namun suhu minimum pada musim kemarau turun hingga sekitar 22 °C, sehingga rentang suhu harian menjadi lebih besar dibandingkan dengan kondisi klimatologi sebelumnya. Peningkatan amplitudo suhu ini menunjukkan bahwa variasi termal musiman berkembang menjadi lebih kontras, meskipun suhu rata-rata tahunan masih relatif konstan.

Pada kedua periode tersebut, pola musiman suhu tetap mengikuti siklus tahunan yang sama. suhu rata-rata cenderung menurun selama musim kemarau, terutama pada bulan Juni hingga September, kemudian meningkat kembali menjelang musim hujan. Selain itu, dua periode suhu maksimum tetap muncul pada masa peralihan musim, yaitu sekitar bulan April-Mei dan Oktober. Kesamaan pola ini menunjukkan bahwa mekanisme astronomis yang mengendalikan penerimaan radiasi matahari masih menjadi faktor utama pembentuk variasi suhu tahunan di Yogyakarta.



Gambar 43. Perbandingan suhu minimum, suhu rata-rata, dan suhu maksimum bulanan pada periode 1961-1970 dan 1989-1998

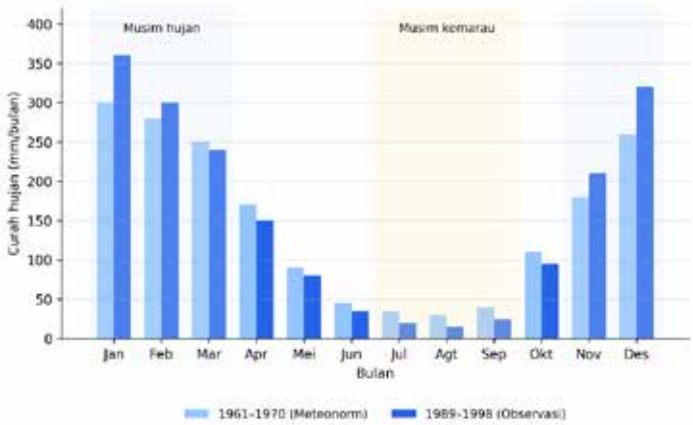
(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Perkembangan iklim juga tercermin pada kelembaban udara. Selama periode 1961-1970, kelembaban relatif menunjukkan kondisi yang tinggi hampir sepanjang tahun dengan variasi musiman yang terbatas. Pada periode 1989-1998 pola tersebut tetap dipertahankan, tetapi fluktuasi hariannya menjadi lebih nyata. Kelembaban relatif pada pagi hari umumnya berada di atas 90%, sedangkan pada sore hari menurun hingga sekitar 55-70%, terutama selama musim kemarau. Penurunan tersebut menunjukkan meningkatnya perbedaan kondisi atmosfer antara siang dan malam tanpa mengubah karakter umum iklim lembap Yogyakarta.



Gambar 44. Perkembangan kelembaban relatif bulanan Yogyakarta periode 1961-1970 dan 1989-1998
(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Perkembangan berikutnya terlihat pada distribusi curah hujan. Kedua periode memperlihatkan pola muson yang sama, yaitu musim hujan berlangsung dari Desember hingga Maret, sedangkan musim kemarau terjadi antara Juni hingga September. Akan tetapi, data observasi 1989-1998 memperlihatkan bahwa curah hujan semakin terkonsentrasi pada puncak musim hujan, sementara selama musim kemarau jumlah hujan menurun lebih tajam dibandingkan estimasi klimatologi periode 1961-1970. Dengan demikian, evolusi iklim Yogyakarta tidak ditandai oleh perubahan waktu datangnya musim, tetapi oleh meningkatnya kontras antara musim hujan dan musim kering.



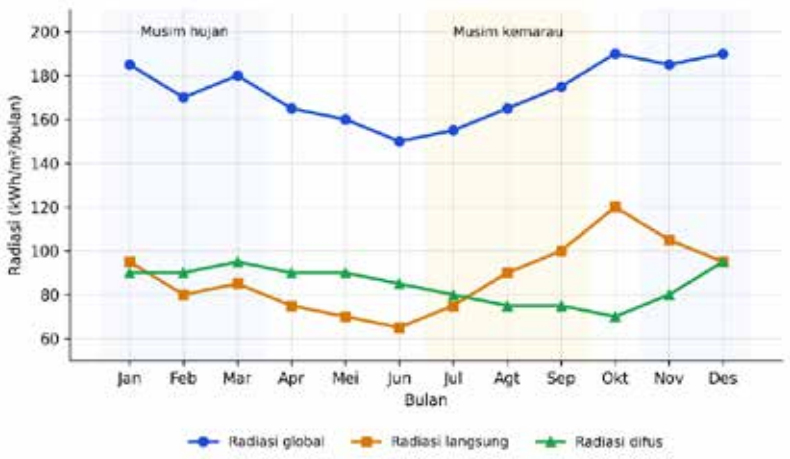
Gambar 45. Distribusi curah hujan bulanan Yogyakarta pada periode 1961-1970 dan 1989-1998
(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Perubahan tersebut berlangsung di bawah mekanisme sirkulasi atmosfer yang relatif tetap. Pergantian Muson Barat Laut dan Muson Tenggara masih menjadi pengendali utama variasi musiman di Yogyakarta. Selama musim hujan, massa udara lembap dari barat laut meningkatkan curah hujan dan kelembaban atmosfer. Sebaliknya, selama musim kemarau angin bertiup dari sektor Tenggara hingga Selatan dengan karakter udara yang lebih kering. Keberadaan Gunung Merapi tetap memberikan pengaruh lokal terhadap arah angin sehingga Sebagian besar angin permukaan berasal dari sektor selatan hingga barat daya. Dengan demikian, evolusi iklim yang terjadi tidak disebabkan oleh perubahan mekanisme sirkulasi atmosfer, melainkan oleh perubahan intensitas unsur-unsur iklim yang dibawa oleh sistem muson tersebut.



Gambar 46. Sistem sirkulasi muson dan pola arah angin dominan di Yogyakarta
(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Radiasi matahari juga memperlihatkan pola perkembangan yang konsisten. Selama kedua periode, intensitas radiasi tetap mengikuti siklus musiman, dengan nilai yang menurun pada musim hujan akibat meningkatnya tutupan awan dan Kembali meningkat pada musim kemarau Ketika kondisi langit lebih cerah. Perbedaannya terletak pada semakin jelasnya hubungan antara radiasi matahari, suhu udara, dan kelembaban selama masa transisi musim, terutama pada bulan Oktober Ketika suhu mencapai nilai maksimum bersamaan dengan kelembaban yang rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa interaksi antar unsur iklim menjadi semakin kontras dibandingkan periode klimatologi sebelumnya.



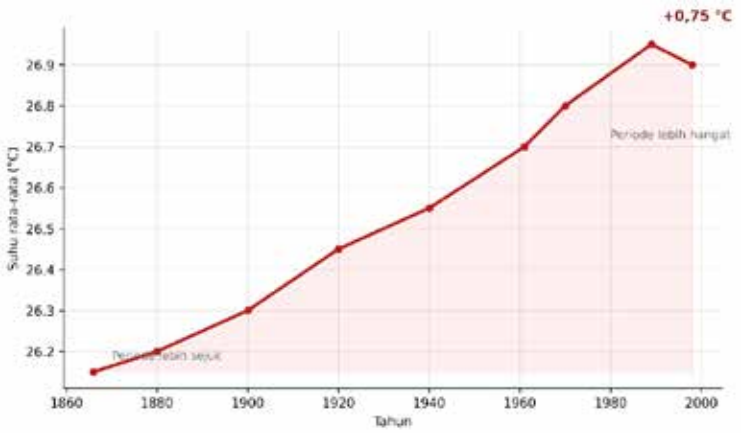
Gambar 47. Perkembangan radiasi matahari bulanan di Yogyakarta

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Apabila seluruh unsur iklim dipertimbangkan secara bersamaan, perkembangan iklim Yogyakarta dari periode 1961-1970 menuju 1989-1998 menunjukkan kecenderungan yang konsisten. Karakter dasar iklim tropis muson tetap dipertahankan, tetapi intensitas beberapa unsur iklim berkembang menjadi lebih tegas. Variasi suhu harian meningkat, kontras antara musim hujan dan musim kemarau semakin jelas, serta hubungan antara radiasi matahari, kelembaban, dan suhu menjadi lebih kuat selama masa transisi musim. Evolusi tersebut menggambarkan bahwa perubahan iklim di Yogyakarta selama paruh kedua abad ke-20 lebih merupakan penguatan karakter iklim yang telah ada daripada perubahan menuju tipe iklim yang berbeda.

Perkembangan tersebut semakin dipertegas oleh rekonstruksi suhu jangka Panjang yang menunjukkan kecenderungan peningkatan suhu sekitar 0,75°C

sejak tahun 1866 hingga 1998. Tren tersebut menunjukkan bahwa pemanasan berlangsung secara gradual dalam skala waktu yang Panjang, sehingga perubahan yang diamati pada periode 1989-1998 merupakan bagian dari proses evolusi iklim yang telah berlangsung sejak lahir abad ke-19.



Gambar 48. Evolusi suhu udara Yogyakarta tahun 1866-1998

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

3.2. POTENSI ARSITEKTUR SURYA ATAP RUMAH JAWA

3.2.1. RASIO GEOMETRI ATAP RUMAH JAWA

Potensi pemanfaatan energi surya pada rumah tradisional Jawa sangat dipengaruhi oleh konfigurasi geometris atap. Bentuk atap tidak hanya menentukan ekspresi arsitektural, tetapi juga memengaruhi besarnya radiasi matahari yang diterima, kemampuan bangunan dalam mengendalikan panas, serta volume ruang yang berfungsi sebagai penyangga termal. Oleh karena itu, analisis dilakukan melalui dua parameter utama, yaitu rasio luas permukaan atap terhadap luas lantai dan rasio volume atap terhadap luas lantai. Selain itu, diperhitungkan pula rasio luas permukaan atap yang menerima radiasi matahari berdasarkan orientasi utara-selatan dan barat-timur. Data hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1. Rasio luas permukaan dan volume terhadap plafon adalah rasio jenis atap Jawa

Tipe Atap	Luas Lantai	Volume Atap	Rasio Permukaan Atap yang Disinari Matahari		Rasio Total Permukaan Atap terhadap Luas Lantai	Rasio Volume Atap terhadap Luas Lantai
			Utara/Selatan	Barat/Timur		
Joglo	455	660	 0,30	 0,25	1,1	1,5
Limasan	620	1035	 0,36	 0,19	1,1	1,7
Tajug	219	435	 0,31	 0,31	1,3	2,0
Kampung	435	1190	 0,49	 0,19	1,4	2,7

3.2.2. ANALISIS RASIO LUAS PERMUKAAN ATAP TERHADAP LUAS LANTAI

Rasio total permukaan atap terhadap luas lantai menggambarkan kapasitas geometris suatu bangunan dalam menangkap radiasi matahari. Semakin besar nilai rasio tersebut, semakin luas bidang yang berpotensi dimanfaatkan untuk pemasangan sistem *photovoltaic* maupun kolektor panas surya.

Data menunjukkan bahwa atap Kampung memiliki rasio terbesar, yaitu 1,4, diikuti oleh Tajug sebesar 1,3, sedangkan Joglo dan Limasan memiliki rasio yang sama, yaitu 1,1. Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap satu meter persegi luas lantai pada rumah Kampung menyediakan sekitar 1,4 m^2 bidang atap, sehingga memiliki peluang terbesar untuk menerima energi surya.

Namun demikian, besarnya luas permukaan saja belum menentukan efektivitas pemanfaatan energi. Orientasi bidang atap terhadap lintasan matahari

menjadi faktor yang sama pentingnya. Pada orientasi utara-selatan, atap Kampung menerima proporsi radiasi tinggi (0,49), jauh lebih besar dibandingkan Limasan (0,36), Tajug (0,31), dan Joglo (0,30). Sebaliknya, pada orientasi barat-timur, atap Tajug menunjukkan distribusi penerimaan radiasi yang paling seimbang (0,31), sedangkan Joglo (0,25), Limasan (0,19), dan Kampung (0,19) mengalami penurunan yang lebih signifikan.

Hasil ini menunjukkan bahwa bentuk atap simetris seperti Tajug relatif tidak bergantung pada orientasi bangunan, sedangkan bentuk atap memanjang seperti Kampung memiliki performa optimum apabila sumbu panjang bangunan diorientasikan secara tepat terhadap lintasan matahari.

3.2.3. ANALISIS RASIO VOLUME ATAP TERHADAP LUAS LANTAI

Selain luas permukaan, volume ruang di bawah atap merupakan parameter penting dalam arsitektur tropis. Rasio volume atap terhadap luas lantai mencerminkan kemampuan bangunan menyediakan ruang udara yang berfungsi sebagai penyangga panas sebelum mencapai ruang hunian.

Tabel 3.1 memperlihatkan bahwa atap Kampung memiliki rasio volume terbesar (2,7), diikuti Tajug (2,0), Limasan (1,7), dan Joglo (1,5). Nilai yang tinggi pada atap Kampung menunjukkan adanya ruang udara yang jauh lebih besar dibandingkan tipe lainnya. Kondisi ini memberikan beberapa keuntungan termal, yaitu:

1. Memungkinkan terbentuknya stratifikasi udara panas secara alami.
2. Memperlambat perpindahan panas menuju plafon dan ruang hunian.
3. Meningkatkan efektivitas ventilasi alami apabila tersedia bukaan pada bagian atas atap.

Dengan demikian, meskipun atap Kampung menerima radiasi matahari paling besar, Sebagian energi panas tersebut dapat disimpan sementara di dalam volume atap sebelum dilepaskan Kembali ke lingkungan melalui ventilasi. Fenomena ini menjadikan atap Kampung tidak hanya potensial sebagai media permanen energi surya, tetapi juga memiliki karakter adaptif terhadap iklim tropis.

Sebaliknya, atap Joglo memiliki rasio volume paling rendah. Walaupun ruang atapnya masih cukup besar dibandingkan bangunan modern, kapasitas penyangga

termalnya lebih kecil dibandingkan dengan tipe Kampung dan Tajug. Oleh karena itu, pengendalian panas pada Joglo lebih bergantung pada kombinasi ventilasi silang, tinggi kolom, dan keterbukaan ruang daripada semata-mata pada volume atap.

3.2.4. PERBANDINGAN ANTAR TIPE ATAP

Apabila seluruh parameter dianalisis secara bersamaan, masing-masing tipe atap memperlihatkan karakteristik yang berbeda.

- **Atap Kampung** memiliki potensi terbesar untuk pemanfaatan energi surya karena menawarkan kombinasi luas bidang atap paling besar dan volume ruang atap paling tinggi. Tipe ini sangat sesuai untuk integrasi panel *photovoltaic*, terutama apabila orientasi bangunan mengikuti sumbu utara-selatan.
- **Atap Tajug** menunjukkan performa yang paling konsisten terhadap berbagai orientasi. Bentuknya yang simetris menghasilkan distribusi radiasi yang relatif merata sehingga lebih fleksibel terhadap perubahan orientasi tapak. Karakter ini menjadikannya menarik untuk penerapan sistem *photovoltaic* pada bangunan publik atau bangunan ibadah yang orientasinya sering ditentukan oleh faktor non-klimatis.
- **Atap Limasan** berada pada posisi menengah. Meskipun rasio volumenya lebih besar daripada Joglo, luas bidang efektif yang menerima radiasi masih dipengaruhi oleh orientasi bangunan sehingga memerlukan pertimbangan desain yang lebih cermat.
- **Atap Joglo** memiliki nilai historis dan simbolik yang sangat tinggi. Walaupun potensi geometrisnya terhadap energi surya relatif lebih rendah, bentuk atap yang kompleks masih menyediakan bidang-bidang yang dapat dimanfaatkan untuk pemasangan panel surya secara selektif tanpa mengurang karakter arsitekturalnya.

3.2.5. IMPLIKASI TERHADAP PENGEMBANGAN ARSITEKTUR SURYA

Analisis rasio luas permukaan dan volume menunjukkan bahwa arsitektur tradisional Jawa sesungguhnya telah memiliki karakter geometris yang mendukung penerapan konsep arsitektur surya pasif. Luas bidang atap yang besar memungkinkan penangkapan energi matahari, sedangkan volume ruang atap yang

tinggi membantu mengendalikan akumulasi panas melalui mekanisme ventilasi alami dan stratifikasi udara.

Temuan ini mengindikasikan bahwa transformasi rumah tradisional menuju bangunan berenergi rendah tidak selalu memerlukan perubahan bentuk secara mendasar. Integrasi teknologi *photovoltaic* dapat dilakukan dengan tetap mempertahankan proporsi geometris atap tradisional. Pendekatan tersebut menghasilkan sinergi antara pelestarian warisan arsitektur Jawa dengan penerapan teknologi energi terbarukan, sehingga rumah tradisional tidak hanya menjadi artefak budaya, tetapi juga menjadi model arsitektur tropis yang adaptif terhadap tantangan keberlanjutan di masa depan.

3.3. KENYAMANAN TERMAL MELALUI VENTILASI PADA ARSITEKTUR RUMAH JAWA

3.3.1. PRINSIP KENYAMANAN TERMAL DAN VENTILASI ALAMI

Kenyamanan termal merupakan kondisi ketika penghuni tidak merasakan kebutuhan untuk mengubah keadaan termal lingkungannya. Pada bangunan di wilayah tropis lembap, kenyamanan tidak hanya ditentukan oleh suhu udara, tetapi juga dipengaruhi oleh kelembapan relatif, temperatur radiasi rata-rata, kecepatan aliran udara, aktivitas penghuni, dan jenis pakaian yang dikenakan. Di antara berbagai faktor tersebut, peningkatan kecepatan udara merupakan strategi pasif yang paling efektif karena mampu meningkatkan penguapan keringat sehingga sensasi panas dapat dikurangi tanpa harus menurunkan suhu udara secara signifikan.

Berbeda dengan bangunan di daerah beriklim sedang yang berupaya mempertahankan panas di dalam ruang, bangunan tropis justru dirancang untuk mempercepat pelepasan panas. Strategi tersebut dilakukan melalui pembatasan radiasi matahari langsung, pemanfaatan pencahayaan alami, penggunaan material dengan kapasitas termal yang sesuai, serta optimalisasi ventilasi alami. Oleh karena itu, keberhasilan rancangan bangunan tropis tidak hanya diukur dari rendahnya suhu ruang, tetapi juga dari kemampuannya menghasilkan aliran udara yang cukup pada zona aktivitas penghuni.

Rumah tradisional Jawa berkembang sebagai respons terhadap kondisi iklim tropis muson yang dicirikan oleh suhu udara tinggi, kelembapan relatif tinggi, intensitas radiasi matahari yang besar, dan kecepatan angin yang relatif rendah.

Dalam kondisi demikian, volume ruang yang besar, langit-langit tinggi, serta bukaan yang tersebar di berbagai sisi bangunan merupakan strategi untuk mempertahankan kenyamanan termal tanpa bantuan sistem mekanis. Atap berperan sebagai elemen utama yang mengendalikan hubungan antara radiasi matahari, sirkulasi udara, dan distribusi temperatur di dalam bangunan. Dengan demikian, geometri atap bukan hanya membentuk identitas arsitektur rumah Jawa, tetapi juga menjadi perangkat pengendali iklim mikro di dalam ruang.

Ventilasi alami bekerja melalui dua mekanisme utama. Mekanisme pertama adalah ventilasi akibat tekanan angin *(wind-driven ventilation)*. Ketika angin mengenai bangunan, sisi yang menghadap arah angin mengalami tekanan positif, sedangkan sisi yang terlindung mengalami tekanan negatif. Perbedaan tekanan tersebut mendorong udara mengalir melewati bukaan sehingga terjadi pertukaran udara di dalam bangunan. Besarnya aliran dipengaruhi oleh kecepatan angin, orientasi bangunan, ukuran bukaan, serta distribusi tekanan pada selubung bangunan.

Mekanisme kedua adalah ventilasi akibat efek cerobong. Radiasi matahari memanaskan permukaan atap sehingga udara di bawah atap menjadi lebih hangat dan massa jenisnya menurun. Udara panas kemudian bergerak naik menuju bagian tertinggi bangunan dan digantikan oleh udara yang lebih dingin dari bawah. Semakin besar perbedaan temperatur antara udara bagian bawah dan bagian atas ruang, semakin besar pula gaya apung yang terbentuk sehingga ventilasi alami menjadi lebih selektif.

Pada rumah Jawa kedua, mekanisme tersebut berlangsung secara simultan. Angin mendorong udara memasuki bangunan melalui bukaan dinding, sedangkan efek cerobong mengangkat udara panas menuju bagian atas atap. Interaksi kedua mekanisme tersebut menghasilkan sirkulasi udara yang kontinu sehingga akumulasi panas di zona aktivitas penghuni dapat dikurangi.

Efektivitas ventilasi alami sangat dipengaruhi oleh geometri atap. Kemiringan atap menentukan distribusi tekanan angin pada permukaan bangunan, sedangkan tinggi ruang atap menyediakan volume udara yang memungkinkan terbentuknya stratifikasi temperatur. Bentuk atap mengarahkan lintasan udara menuju titik pelepasan panas, sementara orientasi bangunan terhadap arah angin dominan menentukan besarnya tekanan positif dan negatif yang terbentuk pada setiap sisi bangunan. Oleh karena itu, geometri atap merupakan salah satu variabel desain pasif yang penting dalam arsitektur tropis.

Dalam konteks rumah tradisional Jawa, hubungan antara bentuk atap, bukaan, dan ventilasi alami menjadi sangat menarik untuk dikaji karena setiap tipe atap memiliki karakter geometris yang berbeda. Perbedaan tersebut diperkirakan menghasilkan distribusi tekanan, pola aliran udara, dan stratifikasi suhu yang berbeda pula sehingga memengaruhi tingkat kenyamanan termal ruang.

3.3.2. MODEL SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)*

Untuk memahami mekanisme ventilasi alami yang terjadi pada rumah Jawa, penelitian ini menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics (CFD).* Metode ini memungkinkan distribusi kecepatan udara, tekanan, dan temperatur divisualisasikan secara spasial sehingga perilaku aliran udara di dalam bangunan dapat dipahami secara lebih rinci dibandingkan dengan pengukuran pada titik-titik tertentu.

CFD merupakan metode numerik yang menyelesaikan persamaan konservasi massa, momentum, dan energi pada fluida. Dalam penelitian ventilasi bangunan, metode ini banyak digunakan untuk mengevaluasi pengaruh bentuk bangunan, konfigurasi bukaan, serta kondisi iklim terhadap distribusi aliran udara dan kenyamanan termal. Simulasi dilakukan menggunakan Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) dengan model turbulensi k-ε, yang telah banyak diterapkan pada penelitian ventilasi alami bangunan karena mampu memberikan keseimbangan antara ketelitian dan efisiensi komputasi.

Domain simulasi didiskritisasi menggunakan *grid* yang mengikuti bentuk geometri bangunan (*body-fitted mesh*), sehingga perubahan kecepatan dan temperatur pada permukaan atap maupun di sekitar bukaan dapat direpresentasikan secara lebih akurat. Proses penyelesaian dilakukan secara interaktif hingga mencapai kondisi konvergen, kemudian hasil simulasi divisualisasikan dalam bentuk bidang kecepatan, lintasan aliran *(streamline),* distribusi temperatur, dan distribusi tekanan.

Kondisi batas simulasi disusun berdasarkan kondisi iklim representatif Kota Yogyakarta pada tanggal 8 April pukul 14.00, yang dipilih sebagai kondisi dengan beban termal tinggi akibat kombinasi radiasi matahari dan temperatur udara luar. Parameter iklim yang digunakan meliputi temperatur udara luar 32 °C, kelembapan relatif 67%, kecepatan angin 1,6 m/s, arah angin 150°, serta intensitas radiasi matahari 750 W/m². Kondisi tersebut mewakili situasi ketika bangunan mengalami

beban panas maksimum sehingga mekanisme ventilasi alami dapat diamati secara lebih jelas.

Variabel yang dianalisis meliputi:

1. Distribusi kecepatan udara, untuk mengevaluasi pola ventilasi silang dan ventilasi akibat gaya apung.
2. Distribusi temperatur, untuk mengidentifikasi stratifikasi panas di dalam bangunan.
3. Lintasan aliran udara *(streamline)* untuk memahami jalur masuk dan keluarnya udara melalui bukaan bangunan.

Empat konfigurasi model Joglo digunakan sebagai obyek simulasi, masing-masing mewakili variasi sistem ventilasi yang berbeda, yaitu:

- Joglo 1, menggunakan bukaan dinding bagian atas tanpa ventilasi atap;
- Joglo 2, menggunakan sistem rongga dinding tanpa ventilasi atap;
- Joglo 3, menggunakan bukaan dinding penuh tanpa ventilasi atap;
- Joglo 4, menggunakan kombinasi bukaan dinding dan ventilasi atap.

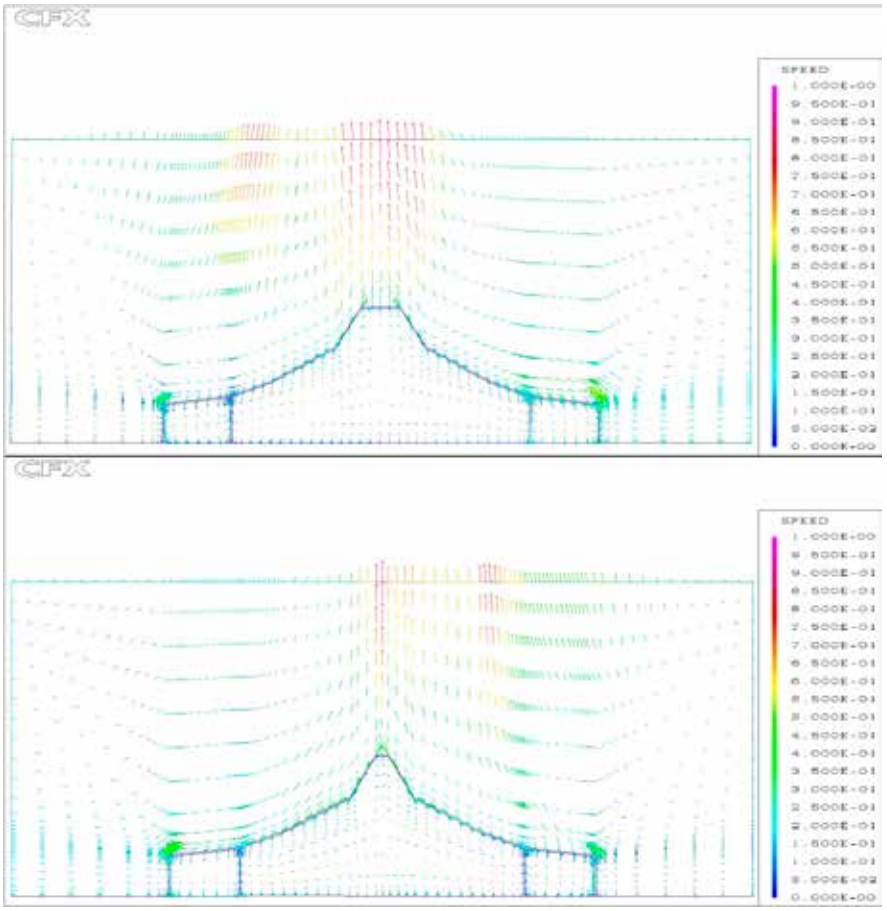
Keempat model tersebut dibandingkan untuk mengevaluasi pengaruh konfigurasi bukaan terhadap distribusi aliran udara dan temperatur di dalam ruang. Dengan pendekatan tersebut, hubungan antara geometri atap, konfigurasi ventilasi, dan kenyamanan termal dapat dijelaskan secara lebih komprehensif sebagai dasar penyusunan prinsip desain pasif rumah Jawa.

Model Joglo 1: Bukaan dinding atas tanpa ventilasi atap.

Simulasi menunjukkan bahwa bentuk atap Joglo menghasilkan pola ventilasi yang didominasi oleh kombinasi tekanan angin dan *efek cerobong*. Pada gambar distribusi kecepatan udara terlihat terbentuk *thermal plume* di atas bubungan atap sebagai akibat pemanasan permukaan atap oleh radiasi matahari. Udara panas bergerak naik secara vertikal sehingga menghasilkan semburan panas yang mempercepat pelepasan kalor ke atmosfer. Fenomena ini tampak jelas pada potongan melintang, di mana garis aliran berkumpul menuju puncak atap sebelum terlepas ke udara luar (Gambar 49).

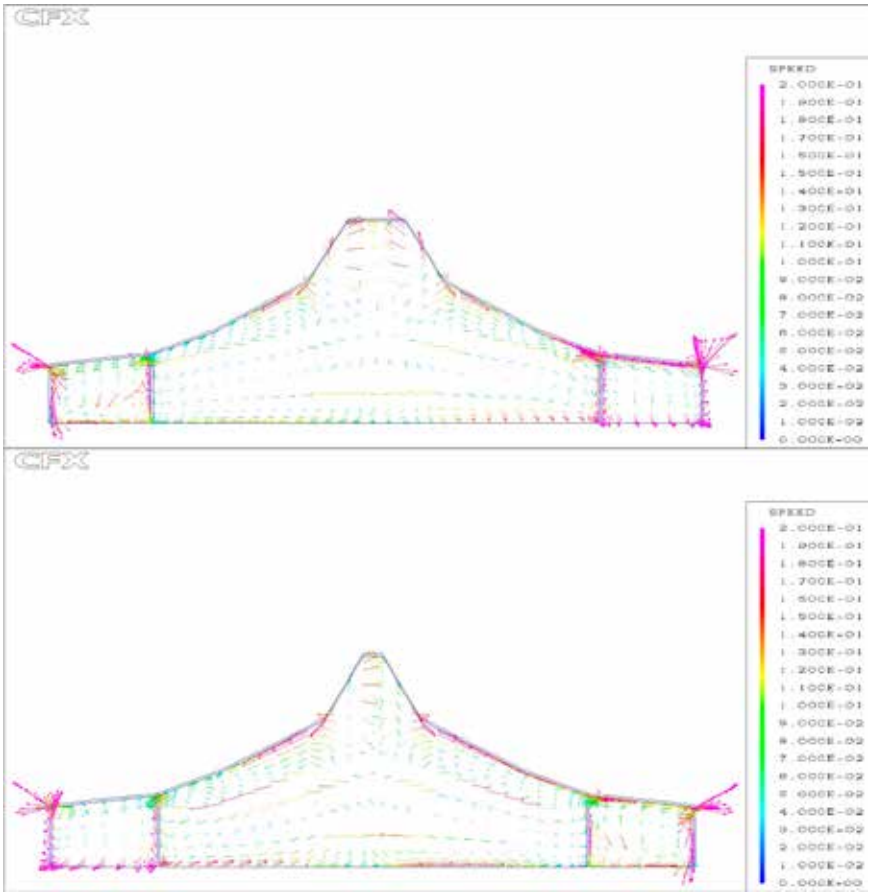
Kecepatan *plume* meningkat secara bertahap setelah meninggalkan permukaan atap. Hal ini menunjukkan bahwa udara panas terus memperoleh *efek cerobong* ketika bergerak ke atmosfer. Kemiringan atap Joglo yang curam berperan mengarahkan aliran menuju bubungan sehingga pelepasan panas terkonsentrasi pada bagian tertinggi bangunan. Pada sisi yang tidak menerima radiasi matahari langsung juga terlihat terbentuknya aliran vertikal yang lebih lemah. Aliran tersebut berasal dari udara hangat yang keluar melalui bukaan dinding, kemudian mengikuti permukaan luar atap sebelum bergabung dengan *plume* utama. Dengan demikian, pelepasan panas dari bangunan tidak hanya berlangsung melalui permukaan atap yang dipanaskan matahari, tetapi juga dibantu oleh udara hangat yang keluar dari ruang dalam.

Distribusi vektor kecepatan aliran udara memperlihatkan bahwa udara memasuki bangunan melalui bukaan pada kedua sisi, tetapi lintasan alirannya tidak langsung membentuk ventilasi silang. Pada sisi yang menerima radiasi matahari, udara cenderung mengikuti permukaan bagian dalam atap sebelum memasuki area utama, sedangkan udara dari sisi yang lebih teduh bergerak turun ke ruang perimeter karena temperaturnya lebih rendah. Kedua aliran tersebut kemudian bertemu di area utama dan membentuk area resirkulasi dengan kecepatan yang relatif rendah. Pola ini menunjukkan bahwa area utama lebih didominasi oleh sirkulasi internal daripada oleh aliran silang yang kontinu dari satu sisi bangunan ke sisi lainnya.



Gambar 49. Model Joglo 1, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Fenomena tersebut juga tampak pada **Gambar 50** (lintasan aliran udara). Aliran yang bergerak di bawah atap cenderung mengikuti bidang atap menuju bubungan, sedangkan aliran pada zona bawah ruang bergerak lebih lambat dan mengalami beberapa perubahan arah sebelum mencapai sisi keluarnya. Akibatnya, udara pada zona aktivitas penghuni tetap mengalami pergantian, tetapi dengan intensitas yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah di sekitar bukaan. Kondisi ini menjelaskan mengapa ruang Joglo masih memperoleh ventilasi alam, meskipun kecepatan udara pada ketinggian area hunian tidak terlalu besar.

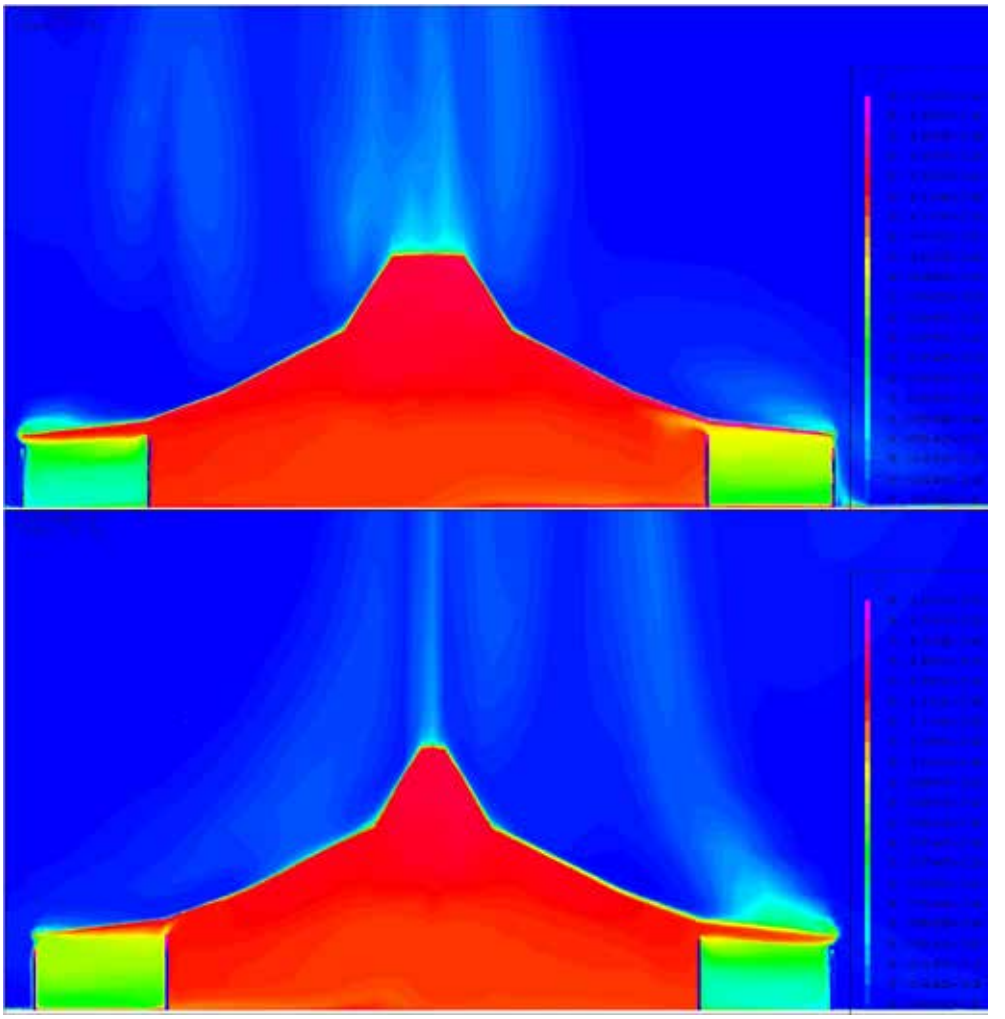


Gambar 50. Model Joglo 1, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Kontur temperatur memperlihatkan adanya stratifikasi termal yang jelas. Udara panas terkonsentrasi pada lapisan di bawah atap, sedangkan udara yang lebih sejuk bertahan pada bagian bawah ruangan. Perbedaan temperatur antara kedua lapisan tersebut menunjukkan bahwa volume atap berfungsi sebagai penyangga termal yang memisahkan akumulasi panas dari zona kegiatan penghuni. Oleh karena itu, sebagian besar panas yang diterima atap tidak langsung memengaruhi zona aktivitas penghuni, melainkan terlebih dahulu tertahan pada volume ruang di bawah bubungan.

Meskipun demikian, simulasi juga memperlihatkan keterbatasan konfigurasi ini. Karena tidak terdapat ventilasi pada atap, udara panas yang terkumpul di bagian atas ruang tidak dapat langsung dilepaskan ke luar bangunan. Aliran panas tetap mengikuti permukaan bagian dalam atap hingga mencapai bukaan dinding

bagian atas. Jalur pelepasan yang relatif panjang menyebabkan sebagian panas masih bertahan di bawah atap sehingga gradien *temperature vertical* tetap besar. Hal ini tampak pada **Gambar 51** yang memperlihatkan lapisan udara panas masih mendominasi ruang atap walaupun *plume* panas telah berkembang di bagian luar bangunan.



Gambar 51. Model Joglo 1, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Secara keseluruhan, model Joglo 1 memperlihatkan bahwa geometri atap Joglo telah bekerja efektif sebagai penyangga panas sekaligus pengarah aliran udara menuju bagian atas bangunan. Akan tetapi, tanpa ventilasi pada atap, proses pembuangan panas belum berlangsung secara optimal. Sistem ventilasi yang terbentuk lebih efektif dalam mengendalikan lokasi akumulasi panas daripada

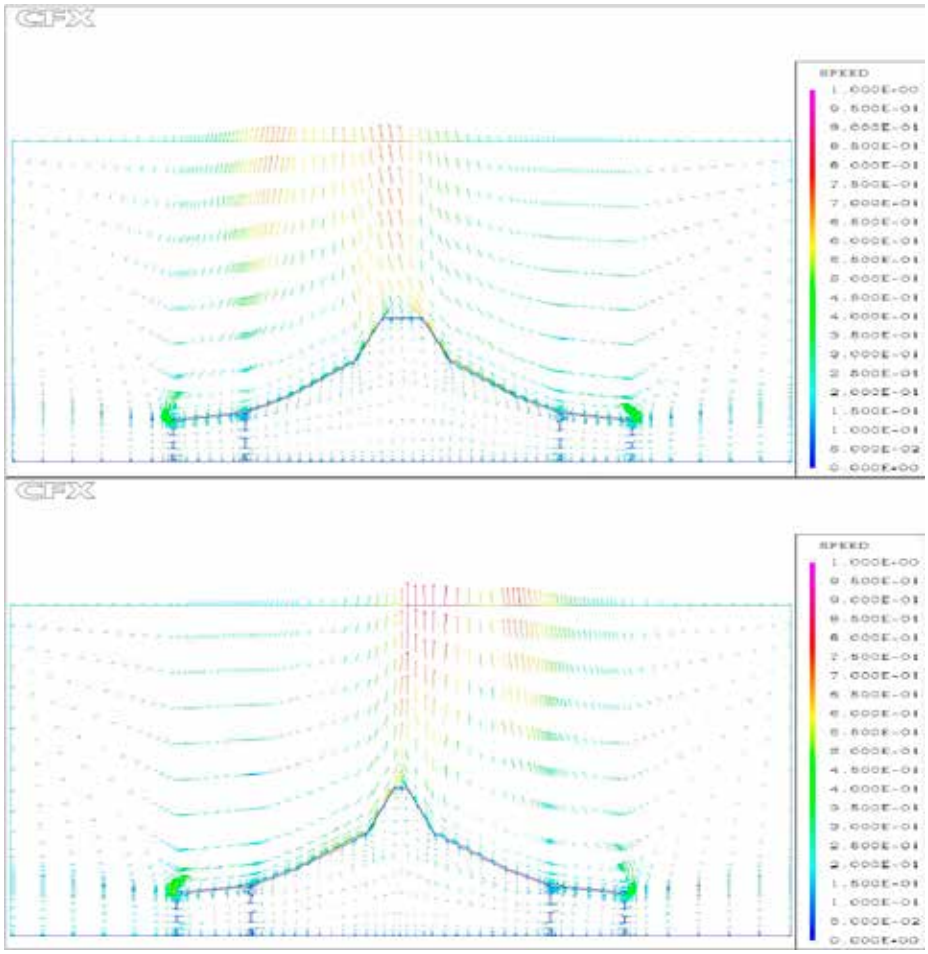
mengeluarkan panas dari ruang atap secara cepat, sehingga area utama tetap terlindungi, tetapi lapisan udara panas masih bertahan di bawah bubungan.

Model Joglo 2: Rumah Joglo dengan sistem rongga dinding tanpa ventilasi atap

Model Joglo 2 memperlihatkan mekanisme ventilasi alami yang lebih kompleks dibandingkan Model Joglo 1. Meskipun tidak dilengkapi ventilasi pada atap, distribusi rongga-rongga pada dinding mampu membentuk lintasan udara yang lebih kontinu sehingga sirkulasi di dalam bangunan menjadi lebih berkembang. Pada gambar distribusi kecepatan udara tampak bahwa pemanasan permukaan atap tetap menghasilkan *thermal plume* di atas bubungan. *Thermal plume* menurun seiring bertambahnya ketinggian, sedangkan kecepatannya meningkat, menunjukkan bahwa udara panas mengalami percepatan akibat gaya apung setelah meninggalkan permukaan atap. *Thermal plume* tersebut sedikit bergeser ke sisi yang tidak menerima radiasi matahari langsung, mengindikasikan adanya ketidakseimbangan volume udara hangat yang keluar dari kedua sisi bangunan.

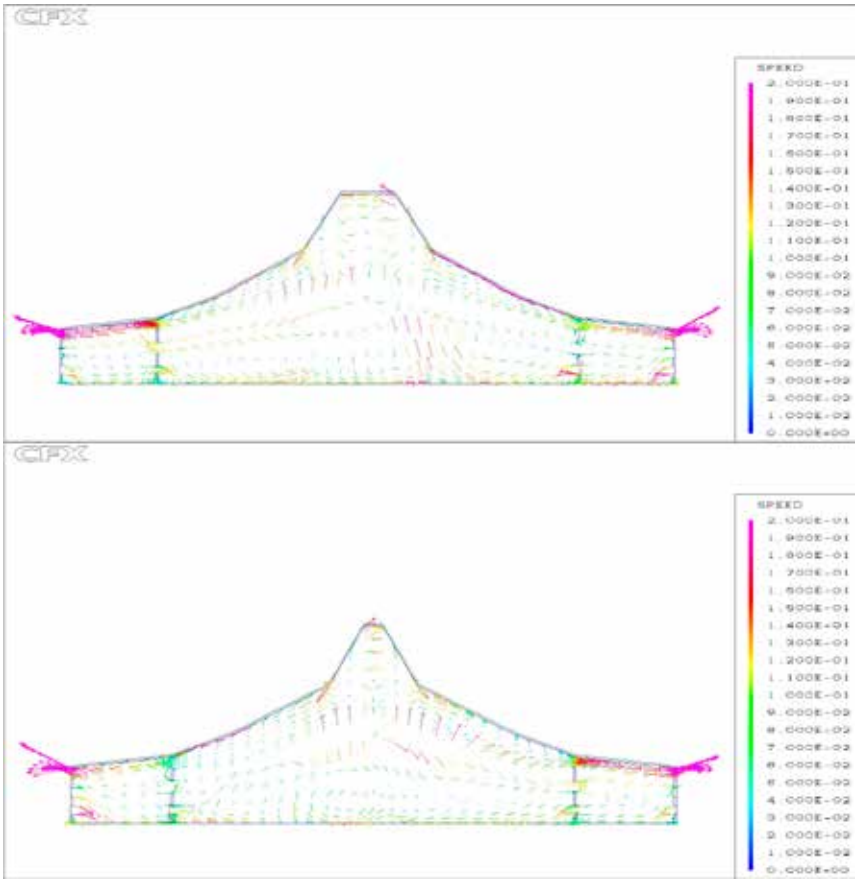
Di sekitar bubungan juga tampak aliran keluar yang mengikuti kemiringan atap sebelum membentuk gumpalan ke atmosfer. Fenomena ini memperlihatkan bahwa geometri atap Joglo tidak hanya berfungsi sebagai pelindung bangunan, tetapi sekaligus mengarahkan aliran udara panas menuju bagian tertinggi bangunan. Walaupun demikian, karena tidak tersedia ventilasi pada bubungan, Sebagian udara panas masih harus mengikuti bidang atap sebelum akhirnya keluar melalui bukaan pada dinding bagian atas. Akibatnya, jalur pelepasan panas menjadi lebih Panjang dibandingkan apabila tersedia ventilasi pada puncak atap.

Gambar 52 di dalam bangunan menunjukkan bahwa udara memasuki ruang melalui rongga-rongga dinding bagian bawah pada kedua sisi bangunan. Kecepatan aliran masuk dari sisi yang menerima radiasi matahari sedikit lebih tinggi daripada sisi yang teduh karena perbedaan tekanan yang lebih besar. Semakin rendah posisi rongga, semakin besar kecepatan udara yang masuk ruang. Setelah masuk perimeter, aliran udara bergerak menuju zona aktivitas penghuni melalui rongga-rongga pada dinding bagian dalam. Pada tahap ini kecepatan udara sempat menurun akibat pelebaran ruang, kemudian kembali meningkat ketika melewati bukaan berikutnya yang menghasilkan percepatan lokal karena perbedaan tekanan.



Gambar 52. Model Joglo 2, kecepatan aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Gambar aliran udara memperlihatkan bahwa udara yang lebih dingin cenderung bergerak pada bagian bawah ruang, sedangkan udara yang telah dipanaskan oleh lantai dan permukaan interior menjadi lebih ringan sehingga mulai naik menuju ruang atap. Di dekat sisi yang menerima radiasi matahari terbentuk daerah efek cerobong yang lebih kuat dibandingkan dengan sisi yang teduh. Aliran naik tersebut memperkuat sirkulasi di area utama dan membentuk lintasan udara yang mengikuti permukaan bagian dalam atap hingga menuju bukaan atas. Dengan demikian, mekanisme ventilasi pada Model Joglo 2 merupakan kombinasi antara ventilasi silang akibat tekanan angin dan *efek cerobong* akibat pemanasan udara di dalam bangunan.



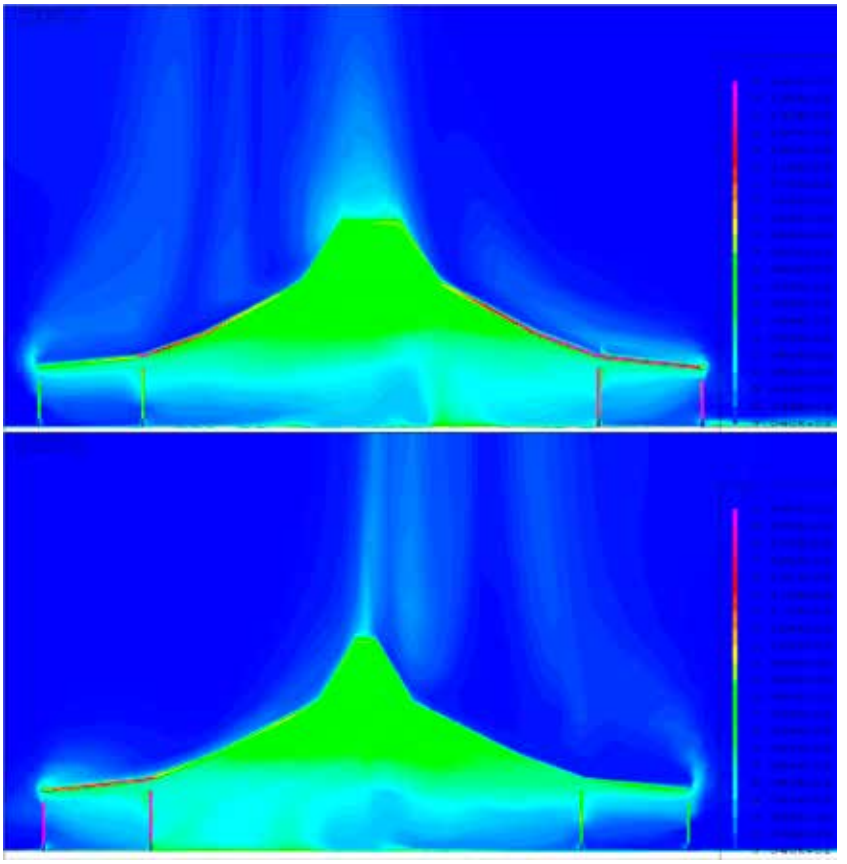
Gambar 53. Model Joglo 2, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Distribusi temperatur menunjukkan terbentuknya stratifikasi termal yang cukup jelas, terutama pada area perimeter. Udara yang lebih sejuk memasuki ruang melalui rongga bawah, sedangkan udara yang lebih hangat bergerak menuju bagian atas ruang. Pada sisi yang menerima radiasi matahari, distribusi temperatur relatif lebih merata karena aliran udara yang lebih kuat mempercepat proses pencampuran udara. Sebaliknya, pada sisi yang teduh gradien temperatur tampak lebih besar karena aliran udara bergerak lebih lambat sehingga udara hangat lebih mudah terakumulasi di bagian atas ruang. Meskipun demikian, temperatur pada zona aktivitas penghuni masih relatif seragam sehingga kondisi termal area utama tetap berada pada tingkat kenyamanan yang cukup baik.

Pada area utama, aliran udara yang telah naik mengikuti permukaan bagian dalam atap tidak dapat langsung keluar karena tidak tersedia ventilasi atap. Udara panas kemudian mengalir sepanjang bidang atap dan baru keluar melalui rongga-

rongga atas pada dinding. Pola ini menyebabkan lapisan udara panas tetap bertahan di bawah atap sehingga akumulasi panas belum sepenuhnya dapat dihilangkan. **Gambar 54** memperlihatkan bahwa udara hangat terkonsentrasi pada lapisan di atas sekitar tiga meter dari lantai, sedangkan ruang aktivitas di bawahnya masih didominasi oleh temperatur yang lebih rendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa volume ruang Joglo tetap berfungsi sebagai penyangga termal, walaupun efektivitas pelepasan panas masih dibatasi oleh tidak adanya ventilasi pada atap.

Fenomena yang menarik terlihat pada bagian luar bangunan. Pemanasan permukaan atap menghasilkan *thermal plume* yang kuat dengan kecepatan sekitar 1 m/s di atas bubungan. Pada potongan melintang, *thermal plume* terbentuk dari kedua sisi atap dan bergabung di atas puncak bangunan sehingga menciptakan daerah isotermal dengan temperatur tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar panas yang diterima atap akhirnya berhasil dilepaskan ke atmosfer melalui mekanisme konveksi alami.

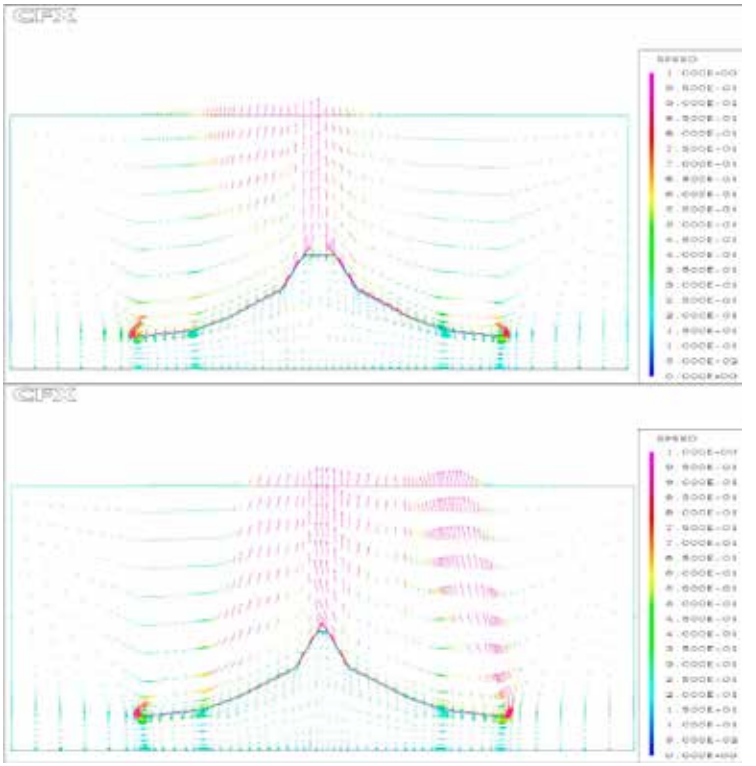


Gambar 54. Model Joglo 2, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Secara keseluruhan, Model Joglo 2 menunjukkan bahwa sistem rongga dinding mampu meningkatkan kontinuitas ventilasi dibandingkan dengan Model Joglo 1 dan menghasilkan distribusi temperatur yang lebih merata pada zona aktivitas penghuni. Akan tetapi, hasil simulasi juga menegaskan bahwa keberadaan rongga dinding saja belum cukup untuk menghilangkan akumulasi panas di ruang atap. Jalur pelepasan udara panas masih bergantung pada bukaan-bukaan dinding bagian atas sehingga efisiensi pendinginan pasif belum mencapai kondisi optimum. Temuan ini menjelaskan pentingnya ventilasi pada atap sebagai pelengkap sistem ventilasi silang dalam arsitektur rumah Jawa.

Model Joglo 3: Bukaan dinding penuh tanpa ventilasi atap

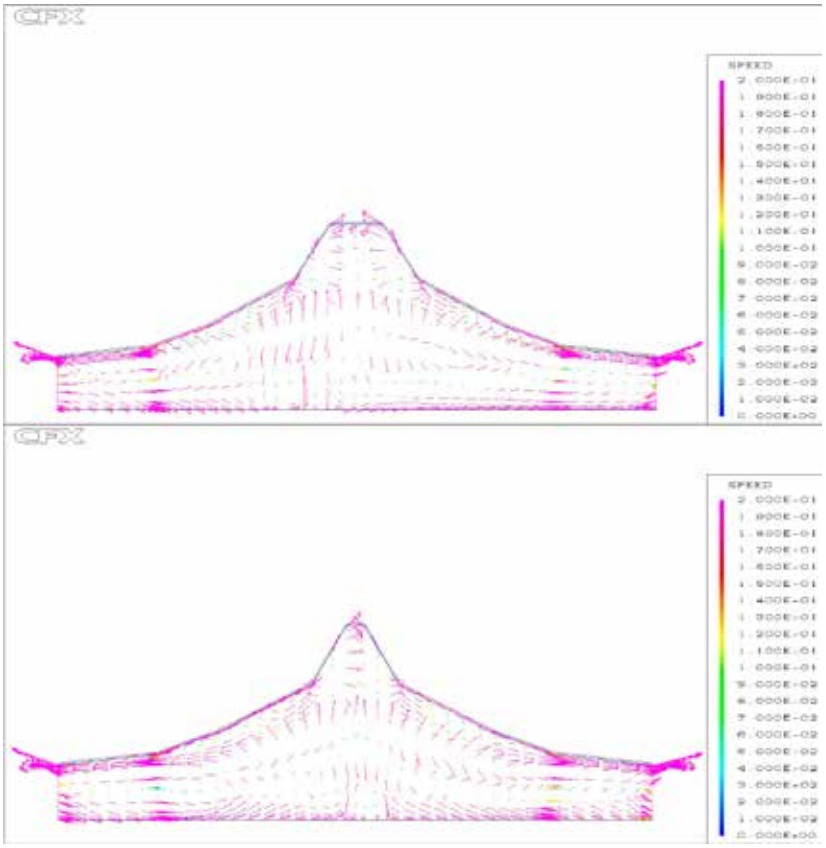
Model Joglo 3 menunjukkan perubahan karakter ventilasi yang cukup mendasar dibandingkan dengan model-model sebelumnya. Hampir seluruh bidang dinding berfungsi sebagai bukaan sehingga hambatan terhadap pergerakan udara menjadi sangat kecil. Pada **Gambar 55** terlihat bahwa udara luar memasuki bangunan secara lebih merata dari kedua sisi, kemudian bergerak menuju zona aktivitas penghuni sebelum akhirnya naik ke bawah atap akibat pemanasan. Tidak adanya dinding interior menyebabkan distribusi aliran menjadi lebih homogen dan ventilasi silang berkembang hampir di seluruh ruang.



Gambar 55. Model Joglo 3, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Meskipun demikian, pola aliran di dalam bangunan tidak hanya dikendalikan oleh tekanan angin, tetapi juga oleh *efek cerobong*. Udara yang memasuki bangunan dalam keadaan relatif lebih sejuk bergerak mendekati lantai, kemudian secara bertahap mengalami pemanasan oleh permukaan ruang. Ketika mencapai bagian tengah bangunan, kerapatan udara berkurang sehingga aliran mulai bergerak naik membentuk inti konveksi pada area utama. Fenomena ini tampak pada gambar lintasan udara sebagai aliran vertikal di bawah bubungan yang kemudian menyebar mengikuti area bagian dalam atap. Dengan demikian, area utama berfungsi sebagai zona pertemuan antara ventilasi silang dan ventilasi alami.

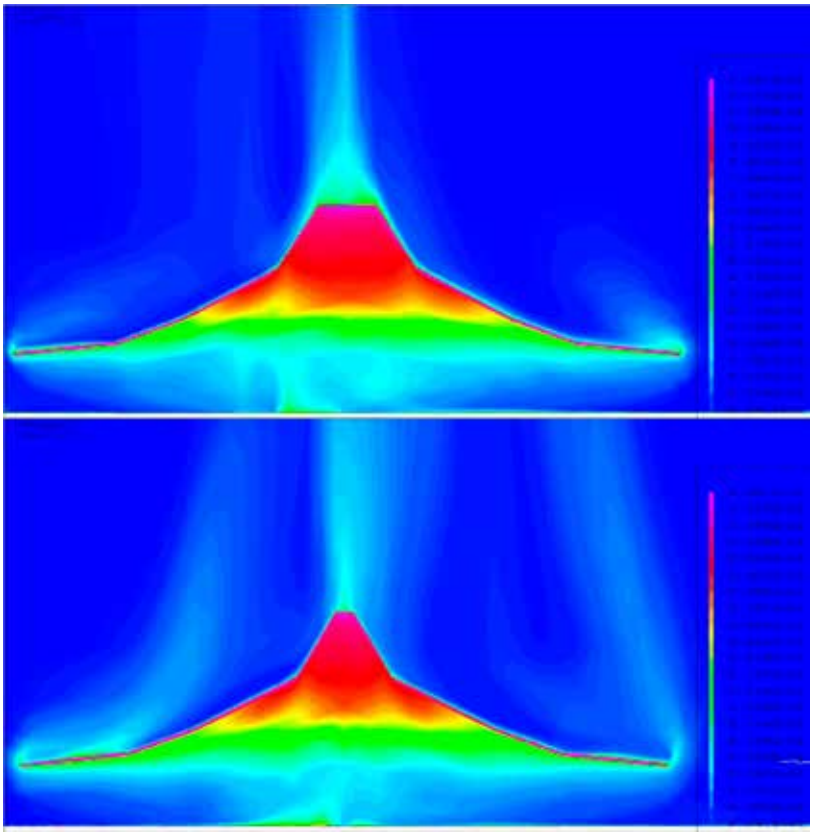
Aliran udara yang telah mencapai lapisan bawah atap tidak segera keluar dari bangunan karena konfigurasi ini tidak memiliki ventilasi atap. Sebaliknya, udara hangat mengikuti kemiringan bidang atap menuju bagian tepi sebelum keluar melalui bukaan dinding bagian atas. Jalur aliran tersebut terlihat jelas pada gambar vektor kecepatan aliran udara yang memperlihatkan bagaimana udara bergerak menyusuri permukaan bagian dalam atap dengan kecepatan yang relatif seragam. Kondisi ini menunjukkan bahwa bentuk atap Joglo tetap mampu mengarahkan aliran udara, tetapi belum menyediakan jalur pelepasan panas yang paling efisien.



Gambar 56. Model Joglo 3, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Kontur temperatur memperlihatkan karakter yang lebih tegas dibandingkan dengan model sebelumnya. Lapisan-lapisan isoterm hampir sejajar mengikuti bentuk atap sehingga membentuk stratifikasi termal yang sangat jelas. Perbedaan temperatur terutama terjadi menurut arah vertikal, sedangkan variasi temperatur secara horizontal relatif kecil. Udara pada zona bawah ruang tetap berada pada temperatur yang lebih rendah, sementara temperatur meningkat secara bertahap menuju area atap. Dengan kata lain, volume ruang Joglo berhasil memisahkan zona aktivitas penghuni dari zona akumulasi panas, meskipun udara panas tetap tertahan pada lapisan atas bangunan.

Keberadaan bukaan yang sangat besar menghasilkan ventilasi silang yang efektif pada ketinggian aktivitas penghuni. Pergerakan udara di sekitar lantai menjadi lebih merata dibandingkan dengan model sebelumnya, sehingga potensi pendinginan fisiologis meningkat. Akan tetapi, peningkatan luas bukaan dinding ternyata tidak secara otomatis meningkatkan pelepasan panas dari zona atap. Kontur temperatur masih menunjukkan akumulasi udara panas yang kuat di bawah bubungan sebelum akhirnya mengikuti kemiringan atap menuju bukaan tepi bangunan.



Gambar 57. Model Joglo 3, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Secara keseluruhan, Model Joglo 3 memperlihatkan bahwa pembukaan dinding secara penuh mampu memperbaiki distribusi ventilasi pada area utama dan menghasilkan aliran udara yang lebih homogen. Namun, tanpa ventilasi pada bagian puncak atap, udara panas tetap terkonsentrasi pada zona atap sehingga fungsi ventilasi silang lebih banyak meningkatkan kenyamanan pada zona bawah ruang daripada mengurangi akumulasi panas di bagian atas bangunan. Temuan ini menegaskan bahwa pada rumah Joglo, luas bukaan dinding tidak dapat menggantikan fungsi ventilasi atap dalam membuang panas yang terkumpul di bawah atap.

Model Joglo 4: Bukaan dinding dan ventilasi atap

Semburan panas terjadi di atas puncak atap dengan kecepatan maksimum 1,00 m/s. Aliran panas dari bukaan atap menghasilkan bulu ini dan membelokkannya sedikit ke sisi yang tidak terkena sinar matahari yakni di timur untuk penampang panjang dan di selatan untuk penampang pendek. Sementara aliran keluar dari bukaan dinding dibelokkan ke atas dan menempel pada permukaan atas atap. Aliran keluar tersebut tidak cukup kuat untuk menghasilkan bulu seperti pada kasus sebelumnya. Bukaan atap hanya berfungsi sebagai saluran keluar. Oleh karena itu, aliran keluar dari bukaan ini kuat. Bukaan dinding berfungsi sebagai saluran keluar dan saluran masuk.

Bidang suhu menunjukkan bahwa bukaan dinding di sisi yang tidak disinari matahari memasok lebih banyak udara sejuk dibandingkan dengan bukaan dinding di sisi yang disinari matahari. Pada bidang kecepatan dalam ruangan, aliran masuk yang kuat masuk melalui bukaan dinding yang tidak disinari matahari ke dalam ruang perimeter sebagai jet dengan kecepatan 0,20 m/s. Aliran masuk dari bukaan dinding timur melekat pada permukaan bagian dalam atap di ketinggian 2,50 m, kecepatan meluruh. Aliran udara masuk dibagi menjadi dua aliran: sebagian kecil mengalir ke bawah, sementara bagian utama masih menempel pada permukaan atap bagian dalam dan memiliki kecepatan yang lebih rendah, yaitu 0,12 m/s, sebelum masuk ke zona aktivitas penghuni melalui bukaan dinding bagian dalam.

Fenomena aliran masuk di ruang perimeter lainnya terjadi dengan cara yang sedikit berbeda. Peluruhan kecepatan tidak muncul. Aliran udara masuk tetap menempel pada permukaan atap bagian dalam dengan kecepatan yang sama yaitu 0,20 m/s, hingga memasuki zona aktivitas penghuni. Udara hangat di ruang perimeter naik. Udara dengan kecepatan tinggi, 0,20 m/s, menempel pada

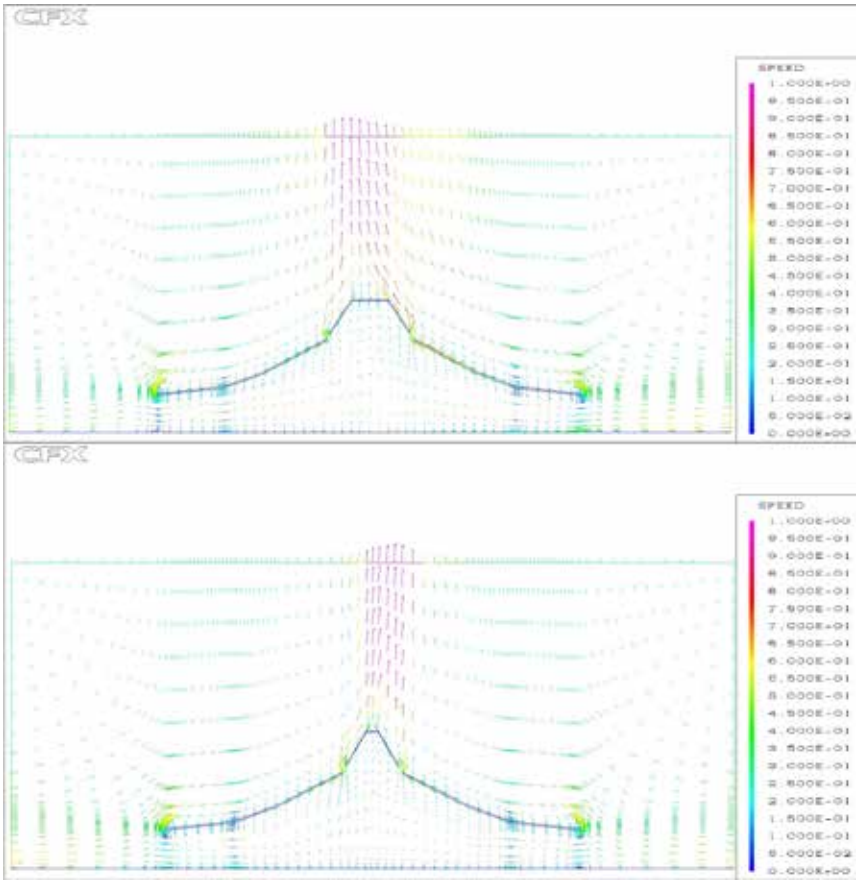
permukaan bagian dalam dinding, sementara udara dengan kecepatan rendah (0,05 m/s) mengalir ke berbagai arah. Peristiwa ini juga terjadi di zona aktivitas penghuni.

Gradien termal di ruang perimeter barat seragam, di sini suhu dalam ruangan berayun dari 34 °C hingga 35 °C. Gradien termal di perimeter Utara lebih terasa dan didominasi oleh suhu dingin sekitar 33.5 °C. Di perimeter timur, gradien termal tampak serupa dengan yang ada di perimeter Selatan. Udara hangat berada di atas lantai sebesar 34 °C. Kemudian suhu berangsur-angsur berubah dari 31.5 °C menjadi 33 °C. Di bawah atap, isotermal dingin sebesar 31.5 °C terjadi.

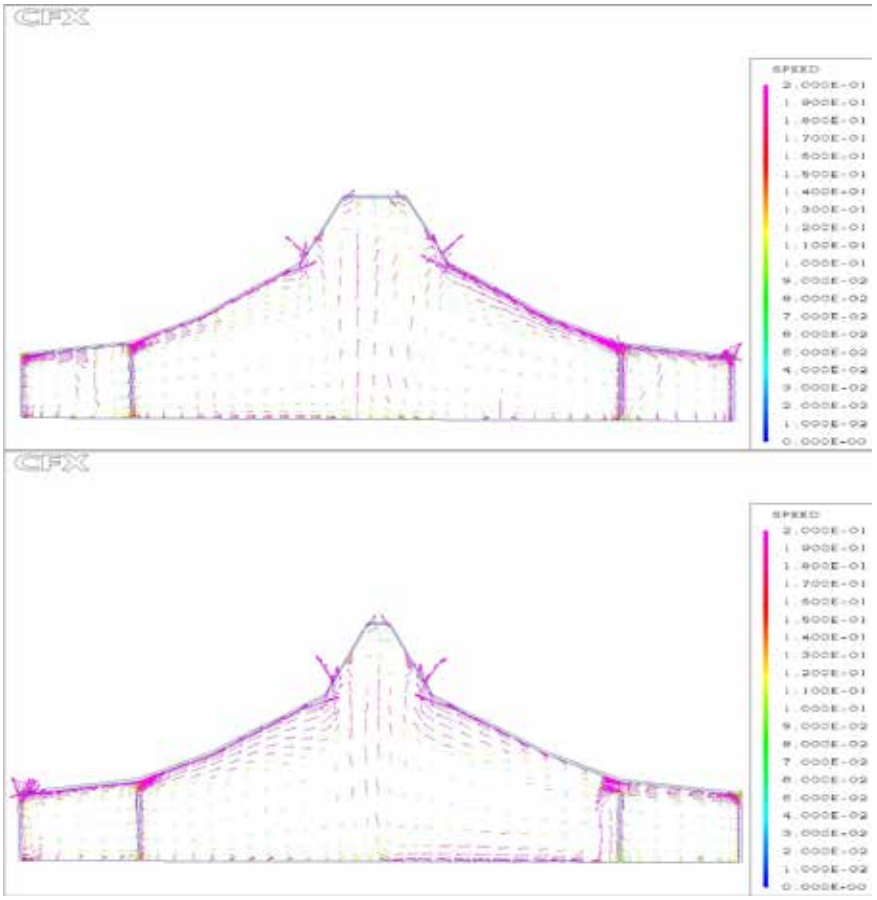
Fenomena aliran udara di zona aktivitas penghuni pada penampang panjang sedikit berbeda dari penampang pendek. Pada penampang panjang, aliran udara masuk dari bukaan dinding bagian dalam melekat pada permukaan atap bagian dalam. Mereka nantinya akan keluar dari ruangan melalui bukaan atap. Sirkulasi udara di zona yang ditempati didorong terutama oleh daya apung kuat yang terjadi di tengah ruangan dan membawa panas keluar melalui bukaan atap. Pada bagian yang pendek, aliran udara dari sisi yang tidak terkena sinar matahari mengalir ke bawah karena kepadatannya yang lebih tinggi mengikuti permukaan dinding. Udara hangat di atas lantai naik menghasilkan daya apung setinggi 6,50 m. Ketinggian bukaan atap efektif untuk mengusir udara keluar dari ruangan dan menciptakan daya apung yang kuat dengan kecepatan rata-ratanya mencapai 0,20 m/s. Gradien termal vertikal tidak terlihat jelas. Hanya sedikit gradien termal horizontal (2 K) yang terjadi.

Kecepatan udara di zona yang ditempati tidak bervariasi secara vertikal, dengan kecepatan rata-rata mencapai 0,01 m/s. Namun demikian kecepatan udara di dekat selubung bangunan jauh lebih tinggi yaitu 0,15 m/s hingga 0,20 m/s. Variasi kecepatan horizontal terjadi sangat kentara adanya daya apung.

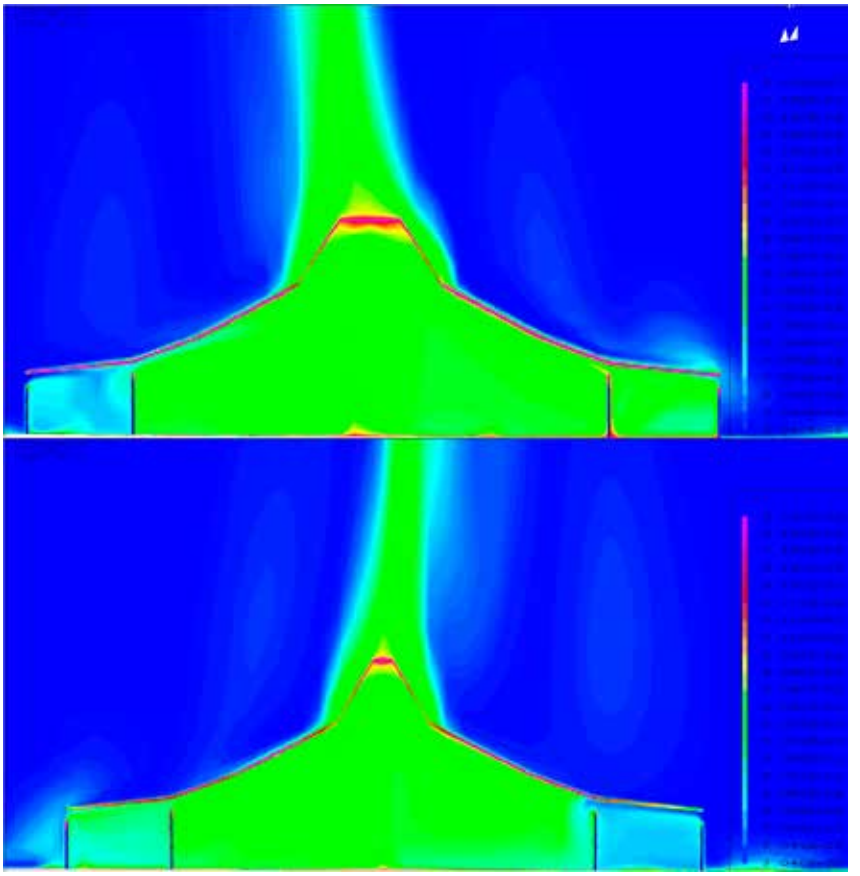
Tidak ada perbedaan suhu yang mencolok di zona aktivitas penghuni, suhunya seragam yaitu 34,5 °C. Sedikit variasi terjadi di tengah lantai dan dekat atap. Daya apung dapat meningkatkan distribusi suhu dengan mendorong sirkulasi udara.



Gambar 58. Model Joglo 4, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)



Gambar 59. Model Joglo 4, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)



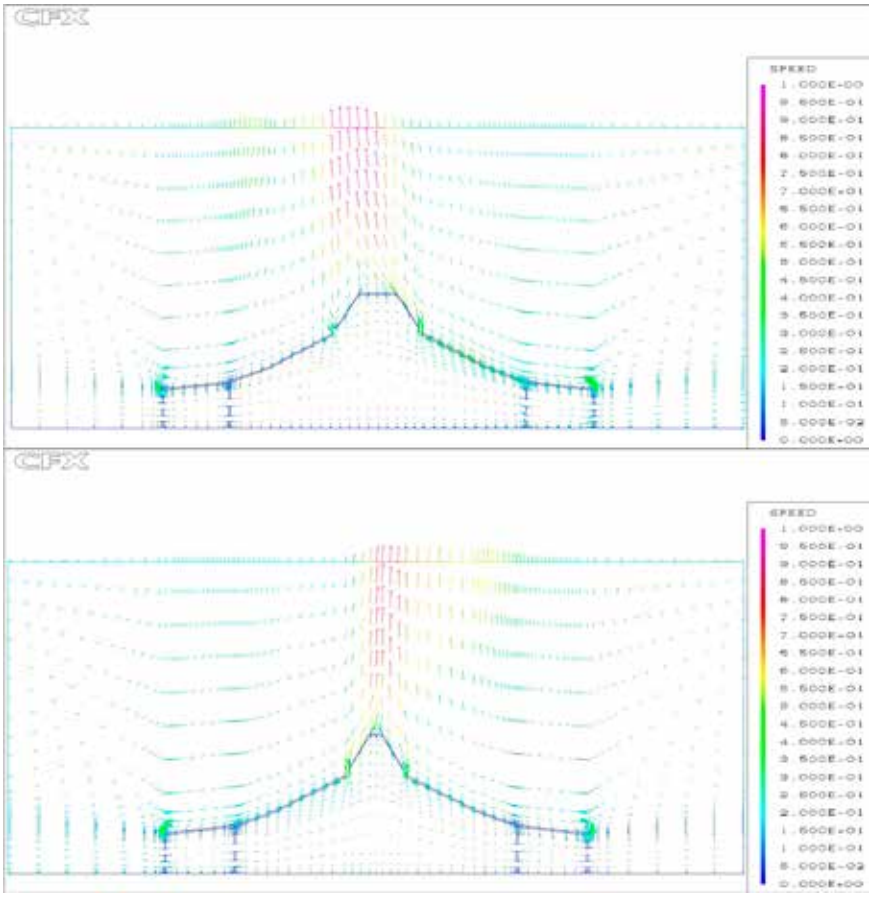
Gambar 60. Model Joglo 4, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Model Joglo 5: Dinding berpori (anyaman bambu) dan ventilasi atap.

Model Joglo 5 memperlihatkan sistem ventilasi alami yang paling menyatu antara bentuk atap dan karakter selubung bangunan. Berbeda dengan model sebelumnya yang mengandalkan bukaan dinding sebagai jalur utama pertukaran udara, pada model ini dinding berpori dari anyaman bambu memungkinkan udara meresap ke dalam bangunan secara lebih merata. Akibatnya, distribusi aliran udara tidak lagi terkonsentrasi di sekitar bukaan, melainkan menyebar di sepanjang bidang dinding sehingga menghasilkan pola ventilasi yang lebih seragam.

Pada **Gambar 61** tampak bahwa ventilasi atap tetap menjadi lubang pelepasan udara panas. Udara yang telah dipanaskan di dalam ruang bergerak menuju bagian tertinggi atap dan keluar melalui ventilasi atap sehingga membentuk *thermal plume* yang berkembang secara vertikal di atas puncak atap. *Plume* ini menjadi lebih

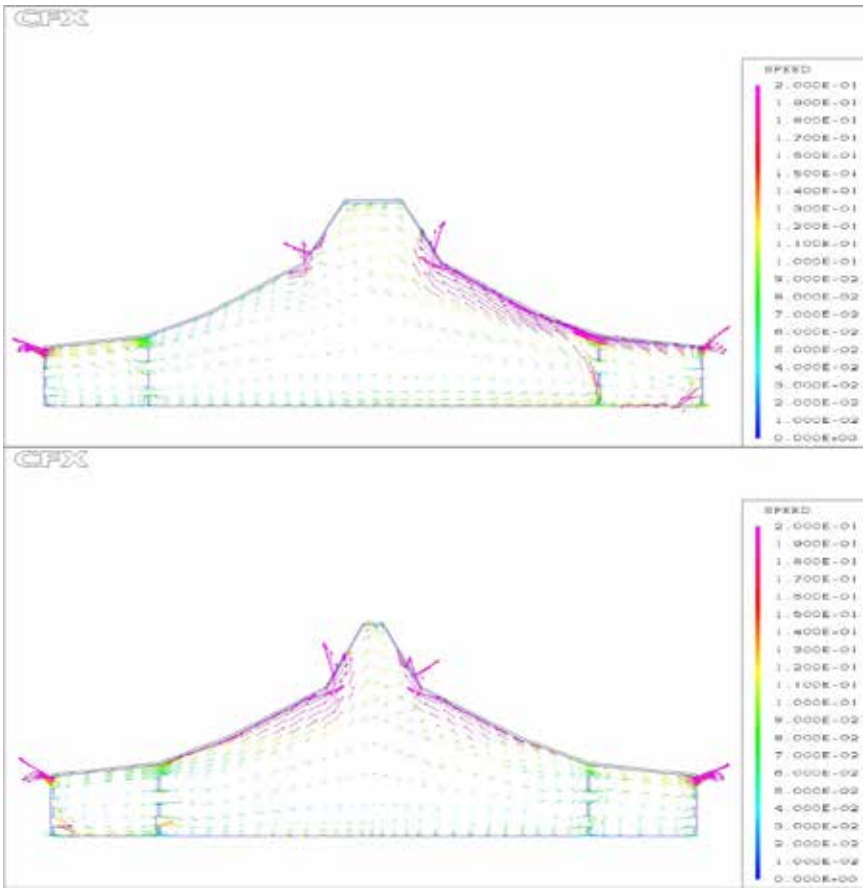
terarah dibandingkan dengan model-model sebelumnya, dengan kecenderungan sedikit bergeser ke sisi yang tidak menerima radiasi matahari langsung. Di sisi lain, aliran hangat yang keluar melalui bagian atas dinding hanya membentuk *plume-plume* kecil di sepanjang tepi atap. Fenomena ini menunjukkan bahwa Sebagian besar udara panas telah diarahkan menuju ventilasi atap, sementara dinding berpori lebih berperan sebagai jalur pertukaran udara daripada sebagai saluran utama pembuangan panas.



Gambar 61. Model Joglo 5, kecepatan aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

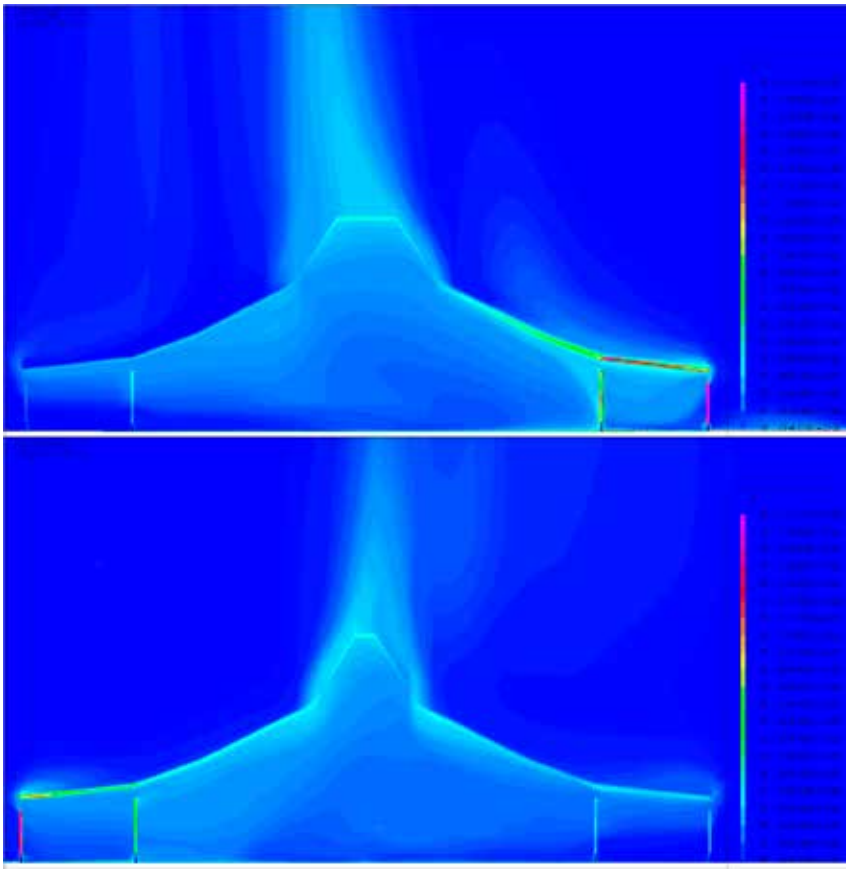
Distribusi vektor kecepatan memperlihatkan bahwa udara segar memasuki bangunan secara lebih merata melalui selubung berpori, kemudian bergerak perlahan menuju zona aktivitas penghuni sebelum terdorong naik oleh efek cerobong. Tidak tampak lagi daerah resirkulasi yang kuat sebagaimana dijumpai pada Model Joglo 1 dan 3. Sebaliknya, aliran udara berkembang secara kontinu dari bagian bawah menuju ventilasi atap. Pola ini menunjukkan bahwa permeabilitas dinding membantu

mengurangi perbedaan tekanan yang terlalu besar pada bukaan tertentu sehingga distribusi ventilasi di dalam ruang menjadi lebih seimbang.



Gambar 62. Model Joglo 5, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Perubahan pola aliran tersebut tercermin pada kontur temperatur. Lapisan udara panas yang sebelumnya terkonsentrasi di bawah atap kini menjadi lebih tipis dan lebih cepat terhubung dengan *plume* di atas bubungan. Gradien temperatur vertikal masih terlihat, tetapi tidak lagi membentuk akumulasi panas yang kuat sebagaimana pada model tanpa ventilasi atap. Temperatur area utama juga tampak lebih seragam karena udara segar terus menggantikan udara hangat yang dikeluarkan melalui ventilasi atap. Dengan demikian, panas tidak lagi tertahan di ruang atap, melainkan dialirkan secara berkesinambungan menuju atmosfer.



Gambar 63. Model Joglo 5, suhu udara dilihat dari potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Perubahan pola aliran tersebut tercermin pada kontur temperatur. Lapisan udara panas yang sebelumnya terkonsentrasi di bawah atap kini menjadi lebih tipis dan lebih cepat terhubung dengan *plume* di atas bubungan. Gradien temperatur vertikal masih terlihat, tetapi tidak lagi membentuk akumulasi panas yang kuat sebagaimana pada model tanpa ventilasi atap. Temperatur area utama juga tampak lebih seragam karena udara segar terus menggantikan udara hangat yang dikeluarkan melalui ventilasi atap. Dengan demikian, panas tidak lagi tertahan di ruang atap, melainkan dialirkan secara berkesinambungan menuju atmosfer.

Hasil simulasi ini memperlihatkan bahwa kombinasi dinding berpori dan ventilasi atap menghasilkan mekanisme ventilasi yang lebih efektif daripada penggunaan bukaan besar saja. Dinding anyaman bambu memungkinkan pertukaran udara berlangsung secara difusi di seluruh bangunan, sedangkan ventilasi atap menyediakan jalur pelepasan langsung bagi udara panas. Kedua

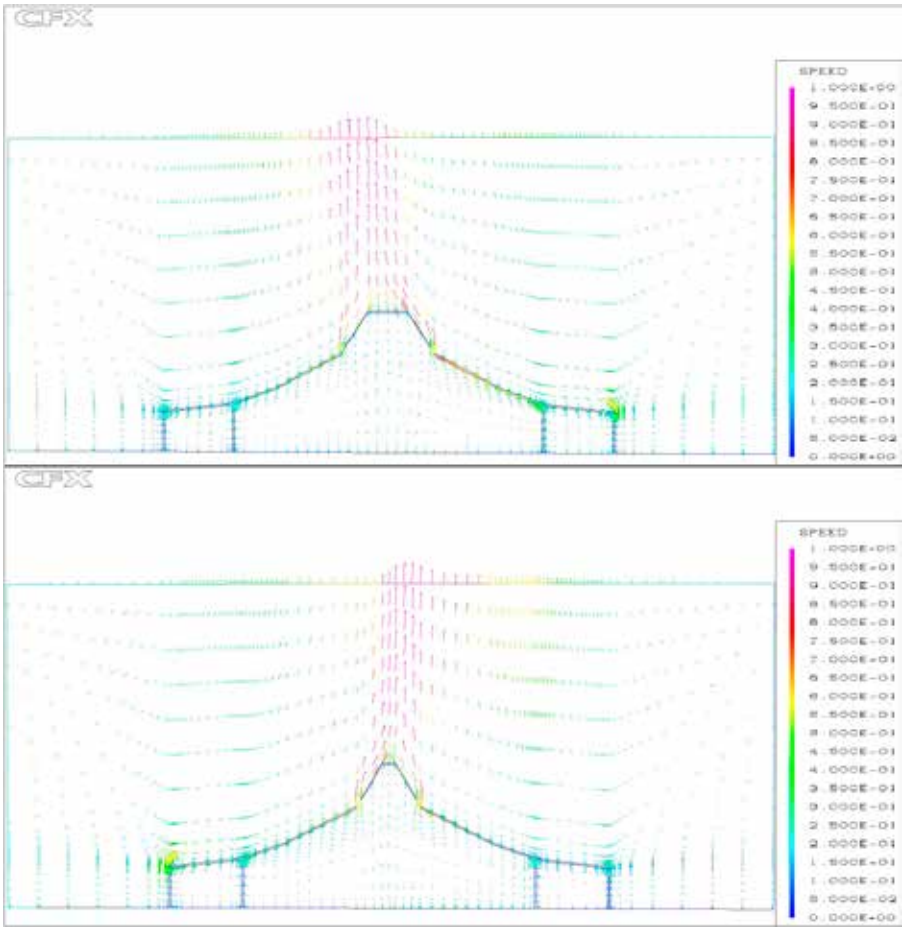
elemen tersebut bekerja saling melengkapi sehingga membentuk sirkulasi udara yang stabil, mengurangi stratifikasi termal, dan menghasilkan kondisi termal ruang yang lebih merata.

Secara arsitektural, Model Joglo 5 menunjukkan bahwa kenyamanan termal rumah Jawa tidak hanya ditentukan oleh geometri atap, tetapi juga oleh tingkat permeabilitas selubung bangunannya. Anyaman bambu tidak sekadar berfungsi sebagai material penutup dinding, melainkan menjadi bagian dari sistem ventilasi alami yang memungkinkan bangunan "bernapas". Bersama ventilasi atap, sistem ini menciptakan mekanisme pendinginan pasif yang mampu mengeluarkan panas secara terus-menerus tanpa bantuan energi mekanis, sehingga mencerminkan kecerdasan iklim yang menjadi salah satu karakter utama arsitektur tradisional Jawa.

Model Joglo 6: Bukaan dinding penuh dengan ventilasi atap.

Model Joglo 6 memperlihatkan konfigurasi ventilasi yang paling terbuka di antara seluruh model yang disimulasikan. Hampir seluruh bidang dinding berfungsi sebagai bukaan, sementara ventilasi atap menjadi jalur utama pelepasan udara panas. Pada Gambar 64 terlihat bahwa *thermal plume* berkembang secara kuat di atas bubungan sebagai akibat kombinasi ventilasi silang dan efek cerobong. Berbeda dengan model tanpa ventilasi atap, udara panas yang telah mencapai ruang atap tidak lagi tertahan di bawah bidang atap, tetapi langsung diarahkan menuju ventilasi atap sebelum dilepaskan ke atmosfer.

Distribusi vektor kecepatan menunjukkan bahwa bukaan dinding bekerja secara dinamis sebagai saluran masuk maupun saluran keluar. Udara dari sisi yang lebih teduh memasuki bangunan dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi yang menerima radiasi matahari, sedangkan pada sisi sebaliknya sebagian udara hangat keluar melalui bagian atas bukaan dinding. Walaupun demikian, pada penampang melintang kedua sisi bangunan memperlihatkan volume aliran yang relatif seimbang sehingga pola ventilasi tetap berlangsung secara simetris. Kondisi tersebut menghasilkan pertukaran udara yang kontinu tanpa membentuk area stagnasi di dalam bangunan.



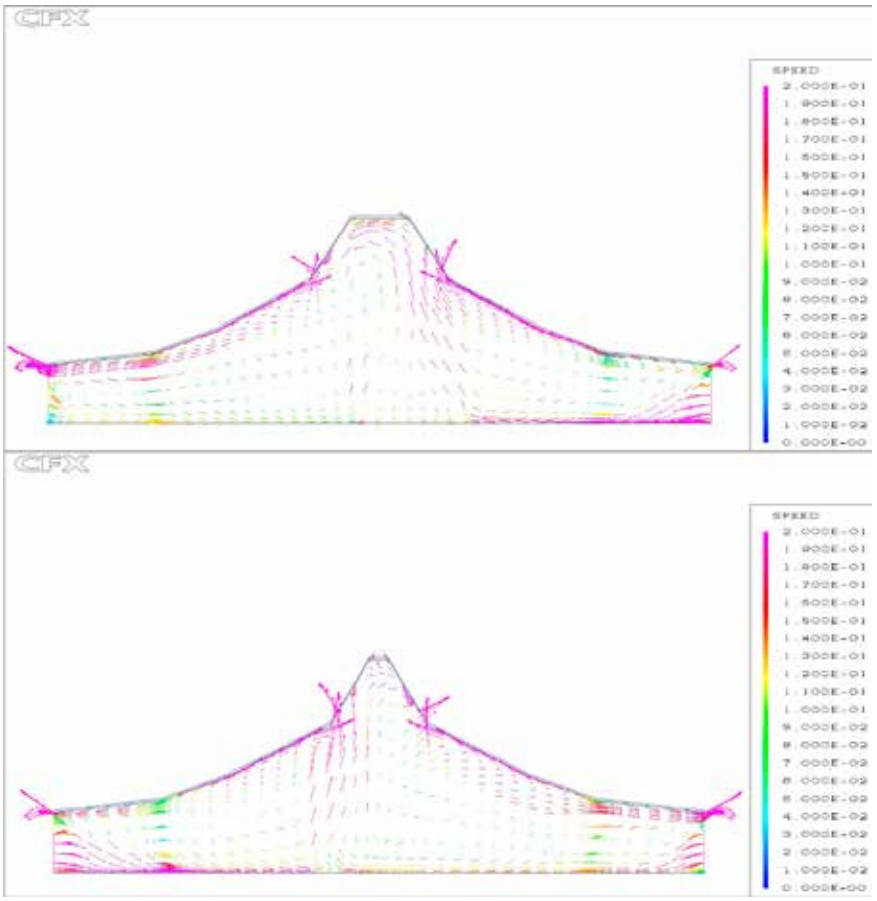
Gambar 64. Model Joglo 6, aliran udara pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

Setelah memasuki bangunan, udara bergerak secara horizontal pada zona aktivitas penghuni sebelum bertemu di bagian tengah ruangan. Pertemuan kedua aliran udara tersebut menghasilkan area efek cerobong yang kuat sehingga udara mulai bergerak vertikal menuju ventilasi atap. Pada **Gambar 65** tampak jelas bahwa aliran naik berkembang hampir sepanjang sumbu tengah ruang, kemudian mengikuti bentuk atap menuju ventilasi pada puncak bangunan. Pola ini menunjukkan bahwa ventilasi atap berfungsi sebagai penggerak utama sirkulasi udara di dalam bangunan, sedangkan bukaan dinding mempertahankan pasokan udara segar pada bagian bawah ruang.

Aliran udara hangat yang bergerak menuju ventilasi atap tetap melekat pada permukaan bagian dalam atap sebelum keluar ke atmosfer. Fenomena ini memperlihatkan bahwa bentuk atap Joglo tidak hanya berfungsi memperbesar

volume ruang, tetapi juga mengarahkan lintasan konveksi alami menuju titik pelepasan panas. Dibandingkan dengan model sebelumnya, aliran udara di bawah atap tampak lebih teratur dan lebih sedikit membentuk pusaran, sehingga perpindahan panas berlangsung secara lebih efisien.

Kontur temperatur menunjukkan bahwa distribusi suhu udara di zona aktivitas penghuni relatif seragam. Pada zona aktivitas penghuni, temperatur udara hanya mengalami perubahan kecil dari bagian bawah menuju bagian tengah ruangan, sedangkan peningkatan temperatur baru tampak pada lapisan yang sangat dekat dengan atap. Hal ini menunjukkan bahwa efek cerobong yang terbentuk di tengah ruang mampu mengurangi stratifikasi termal yang biasanya berkembang pada model tanpa ventilasi atap. Meskipun masih terdapat gradien temperatur secara horizontal akibat perbedaan orientasi terhadap radiasi matahari, besarnya relatif kecil sehingga tidak menimbulkan ketidakseragaman termal yang berarti pada zona aktivitas penghuni.



Gambar 65. Model Joglo 6, lintasan udara di dalam ruang pada potongan memanjang (atas) dan pada potongan melintang (bawah)

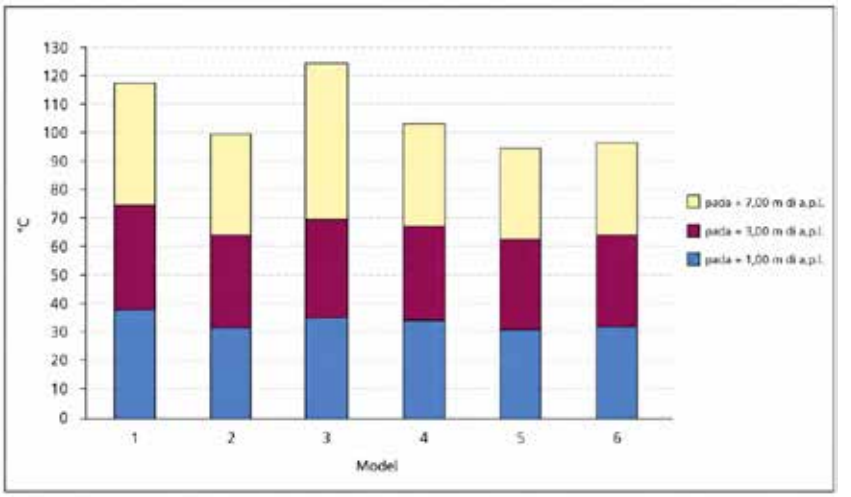
Menariknya, hasil simulasi juga memperlihatkan bahwa peningkatan luas bukaan dinding tidak hanya memperbesar volume udara yang masuk, tetapi juga mempercepat pembentukan sirkulasi vertikal ketika dipadukan dengan ventilasi atap. Dengan kata lain, bukaan dinding dan ventilasi atap tidak bekerja secara terpisah, melainkan saling memperkuat. Bukaan dinding mempertahankan pasokan udara segar pada zona bawah, sedangkan ventilasi atap menciptakan tekanan negatif yang mempercepat pelepasan udara panas dari lapisan atas ruang. Hubungan keduanya menghasilkan lintasan ventilasi yang hampir kontinu dari bagian bawah menuju bagian tertinggi bangunan.

Secara keseluruhan, Model Joglo 6 menunjukkan bahwa konfigurasi bukaan penuh yang dipadukan dengan ventilasi atap mampu menghasilkan distribusi udara yang lebih merata dibandingkan dengan model-model sebelumnya. Walaupun temperatur rata-ratanya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Model Joglo 4, distribusi temperatur dan kecepatan udara pada zona aktivitas penghuni menjadi lebih seragam karena pengaruh efek cerobong yang berkembang secara stabil. Temuan ini memperlihatkan bahwa efektivitas ventilasi alami tidak hanya ditentukan oleh besarnya volume udara yang mengalir, tetapi juga oleh kemampuan bentuk atap dan ventilasi atap mengarahkan aliran tersebut menjadi sistem konveksi yang berkesinambungan. Dalam konteks arsitektur rumah Jawa, konfigurasi ini menegaskan bahwa ventilasi atap merupakan elemen yang mengintegrasikan ventilasi silang dan efek cerobong menjadi satu mekanisme pendinginan pasif yang efektif.

Komparasi Antar Model

Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa konfigurasi bukaan pada rumah Joglo memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap pola aliran udara, distribusi temperatur, serta mekanisme pelepasan panas di dalam bangunan. Perbedaan konfigurasi bukaan dinding dan ventilasi atap menghasilkan karakter ventilasi yang berbeda pada setiap model. Secara umum, ventilasi atap berperan dalam mempercepat pelepasan udara panas yang terakumulasi di bawah atap, sedangkan konfigurasi dinding menentukan besarnya udara segar yang dapat memasuki ruang. Dengan demikian, kenyamanan termal tidak hanya ditentukan oleh besarnya luas bukaan, tetapi oleh hubungan antara bukaan masuk (inlet) dan bukaan keluar (outlet) yang membentuk lintasan aliran udara di dalam bangunan.

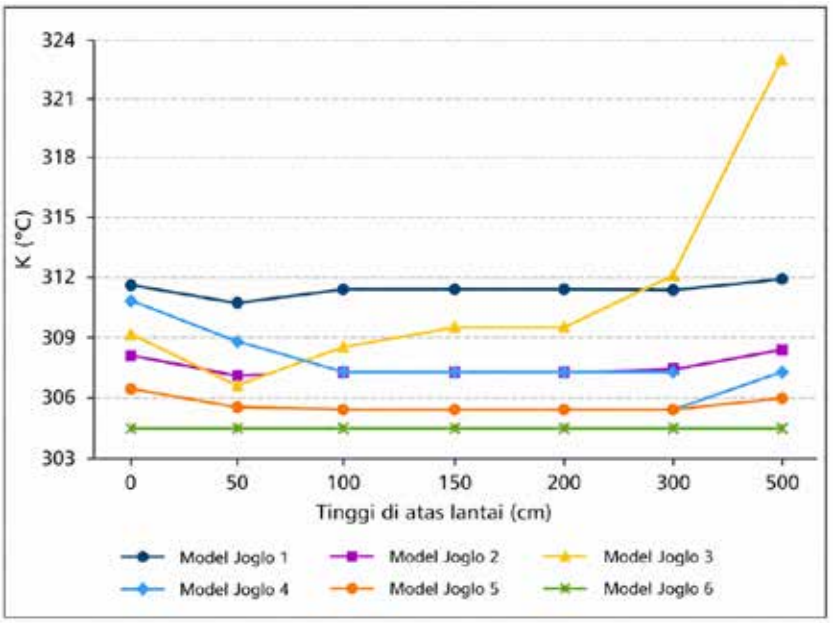
Perbandingan temperatur pada tiga ketinggian ruang **(Gambar 66)** memperlihatkan bahwa pengaruh ventilasi atap paling nyata terjadi pada lapisan udara bagian atas. Pada model yang dilengkapi ventilasi atap, temperatur pada ketinggian sekitar +7,00 m di atas permukaan lantai menurun secara signifikan dibandingkan dengan model tanpa ventilasi atap. Penurunan ini menunjukkan bahwa ventilasi atap berfungsi sebagai jalur pelepasan udara panas yang terkumpul di bawah atap sehingga memperkuat mekanisme efek cerobong. Sebaliknya, pada ketinggian badan manusia (+1.00 m di atas lantai), pengaruh ventilasi atap tidak selalu terlihat secara langsung. Hal ini mengindikasikan bahwa ventilasi atap terutama bekerja mengendalikan lapisan udara panas pada ruang atap, sedangkan kondisi termal pada zona aktivitas penghuni lebih dipengaruhi oleh pola aliran udara yang terbentuk melalui bukaan dinding.



Gambar 66. Temperatur udara pada ketinggian di atas permukaan lantai di tengah ruangan
(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

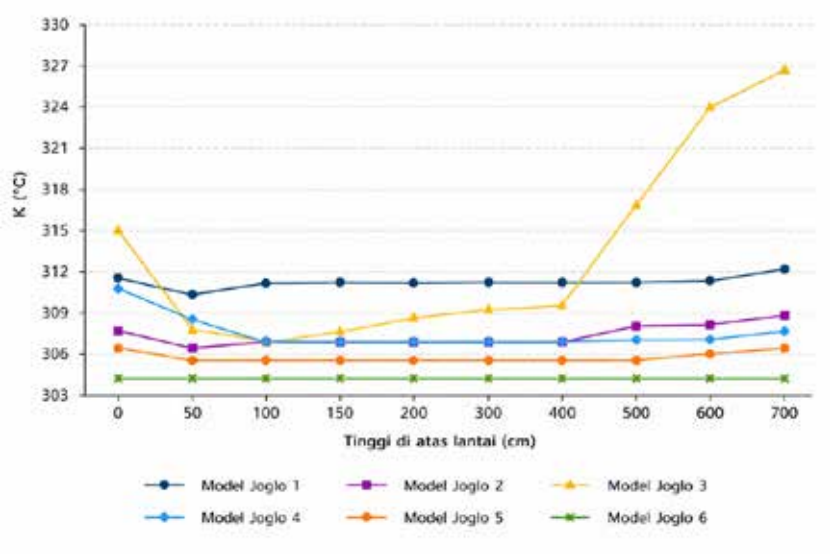
Peran dinding berpori tampak berbeda dari ventilasi atap. Dinding berpori tidak secara drastis menurunkan temperatur lapisan atas, tetapi mampu menghasilkan distribusi temperatur yang lebih merata di zona aktivitas penghuni. Pertukaran udara yang berlangsung secara difus melalui pori-pori dinding menyebabkan udara segar memasuki ruang secara lebih merata sehingga gradien temperatur horizontal berkurang. Dengan demikian, kenyamanan termal diperoleh bukan karena temperatur udara turun secara drastis, melainkan karena variasi temperatur di dalam ruang menjadi lebih kecil. Fenomena ini menunjukkan bahwa material selubung bangunan memiliki kontribusi yang sama pentingnya dengan bentuk atap dalam membentuk iklim mikro ruang.

Distribusi temperatur vertikal pada **Gambar 67** dan **Gambar 68** memperlihatkan bahwa konfigurasi bukaan sangat memengaruhi terbentuknya stratifikasi termal. Model tanpa ventilasi atap menunjukkan gradien temperatur lebih besar, terutama pada lapisan udara di bawah bubungan. Udara panas yang terbentuk akibat radiasi matahari tetap tertahan di ruang atap sehingga temperatur meningkat secara bertahap seiring bertambahnya ketinggian. Sebaliknya, pada model yang dilengkapi ventilasi atap, gradien temperatur vertikal menjadi lebih kecil karena udara panas segera dikeluarkan melalui bagian tertinggi bangunan. Akibatnya, distribusi temperatur di zona aktivitas penghuni menjadi lebih seragam dan lapisan udara panas yang biasanya terbentuk di bawah atap berkurang secara nyata.



Gambar 67. Temperatur vertikal 5m dari tengah ruang

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).



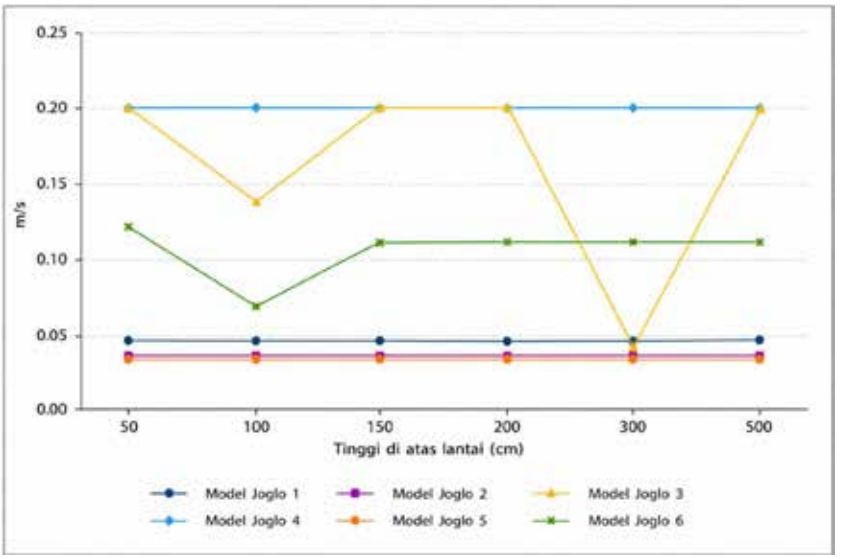
Gambar 68. Temperatur vertikal di tengah ruang
(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Model dengan rongga-rongga dinding memperlihatkan karakter yang berbeda. Rongga yang disusun secara vertikal tidak hanya berfungsi sebagai bukaan, tetapi juga mengubah distribusi tekanan di sekitar dinding sehingga meningkatkan pertukaran udara antara area perimeter dan hunian. Kondisi ini mempercepat pelepasan panas, terutama ketika ventilasi atap tidak tersedia. Rongga bagian bawah lebih banyak berfungsi sebagai jalur masuk udara yang lebih sejuk, sedangkan rongga bagian atas menjadi jalur keluarnya udara yang telah mengalami pemanasan. Dengan demikian, rongga dinding membentuk mekanisme pergantian udara secara vertikal yang cukup efektif untuk mengurangi temperatur pada zona aktivitas penghuni.

Ketika rongga dinding dipadukan dengan ventilasi atap, mekanisme ventilasi alami menjadi lebih efektif. Rongga bawah memasukkan udara segar ke dalam ruang, sedangkan rongga atas dan ventilasi atap bekerja secara bersamaan membuang udara panas ke luar bangunan. Pola ini menghasilkan lintasan aliran yang lebih kontinu dari bawah ke atas sehingga efek cerobong bekerja lebih optimal. Distribusi temperatur menjadi lebih merata, sementara gradien termal di zona aktivitas penghuni berkurang secara signifikan. Hal tersebut menunjukkan hubungan antara bukaan bawah dan bukaan atas jauh lebih menentukan daripada sekadar memperbesar luas bukaan.

Sebaliknya, model tanpa dinding memperlihatkan bahwa peningkatan luas bukaan memang mampu meningkatkan volume aliran udara, tetapi tidak selalu menghasilkan kondisi termal yang paling nyaman. Kecepatan udara di dalam ruang menjadi lebih tinggi, namun distribusinya kurang seragam karena aliran lebih dipengaruhi oleh tekanan angin daripada oleh mekanisme ventilasi termal. Akibatnya masih terbentuk perbedaan temperatur secara horizontal di dalam ruang. Temuan ini menunjukkan bahwa ventilasi alami yang efektif tidak hanya memerlukan aliran udara yang besar, tetapi juga distribusi aliran yang merata pada zona aktivitas penghuni.

Distribusi kecepatan udara vertikal **(Gambar 69)** memperkuat temuan tersebut. Model dengan ventilasi bubungan memperlihatkan pola kecepatan yang relatif stabil pada berbagai ketinggian, sedangkan model tanpa ventilasi menunjukkan variasi kecepatan aliran udara yang lebih besar akibat terbentuknya area resirkulasi di bawah atap. Distribusi kecepatan yang lebih seragam berkontribusi terhadap pemerataan temperatur karena udara terus bergerak dan mempercepat proses pencampuran antara udara hangat dan udara yang lebih sejuk. Dengan demikian, kenyamanan termal tidak hanya dipengaruhi oleh temperatur udara, tetapi juga oleh karakter distribusi kecepatan udara di dalam ruang.

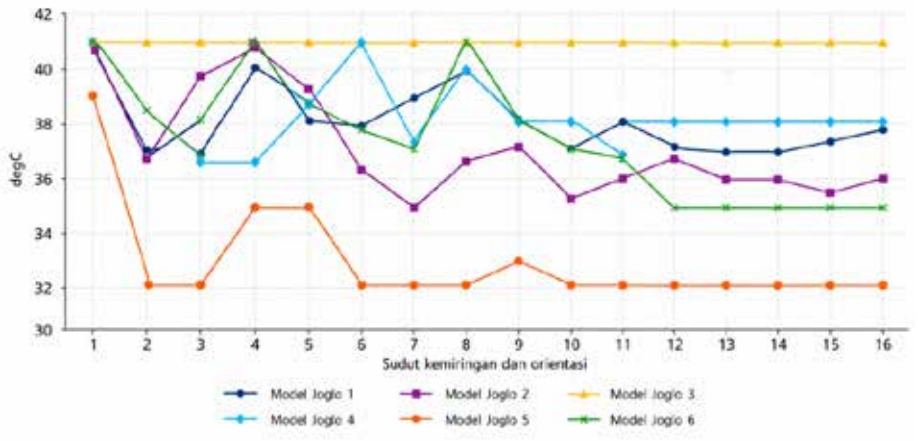


Gambar 69. Distribusi kecepatan udara vertikal

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pola aliran udara di dalam bangunan berpengaruh terhadap temperatur permukaan atap. Variasi temperatur pada bidang-

bidang atap dengan orientasi dan kemiringan yang sama menunjukkan bahwa radiasi matahari bukan satu-satunya faktor yang menentukan suhu permukaan. Pergerakan udara di bawah atap mampu meningkatkan perpindahan panas secara konveksi sehingga temperatur permukaan atap dapat berkurang. Pada model yang menggunakan dinding berpori dan ventilasi atap, temperatur permukaan atap merupakan yang paling rendah dibandingkan dengan model lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa sirkulasi udara di dalam ruang secara tidak langsung membantu mengurangi beban panas yang diterima oleh selubung bangunan.



Gambar 70. Temperatur permukaan atap

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Secara keseluruhan, hasil simulasi menegaskan bahwa kenyamanan termal rumah Joglo merupakan hasil interaksi antara bentuk atap, konfigurasi bukaan, dan karakter porositas dinding. Ventilasi atap terbukti efektif mengurangi akumulasi panas pada lapisan atas ruang melalui penguatan efek cerobong, sedangkan dinding berpori dan rongga dinding meningkatkan pemerataan distribusi udara pada zona aktivitas penghuni. Dengan demikian, strategi ventilasi alami pada rumah tradisional Jawa tidak bergantung pada satu elemen tunggal, tetapi pada keterpaduan antara geometri atap, sistem bukaan, dan permeabilitas selubung bangunan. Prinsip ini menjelaskan mengapa rumah Joglo mampu mempertahankan kenyamanan termal secara pasif dan tetap relevan sebagai referensi dalam perancangan bangunan tropis hemat energi.

3.4. ATAP RUMAH JAWA SEBAGAI PANEL SURYA

3.4.1. DARI ARSITEKTUR SURYA PASIF MENUJU ARSITEKTUR SURYA AKTIF

Pembahasan pada subbab sebelumnya menunjukkan bahwa atap rumah Jawa pada dasarnya merupakan hasil adaptasi panjang terhadap kondisi iklim tropis. Kemiringan bidang atap, volume ruang di bawah atap, orientasi bangunan, serta konfigurasi ventilasi tidak hanya membentuk karakter arsitektural yang khas, tetapi juga mengendalikan radiasi matahari, distribusi temperatur, dan pola aliran udara di dalam bangunan. Dengan kata lain, arsitektur tradisional Jawa telah menerapkan prinsip-prinsip arsitektur surya pasif jauh sebelum istilah tersebut dikenal dalam ilmu bangunan modern.

Strategi pasif tersebut diwujudkan melalui kemampuan atap untuk mengurangi perolehan panas, mengarahkan ventilasi alami, dan menciptakan lapisan udara penyangga yang melindungi ruang aktivitas penghuni. Hasil simulasi CFD pada Subbab 3.3 memperlihatkan bahwa variasi konfigurasi bukaan dinding dan ventilasi atap menghasilkan pola sirkulasi udara yang berbeda-beda, namun seluruhnya menunjukkan satu prinsip yang sama, yaitu mengendalikan perpindahan panas melalui kombinasi tekanan angin dan efek cerobong. Dengan demikian, atap rumah Jawa tidak hanya berfungsi sebagai peneduh, tetapi juga sebagai pengatur iklim mikro bangunan.

Perkembangan teknologi energi terbarukan membuka peluang baru bagi pemaknaan fungsi atap tersebut. Apabila pada masa lalu radiasi matahari terutama dipandang sebagai beban panas yang harus dikendalikan, maka saat ini radiasi yang sama dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui modul *photovoltaic*. Transformasi tersebut menandai pergeseran paradigma dari arsitektur surya pasif menuju arsitektur surya aktif, yaitu bangunan yang tidak hanya mampu mengurangi kebutuhan energi, tetapi juga menghasilkan energi secara mandiri.

Dalam konteks ini, rumah tradisional Jawa memiliki posisi yang sangat menarik. Bentuk atap yang sejak awal dirancang untuk merespons iklim tropis ternyata juga menyediakan bidang-bidang yang luas untuk pemasangan modul *photovoltaic*. Luas bidang miring, orientasi permukaan atap terhadap lintasan matahari, serta tingginya volume ruang di bawah atap merupakan karakter geometris yang dapat mendukung produksi energi surya sekaligus menjaga temperatur modul agar tetap rendah melalui ventilasi alami. Dengan demikian, geometri atap tradisional

tidak perlu dipandang sebagai kendala dalam penerapan teknologi energi modern, tetapi justru sebagai potensi yang telah tersedia sejak awal.

Pendekatan tersebut menjadi sangat relevan bagi kawasan tropis seperti Yogyakarta, yang menerima radiasi matahari relatif tinggi sepanjang tahun. Sebagaimana telah dibahas pada Subbab 3.1, evolusi iklim Yogyakarta menunjukkan bahwa radiasi global tahunan tetap tinggi dengan variasi musiman yang relatif kecil, meskipun amplitudo suhu harian semakin meningkat. Kondisi tersebut menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang paling potensial untuk diintegrasikan dengan bangunan.

Atas dasar tersebut, pembahasan pada subbab ini diarahkan untuk mengevaluasi potensi atap rumah Jawa sebagai panel surya arsitektural. Analisis tidak hanya difokuskan pada besarnya energi listrik yang dapat dihasilkan, tetapi juga pada hubungan antara geometri atap, orientasi bangunan, ventilasi alami, temperatur permukaan atap, dan efisiensi modul *photovoltaic*. Dengan pendekatan tersebut, atap rumah Jawa dipahami sebagai suatu sistem yang mampu menjalankan tiga fungsi secara bersamaan, yaitu sebagai pelindung iklim (*climate modifier*), pengendali kenyamanan termal (*thermal regulator*), dan penghasil energi (*energy generator*).

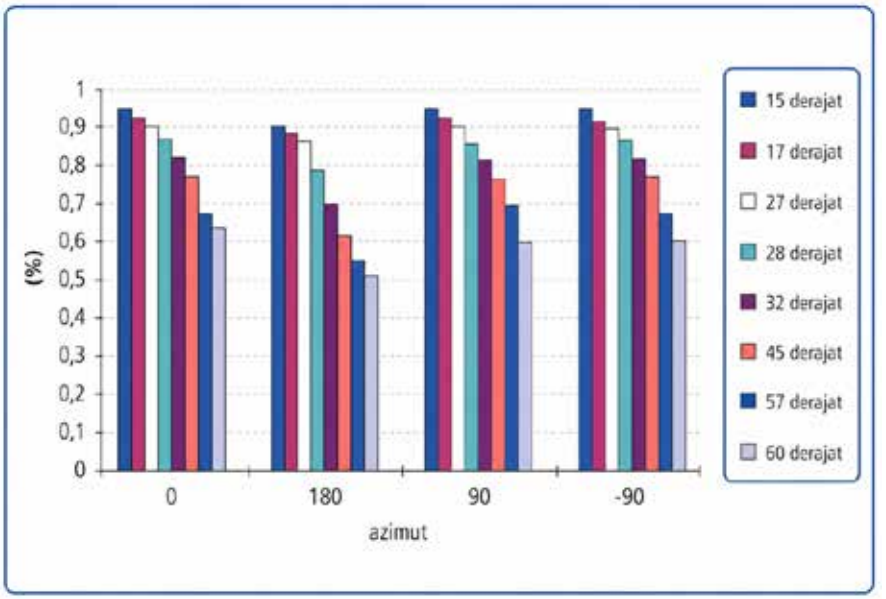
Pada akhirnya, pemanfaatan panel surya pada rumah Jawa bukan sekadar proses menempelkan teknologi modern pada bangunan tradisional. Yang lebih penting adalah memahami bagaimana prinsip-prinsip arsitektur yang telah berkembang selama berabad-abad dapat bersinergi dengan teknologi energi terbarukan masa kini. Di sinilah makna **Arunika di Atas Joglo** memperoleh relevansinya: cahaya matahari yang dahulu hanya menjadi bagian dari siklus alam kini menjadi bagian dari sistem arsitektur yang menghasilkan energi, tanpa kehilangan nilai budaya dan kecerdasan iklim yang telah diwariskan oleh arsitektur Nusantara.

3.4.2. ATAP RUMAH JAWA SEBAGAI KOLEKTOR SURYA AKTIF

Serangkaian simulasi dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kemiringan dan orientasi terhadap fraksi surya (*solar fraction*), intensitas radiasi yang diterima bidang kolektor (*global incident radiation*), serta energi yang dihasilkan pada luaran sistem (array energy output). Simulasi dilakukan pada beberapa variasi orientasi

bidang kolektor (0°, 90°, 180°, 270°) dengan sudut kemiringan antara 15° dan 60°. Hasil simulasi ditunjukkan pada **Gambar 77** hingga **Gambar 78.**

Gambar 71 memperlihatkan bahwa perubahan sudut kemiringan memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan perubahan orientasi. Pada kemiringan rendah (15°-32°), hampir seluruh orientasi menghasilkan fraksi surya yang tinggi (0,85-0,95). Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kebutuhan energi pengguna masih dapat dipenuhi oleh sistem surya. Akan tetapi, ketika sudut kemiringan dinaikkan hingga 45°, 57°, dan terutama 60°, fraksi surya mengalami penurunan yang cukup tajam pada hampir seluruh orientasi. Fenomena ini menunjukkan bahwa di wilayah tropis seperti Yogyakarta, bidang kolektor yang terlalu tegak menjadi kurang efektif karena sudut datang matahari sepanjang tahun relatif tinggi.



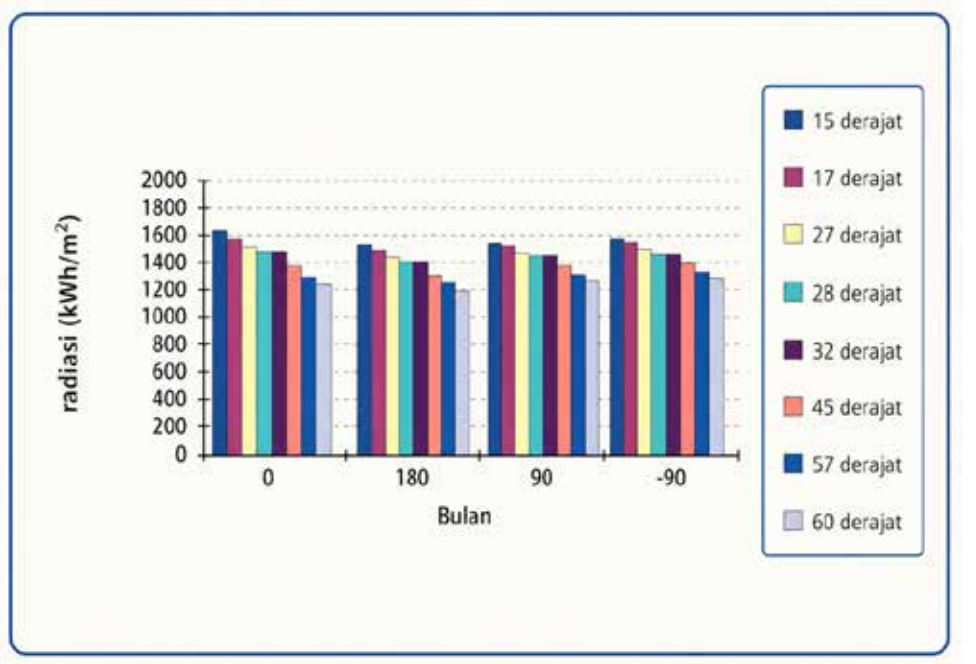
Gambar 71. *Solar fraction*
(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).

Analisis yang sama terlihat pada distribusi radiasi global yang diterima bidang kolektor. Seluruh konfigurasi dengan kemiringan rendah menerima intensitas radiasi yang relatif seragam, sedangkan peningkatan kemiringan menyebabkan radiasi efektif yang diterima kolektor semakin berkurang. Dengan kata lain, pada lintang rendah perubahan orientasi tidak menyebabkan perbedaan radiasi yang signifikan selama bidang kolektor tetap dipasang pada sudut kemiringan yang relatif landai. Temuan ini sangat penting karena memberikan fleksibilitas dalam penempatan

panel surya pada berbagai bentuk atap tradisional tanpa harus mengubah geometri bangunan secara drastis.

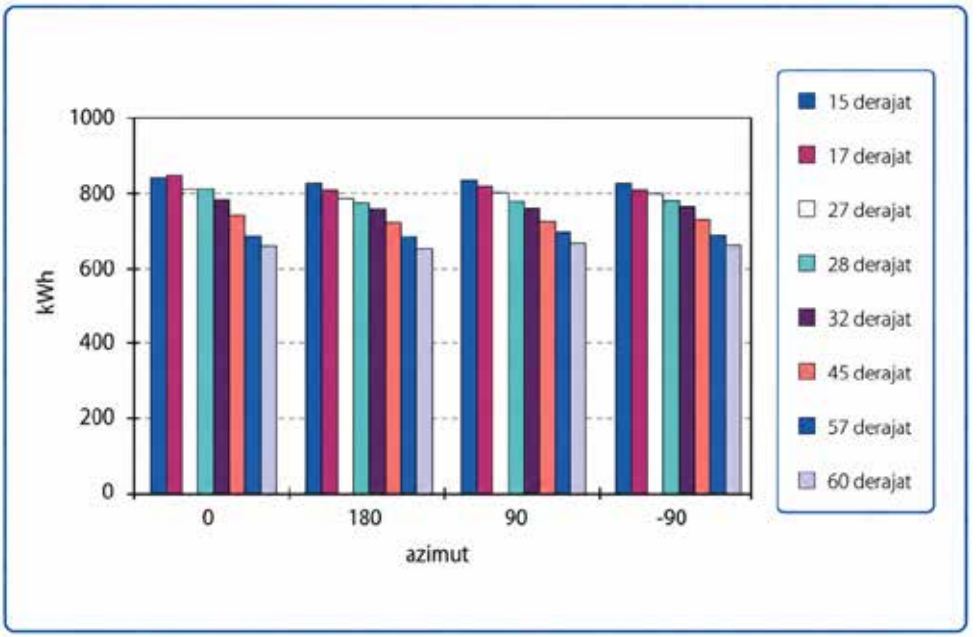
Hubungan tersebut semakin jelas pada **Gambar 73** sistem *(energy efficiency at the output of the array).* Penurunan sudut kemiringan menghasilkan peningkatan energi keluaran secara konsisten pada hampir seluruh orientasi. Rentang luaran energi akibat variasi kemiringan berkisar sekitar 194–275 kWh, sedangkan variasi akibat orientasi relatif lebih kecil. Dengan demikian, kemiringan bidang kolektor merupakan faktor dominan dalam menentukan produksi energi dibandingkan dengan orientasi bangunan.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa orientasi utara (0°) memberikan kinerja terbaik pada kemiringan rendah antara 15 hingga sekitar 32. Sebaliknya, pada kemiringan yang lebih besar (≥ 45°), orientasi timur mulai menunjukkan kinerja yang relatif lebih baik dibandingkan orientasi lainnya. Orientasi selatan (180°) merupakan konfigurasi yang menghasilkan energi terendah, terutama pada kemiringan tinggi. Kondisi ini sejalan dengan karakter lintasan matahari di belahan bumi selatan dekat khatulistiwa, di mana matahari lebih sering berada di sisi utara langit sepanjang tahun sehingga bidang kolektor yang menghadap utara memperoleh radiasi tahunan yang lebih besar.



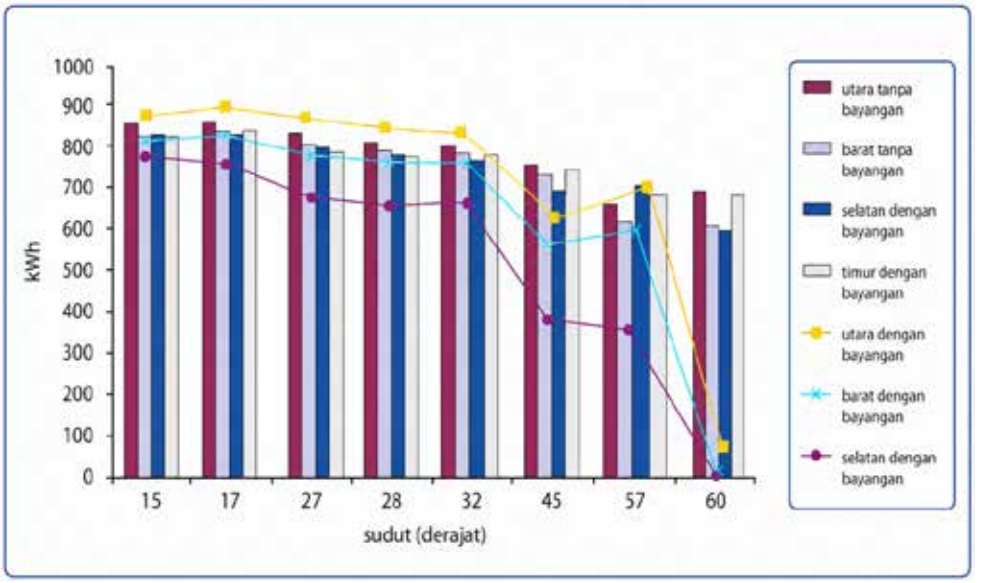
Gambar 72. Radiasi global yang diterima oleh bidang kolektor

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).



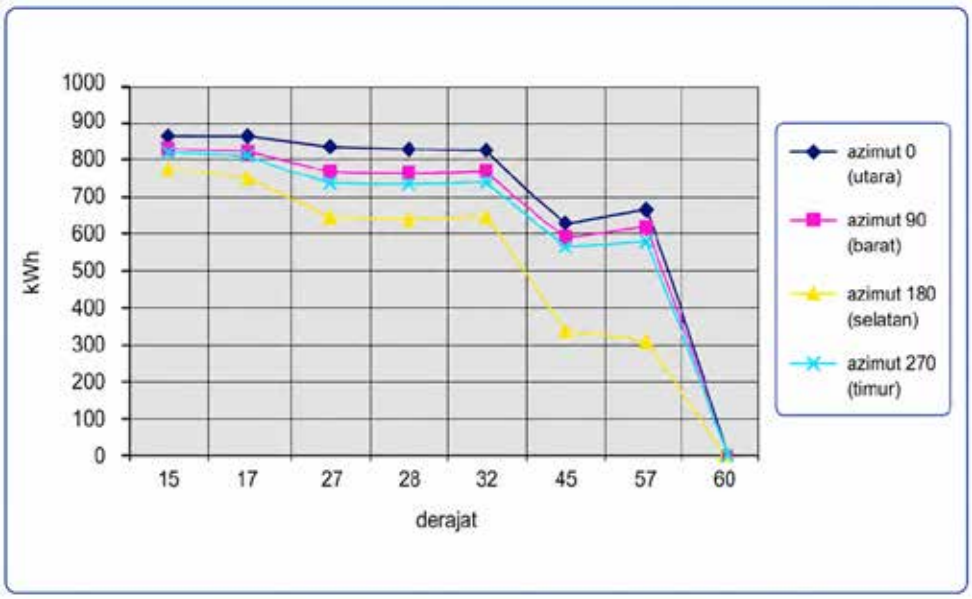
Gambar 73. Efisiensi energi keluaran modul *photovoltaic*

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).



Gambar 74. Efisiensi energi keluaran modul *photovoltaic* dengan dan tanpa bayangan

(Gambar direproduksi dengan bantuan ChatGPT).



Gambar 75. Efisiensi energi keluaran modul *photovoltaic* dengan bayangan

Temuan tersebut mempunyai implikasi langsung terhadap rumah tradisional Jawa. Orientasi bangunan tradisional umumnya ditentukan oleh pertimbangan budaya, tata ruang permukiman, maupun kosmologi, sehingga arah hadap bangunan sering kali tidak dapat diubah.

3.5. POTENSI PRODUKSI LISTRIK ATAP RUMAH JAWA

3.5.1. POTENSI GEOMETRI ATAP RUMAH JAWA UNTUK INTEGRASI *PHOTOVOLTAIC*

Efektivitas suatu sistem *photovoltaic* tidak hanya ditentukan oleh karakteristik modul surya yang digunakan, tetapi juga oleh geometri bidang tempat modul tersebut dipasang. Luas permukaan, orientasi terhadap lintasan matahari, sudut kemiringan, serta kondisi termal di sekitar modul merupakan faktor-faktor yang secara langsung memengaruhi jumlah energi matahari yang diterima dan efisiensi konversi energi listrik. Oleh karena itu, sebelum membahas potensi produksi energi, perlu dipahami terlebih dahulu bagaimana bentuk atap rumah Jawa menyediakan kondisi geometris yang mendukung penerapan teknologi *photovoltaic*.

Sebagaimana telah dibahas pada Subbab 3.2, setiap tipe atap rumah Jawa memiliki karakter geometris yang berbeda sehingga menghasilkan kemampuan

yang berbeda pula dalam menerima radiasi matahari. Analisis rasio luas permukaan atap terhadap luas lantai menunjukkan bahwa seluruh tipe atap tradisional memiliki bidang miring yang relatif luas dibandingkan dengan luas ruang yang dilindunginya. Bahkan pada beberapa tipe, luas bidang atap melebihi luas lantai bangunan. Kondisi ini merupakan keuntungan yang jarang dijumpai pada bangunan modern dengan atap datar, karena semakin luas bidang atap, semakin besar pula peluang untuk memasang modul *photovoltaic* tanpa mengurangi fungsi ruang di bawahnya.

Keuntungan berikutnya berasal dari bentuk bidang atap yang terdiri atas beberapa bidang miring dengan orientasi yang berbeda. Pada rumah Joglo, misalnya, bidang atap tidak hanya menghadap ke timur dan barat, tetapi juga memiliki bidang-bidang yang menghadap ke utara dan selatan. Konfigurasi tersebut menyebabkan penerimaan radiasi matahari berlangsung lebih merata sepanjang hari. Ketika satu bidang atap menerima intensitas radiasi maksimum pada pagi hari, bidang lainnya mulai menerima radiasi yang lebih besar menjelang siang hingga sore. Dengan demikian, produksi energi listrik tidak hanya bergantung pada satu orientasi bidang atap, tetapi tersebar pada beberapa bidang yang saling melengkapi sesuai dengan pergerakan semu matahari.

Karakter ini berbeda dengan sistem panel surya pada bangunan beratap datar yang umumnya memerlukan struktur tambahan untuk memperoleh sudut kemiringan optimum. Pada rumah Jawa, sudut kemiringan tersebut telah terbentuk sebagai bagian dari ekspresi arsitektural. Kemiringan atap yang relatif curam memungkinkan modul menerima radiasi matahari dengan sudut datang yang lebih baik pada sebagian besar waktu penyinaran sekaligus membantu proses pembersihan permukaan modul oleh air hujan. Dengan demikian, bentuk atap tradisional telah menyediakan kondisi geometris yang mendukung kinerja panel surya tanpa memerlukan perubahan bentuk bangunan secara signifikan.

Selain luas permukaan dan orientasi, volume ruang di bawah atap juga memiliki arti penting dalam sistem *photovoltaic*. Berbeda dengan kolektor panas matahari, efisiensi panel *photovoltaic* justru menurun ketika temperatur modul meningkat. Sebagian besar modul silikon kristalin mengalami penurunan efisiensi sekitar 0,3–0,5 % untuk setiap kenaikan temperatur modul sebesar 1 °C di atas temperatur operasi standar. Oleh karena itu, kemampuan atap untuk menjaga temperatur permukaan tetap rendah merupakan salah satu faktor penting dalam meningkatkan produksi energi.

3.5.2. SIMULASI PRODUKSI ENERGI SURYA PADA ATAP RUMAH JAWA

Potensi geometris atap rumah Jawa sebagai media pemasangan panel surya perlu dibuktikan melalui pendekatan kuantitatif. Meskipun seluruh tipe atap memiliki bidang miring yang luas, kemampuan masing-masing dalam menghasilkan energi listrik tidak selalu sama. Perbedaan orientasi bidang atap, kemiringan, luas efektif pemasangan modul, hingga terbentuknya bayangan antar bidang (*self-shading*) akan memengaruhi jumlah radiasi matahari yang diterima setiap modul *photovoltaic*. Oleh karena itu, evaluasi kinerja atap tidak dapat dilakukan hanya berdasarkan bentuk geometrinya, tetapi harus dianalisis sebagai suatu sistem yang berinteraksi dengan kondisi iklim setempat.

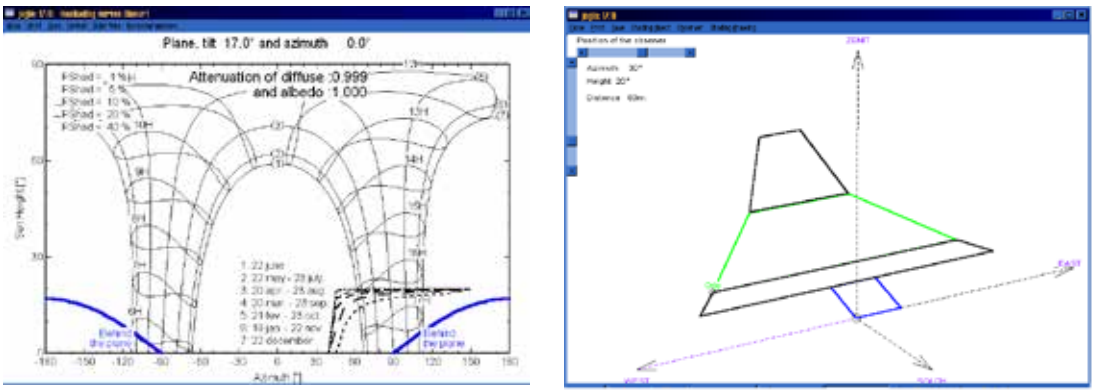
Untuk memperoleh gambaran tersebut, setiap model atap rumah Jawa disimulasikan menggunakan model tiga dimensi dengan program PVSyst. Pendekatan ini memungkinkan hubungan antara bentuk bangunan, ventilasi alami, dan potensi produksi energi dianalisis secara terpadu. Dengan menggunakan lokasi Yogyakarta sebagai acuan iklim, simulasi menghitung besarnya radiasi matahari yang diterima setiap bidang atap sepanjang tahun, kemudian mengonversinya menjadi estimasi produksi energi listrik berdasarkan karakteristik modul *photovoltaic* yang digunakan.

Berbeda dengan simulasi ventilasi yang berfokus pada distribusi temperatur dan aliran udara di dalam bangunan, simulasi *photovoltaic* menitikberatkan pada interaksi antara geometri atap dan distribusi penerimaan foton dari cahaya matahari. Perubahan posisi matahari sepanjang hari menyebabkan setiap bidang atap menerima fluks foton yang berbeda, bergantung pada orientasi, kemiringan, dan kemungkinan terjadinya pembayangan oleh bagian atap lainnya. Bidang yang memperoleh paparan cahaya lebih besar akan menghasilkan lebih banyak pasangan *electron-hole* di dalam sel *photovoltaic* sehingga energi listrik yang dihasilkan juga meningkat. Oleh karena itu, produktivitas sistem *photovoltaic* tidak hanya ditentukan oleh luas bidang atap, tetapi juga oleh kemampuan geometri atap mengoptimalkan penerimaan cahaya matahari sepanjang tahun.

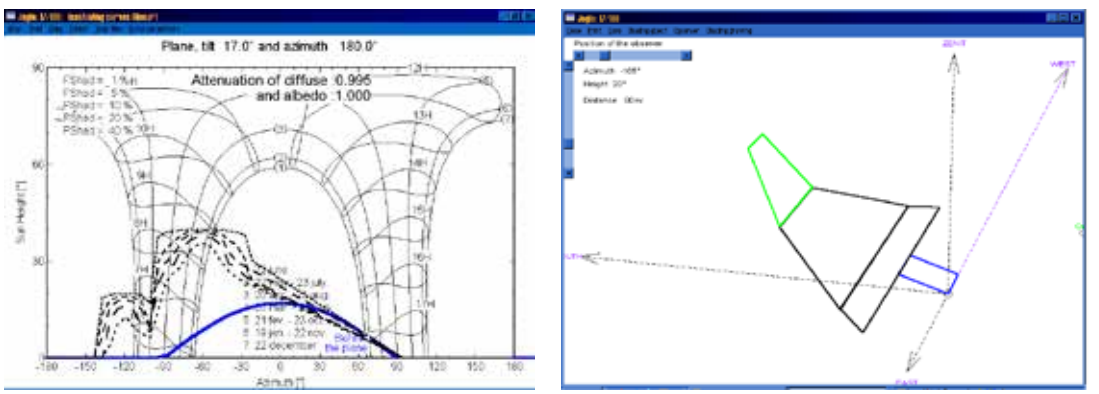
Selain orientasi, simulasi juga memperhitungkan pengaruh kemiringan bidang atap terhadap jumlah cahaya matahari yang diterima modul *photovoltaic*. Kemiringan bidang atap menentukan sudut datang cahaya ke permukaan panel sehingga memengaruhi banyaknya foton yang dapat diserap oleh sel *photovoltaic* dan selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Dalam konteks atap bangunan

di wilayah tropis untuk memproduksi energi listrik, penentuan sudut kemiringan diarahkan untuk memperoleh penerimaan cahaya matahari yang relatif seimbang sepanjang tahun seiring perubahan lintasan semu matahari.

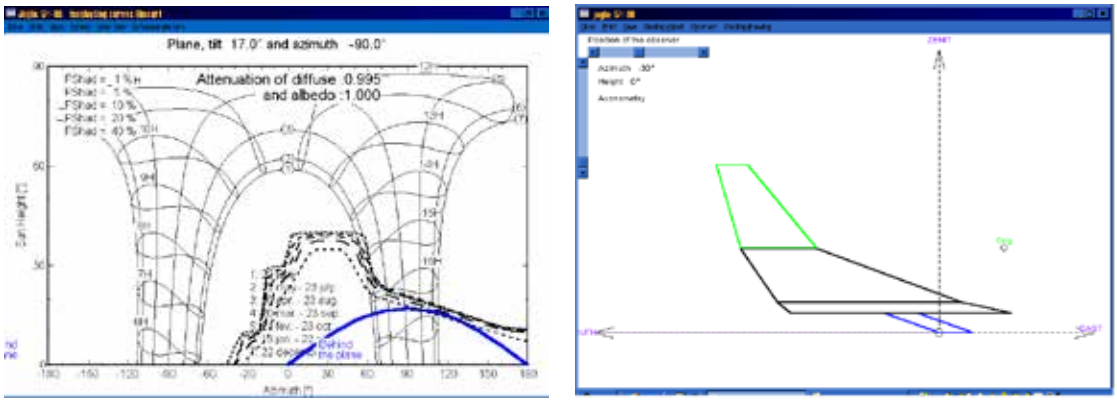
Faktor lain yang dianalisis adalah *self-shading*, yaitu pembayangan yang ditimbulkan oleh satu bagian atap terhadap bidang atap lainnya. Pada atap bertingkat seperti Joglo dan Tajug, fenomena ini merupakan konsekuensi alami dari keberadaan brunjung yang memiliki elevasi lebih tinggi daripada bidang atap di sekelilingnya. Pembayangan tersebut mengurangi jumlah cahaya matahari yang mencapai sebagian modul *photovoltaic* pada waktu-waktu tertentu sehingga jumlah foton yang dapat dikonversi menjadi energi listrik juga berkurang. Namun demikian, berkurangnya penyinaran secara bersamaan juga menurunkan pemanasan modul, sehingga temperatur operasinya menjadi lebih rendah. Karena efisiensi sel *photovoltaic* dipengaruhi oleh temperatur modul, pengaruh *self-shading* tidak selalu bersifat merugikan. Dalam kondisi tertentu, pengurangan penerimaan cahaya pada sebagian waktu dapat diimbangi oleh peningkatan efisiensi akibat pendinginan alami.



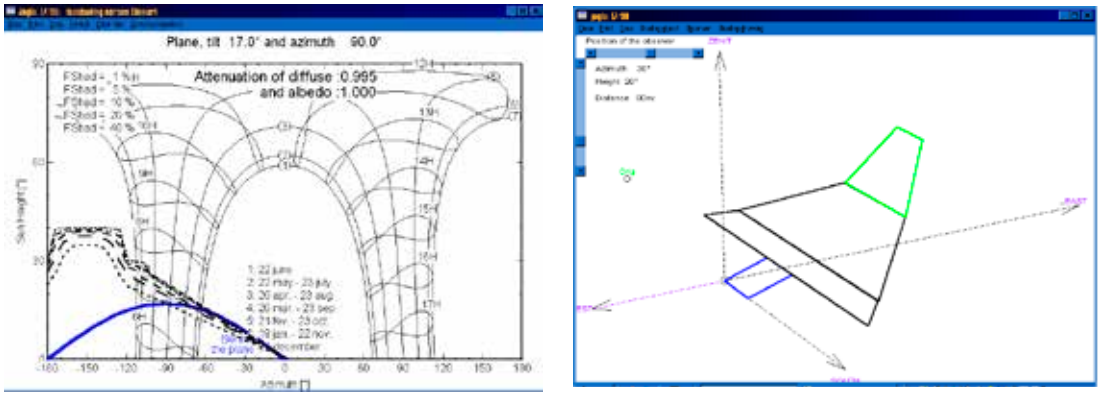
Gambar 76. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – utara



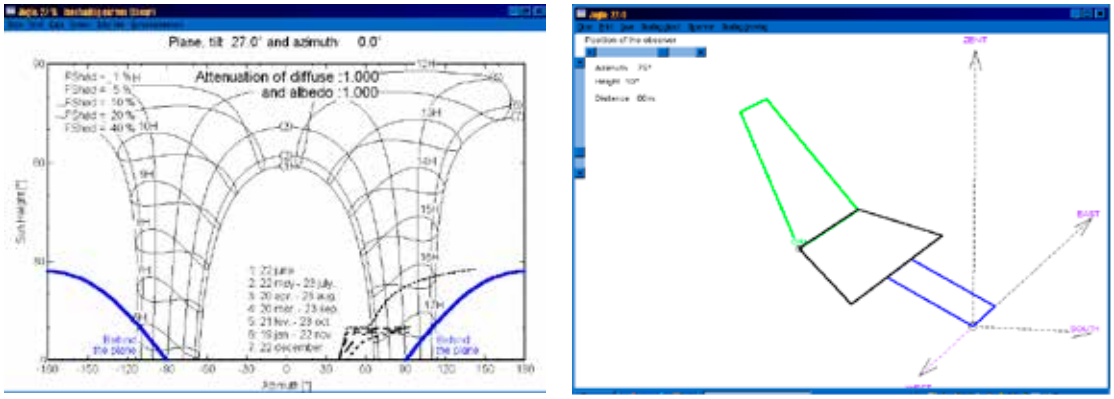
Gambar 77. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – selatan



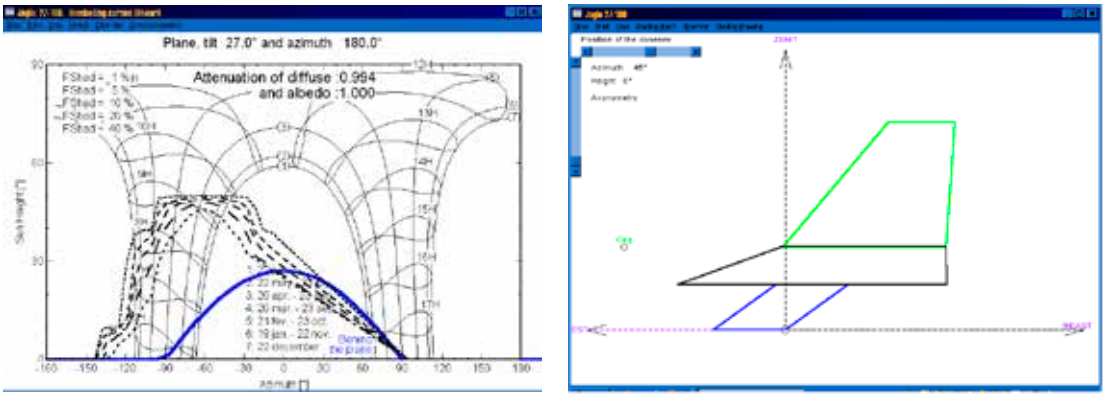
Gambar 78. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – timur



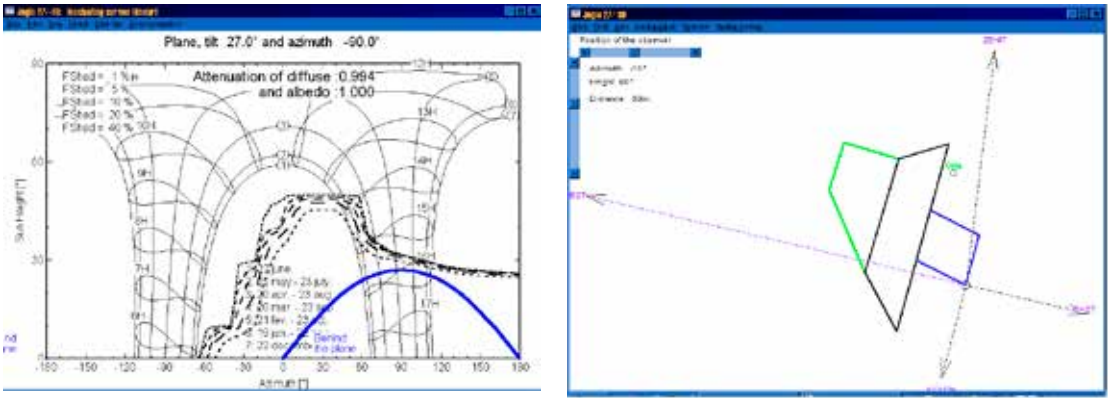
Gambar 79. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 17^0 – barat



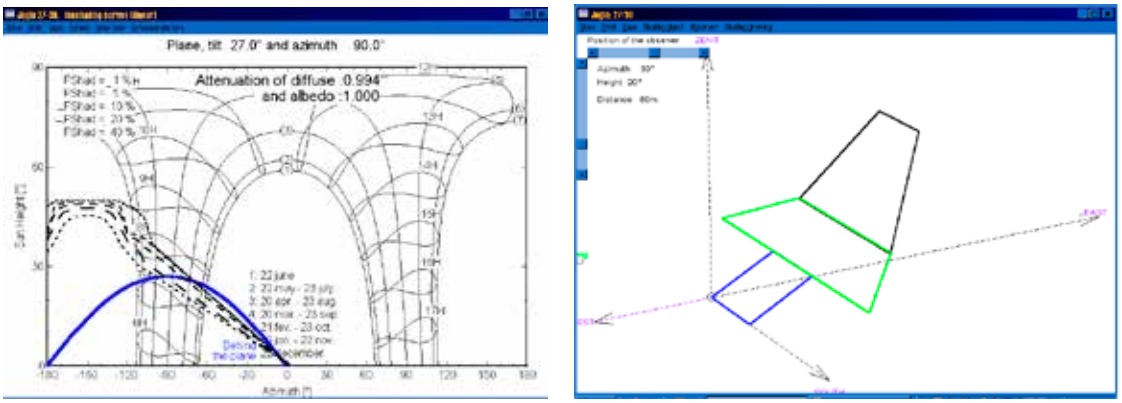
Gambar 80. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – utara



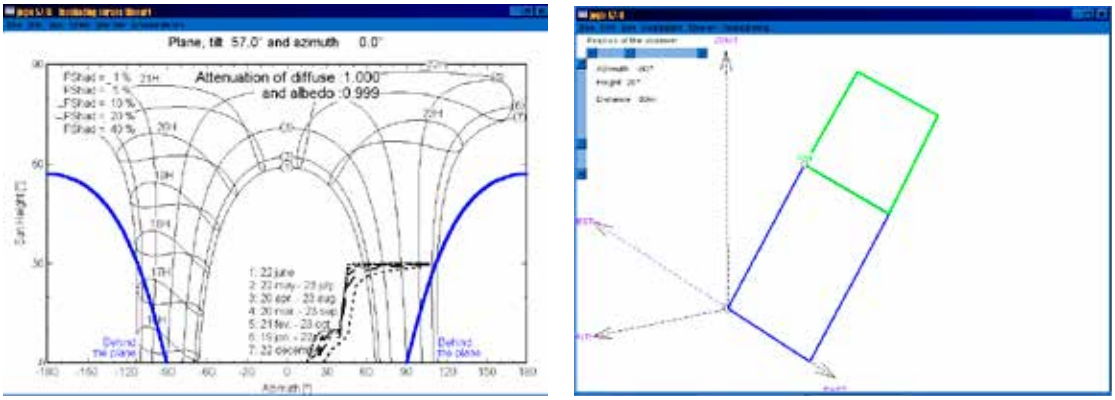
Gambar 81. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – selatan



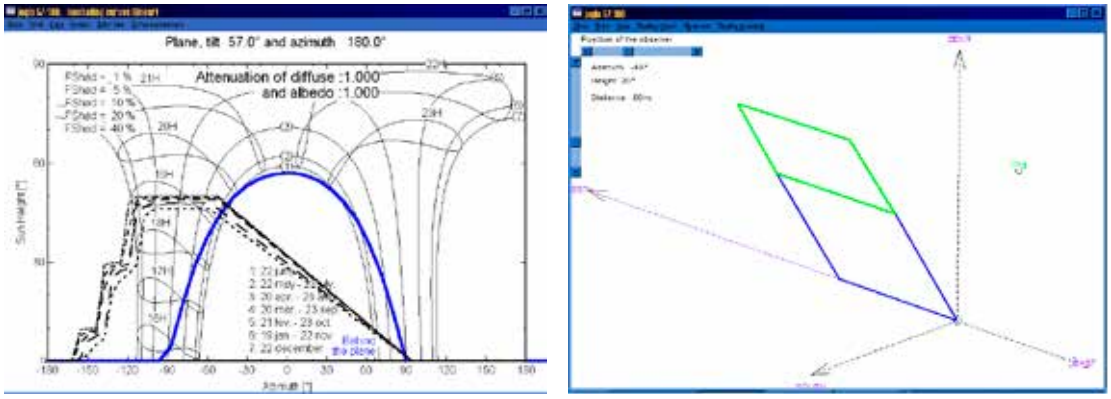
Gambar 82. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – timur



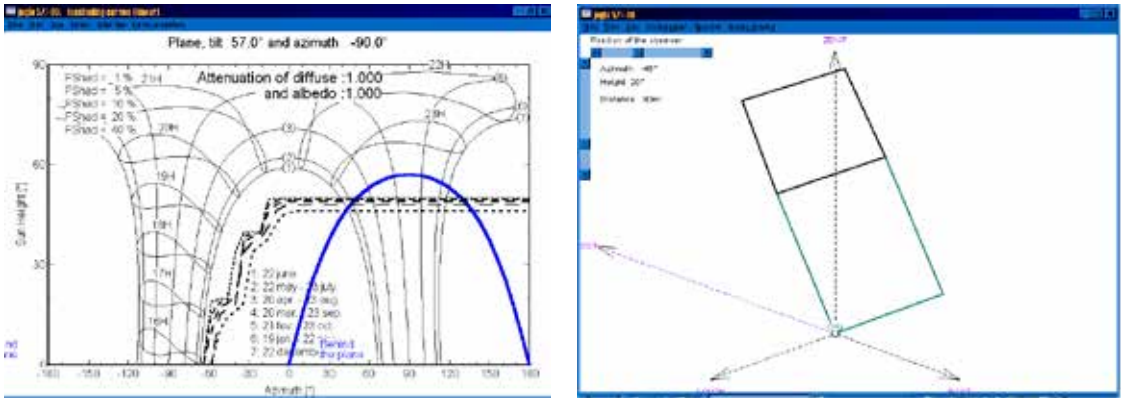
Gambar 83. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 27^0 – barat



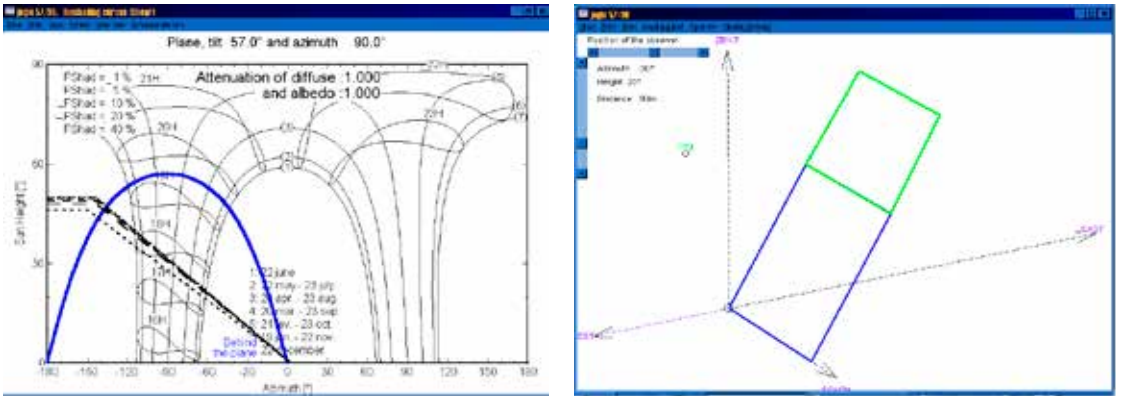
Gambar 84. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo 57^0 – utara



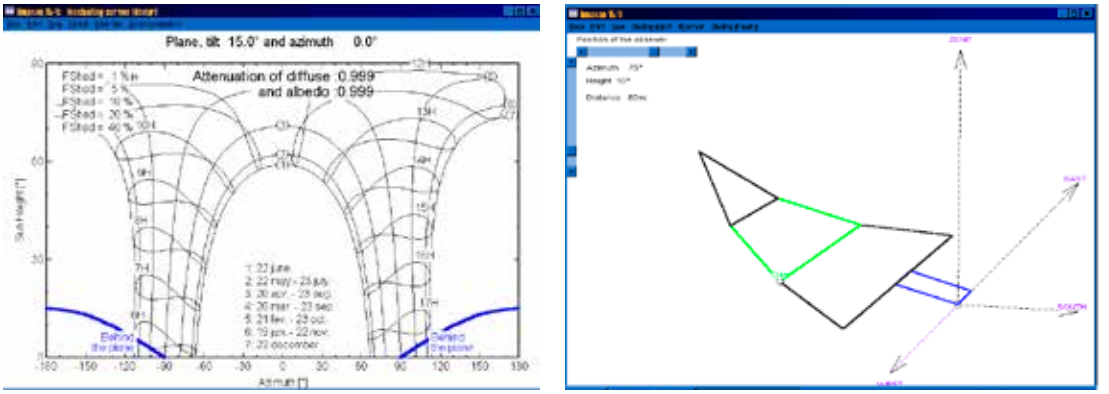
Gambar 85. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo Joglo 57^0 – selatan



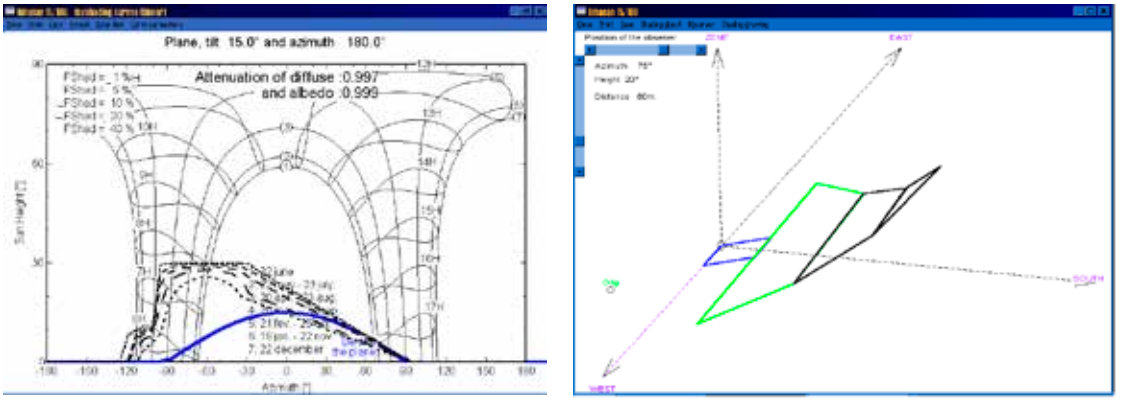
Gambar 86. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo Joglo 57^0 – timur



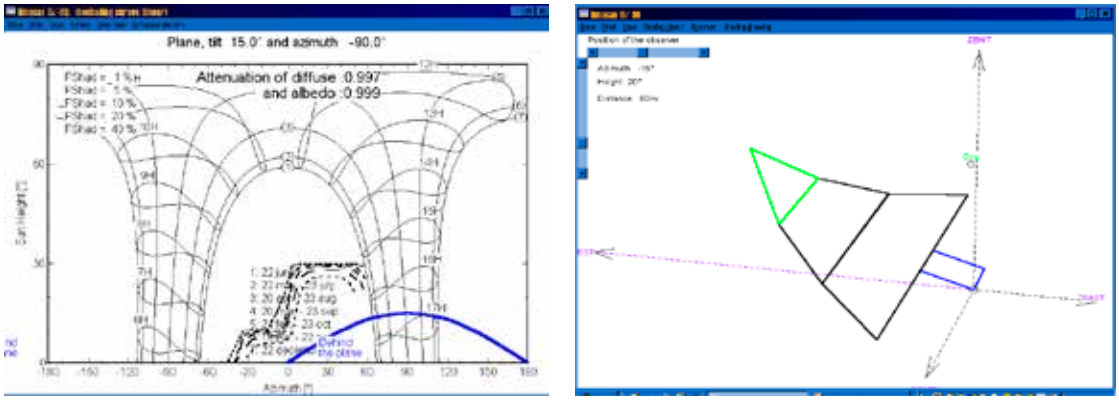
Gambar 87. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Joglo Joglo 57^0 – barat



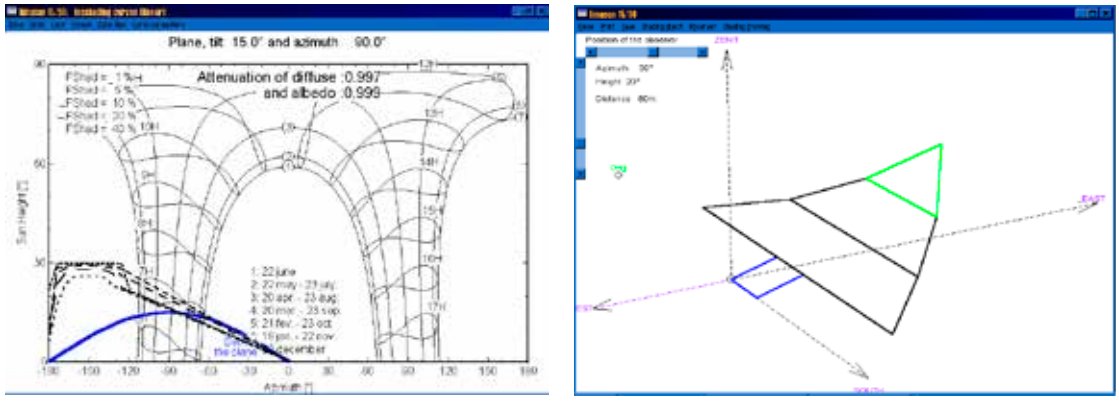
Gambar 88. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – utara



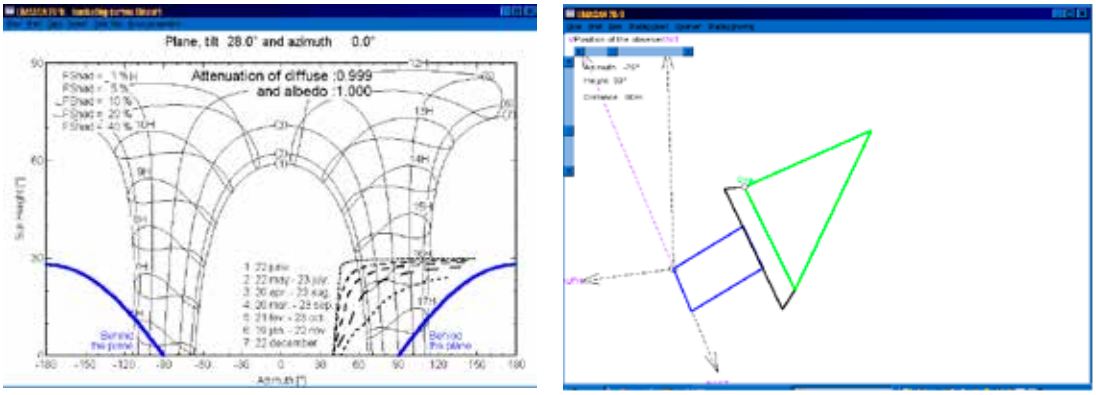
Gambar 89. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – selatan



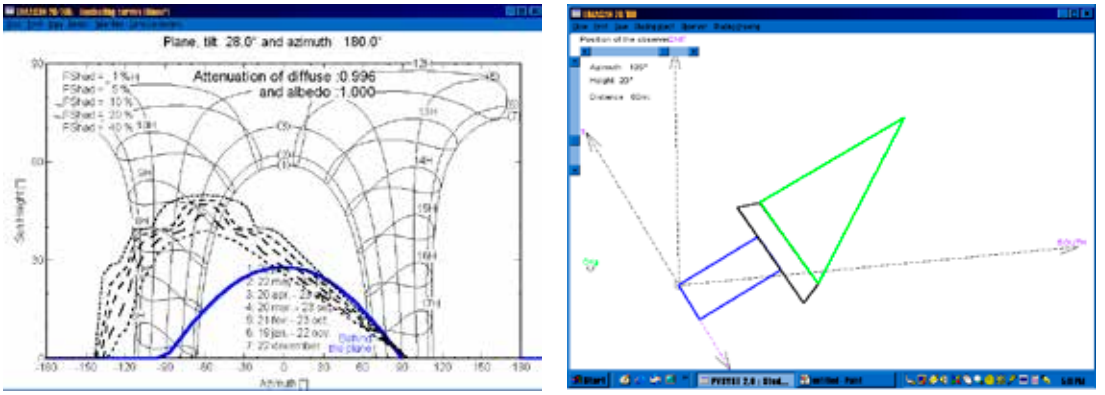
Gambar 90. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – timur



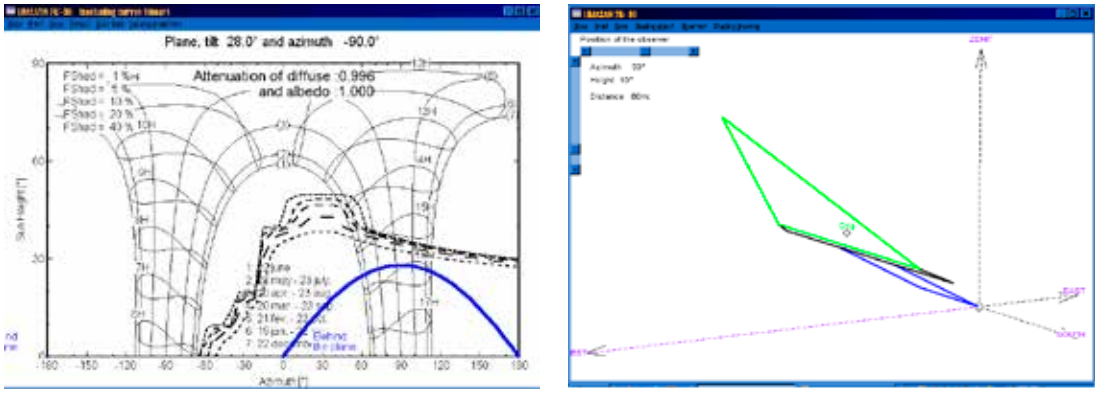
Gambar 91. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 15^0 – barat



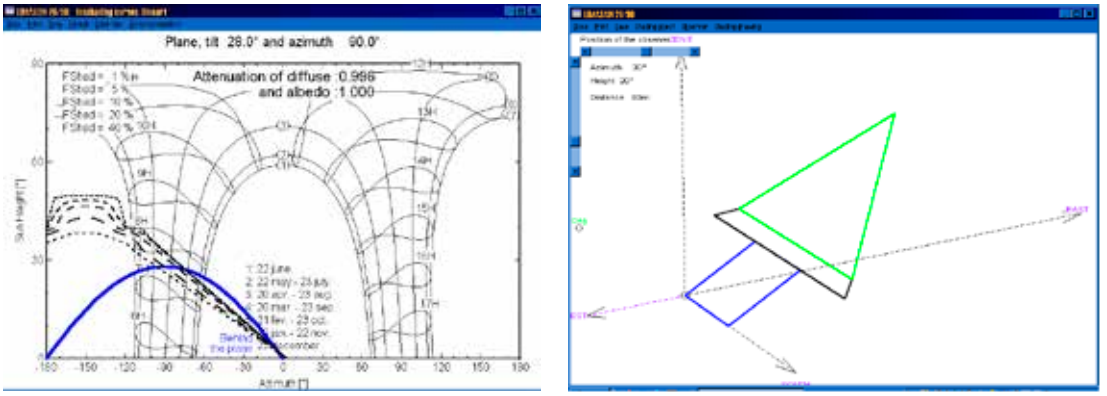
Gambar 92. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – utara



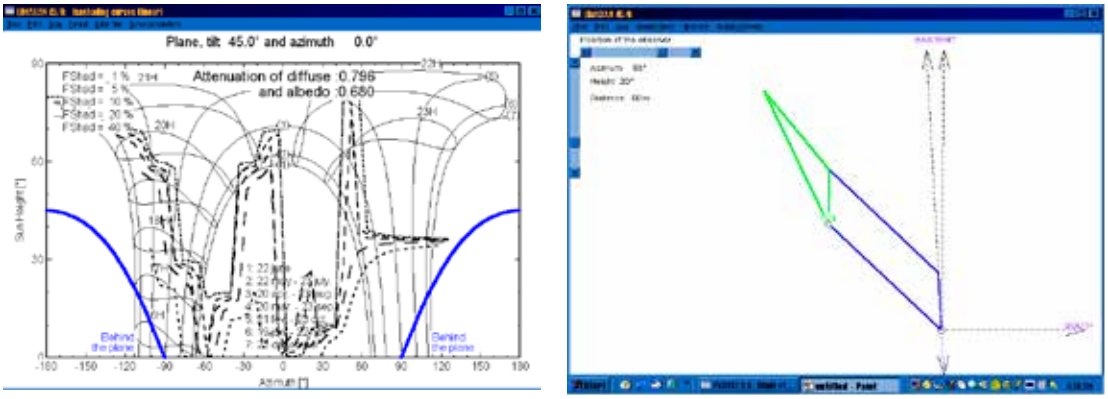
Gambar 93. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – selatan



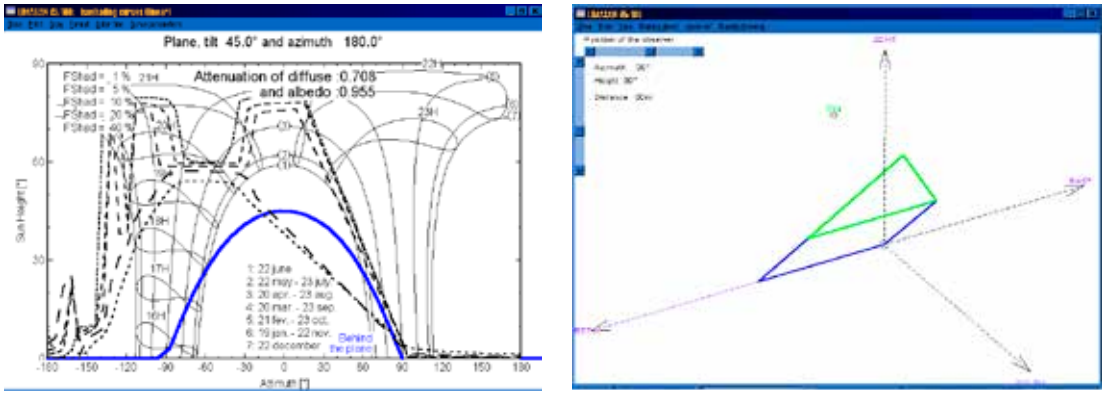
Gambar 94. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – timur



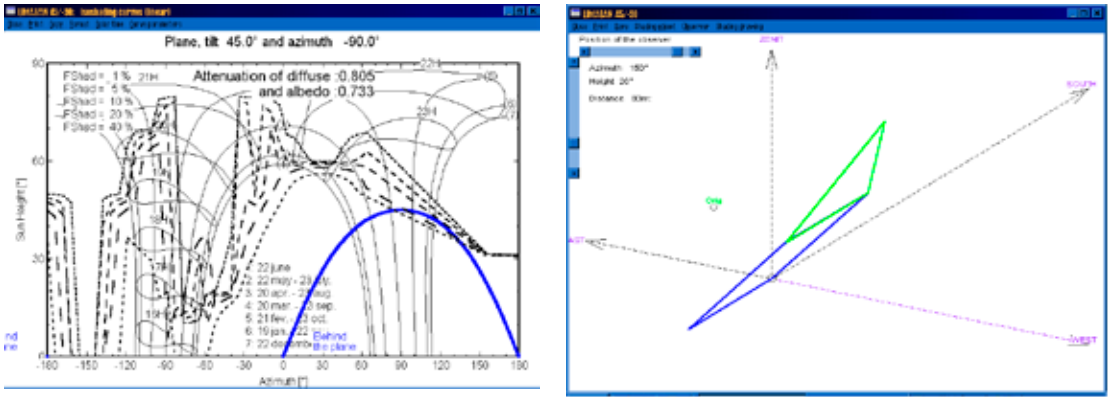
Gambar 95. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 28^0 – barat



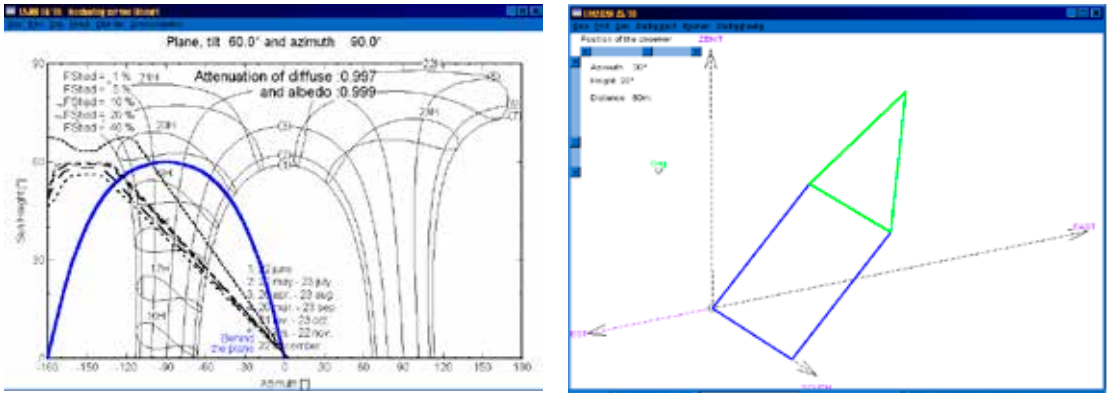
Gambar 96. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 45^0 – utara



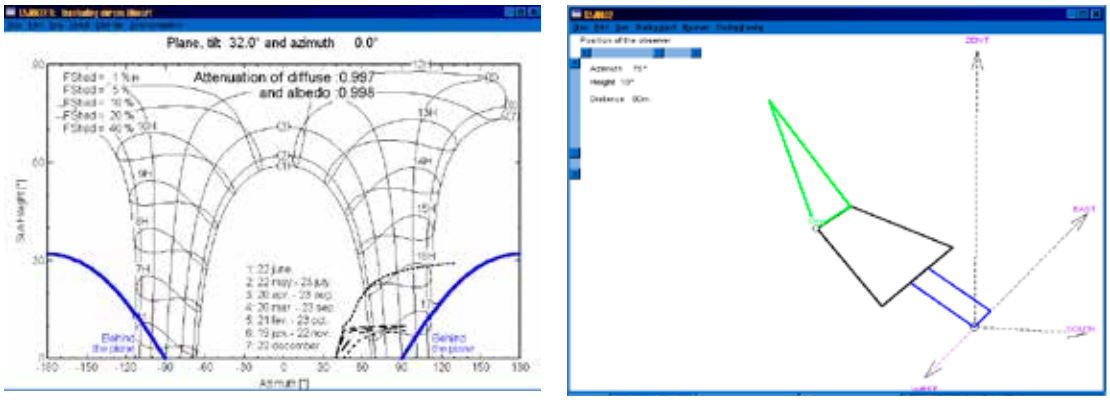
Gambar 97. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 45^0 – selatan



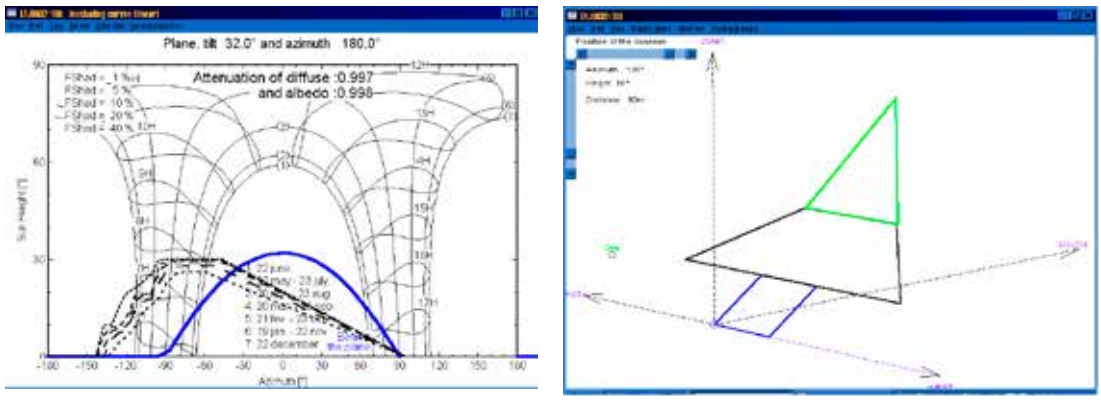
Gambar 98. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Limasan 45^0 – timur



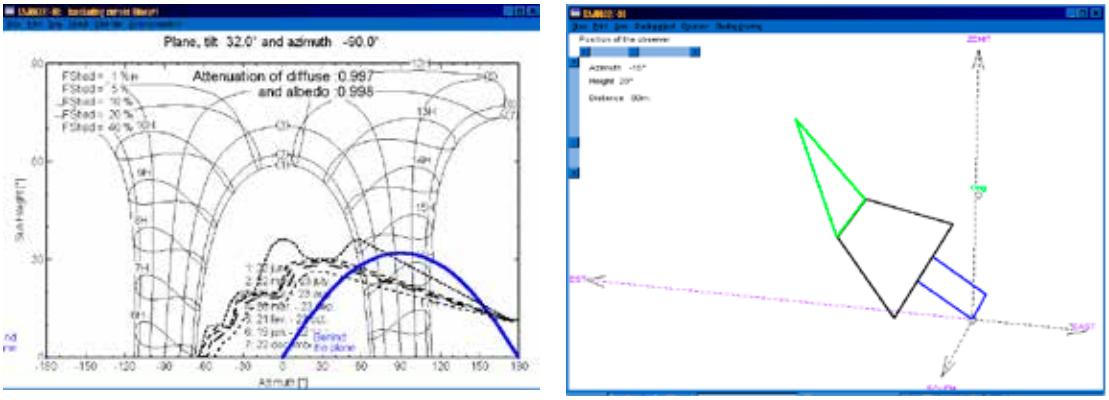
Gambar 99. Kurva penghalang pada bidang kolektor photovoltaic pada atap Limasan 45^0 – barat



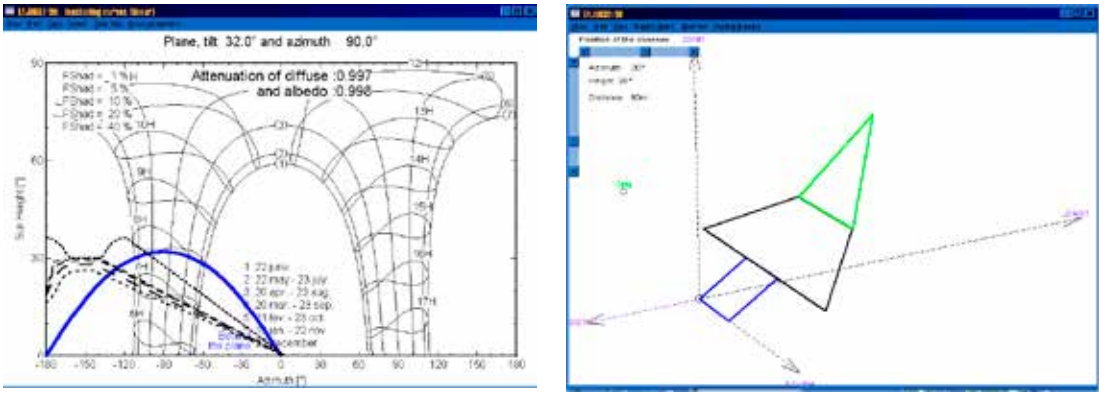
Gambar 100. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – utara



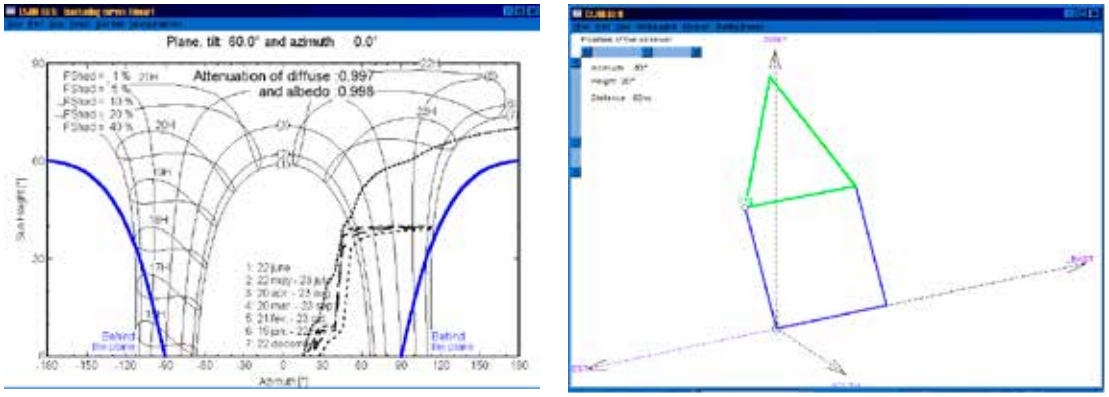
Gambar 101. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – selatan



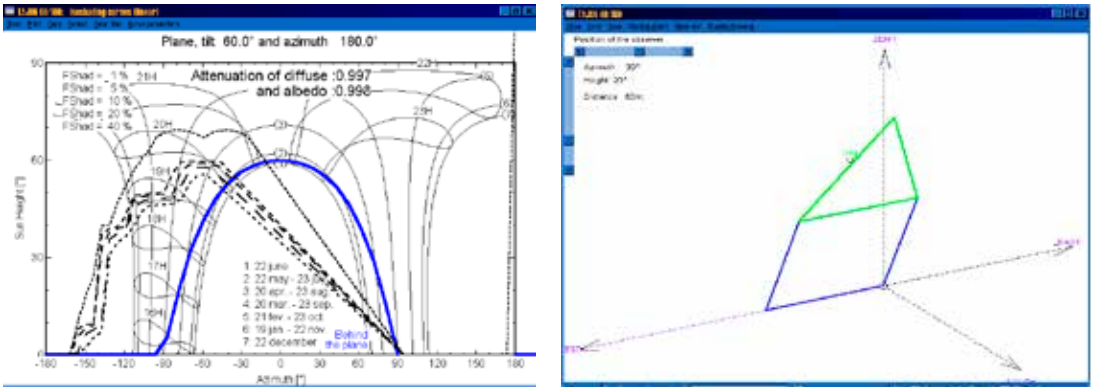
Gambar 102. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – timur



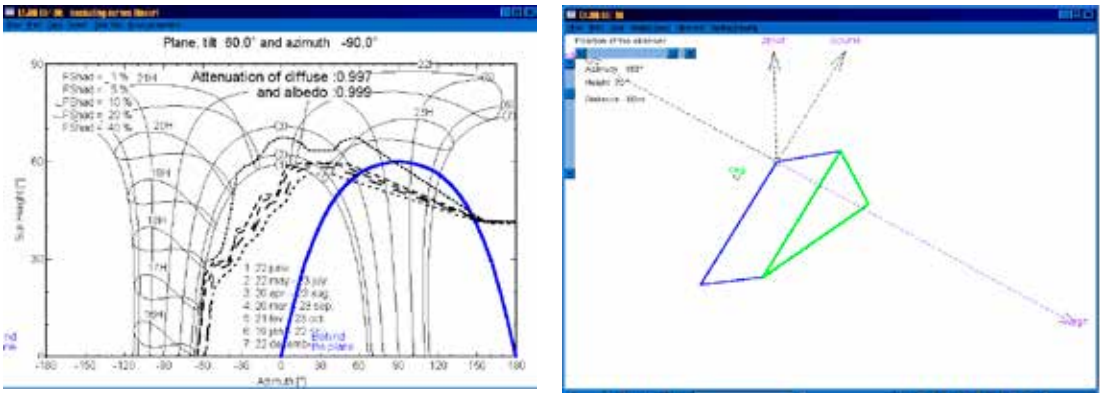
Gambar 103. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 32^0 – barat



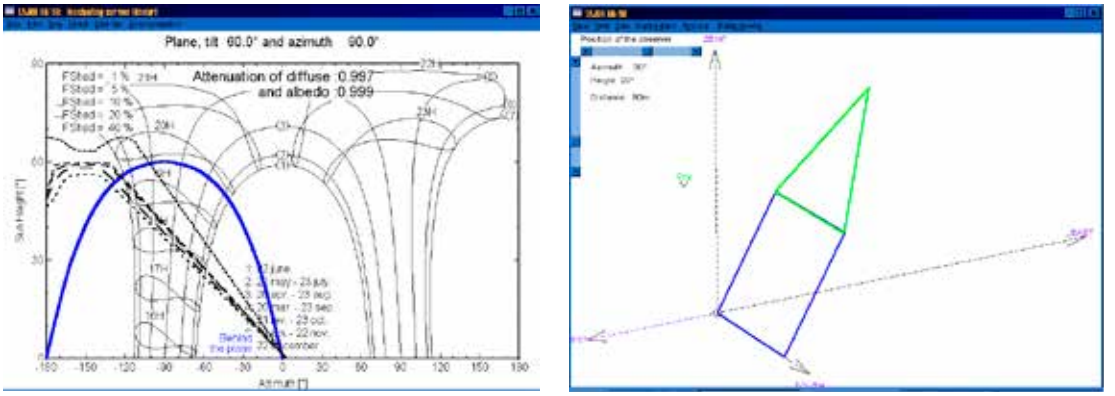
Gambar 104. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – utara



Gambar 105. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – selatan



Gambar 106. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – timur



Gambar 107. Kurva penghalang pada bidang kolektor *photovoltaic* pada atap Tajug 60^0 – barat

Aspek yang tidak kalah penting adalah kondisi termal di sekitar modul *photovoltaic*. Sebagaimana telah dibahas pada Subbab 3.3, ventilasi alami yang berkembang di bawah bidang atap mampu mempercepat pelepasan udara panas melalui mekanisme efek cerobong. Aliran udara tersebut tidak hanya meningkatkan kenyamanan ruang di bawah atap, tetapi juga membantu menjaga temperatur permukaan atap tetap lebih rendah. Dalam sistem *photovoltaic*, kondisi ini menjadi keuntungan karena efisiensi panel surya sangat dipengaruhi oleh temperatur modul. Semakin rendah temperatur modul selama penerimaan cahaya matahari, semakin tinggi pula energi listrik yang dapat dihasilkan. Dengan demikian, simulasi yang dilakukan seharusnya tidak hanya mengevaluasi kemampuan atap menangkap radiasi matahari, tetapi juga memperlihatkan hubungan antara geometri atap, ventilasi alami, dan kinerja panel surya.

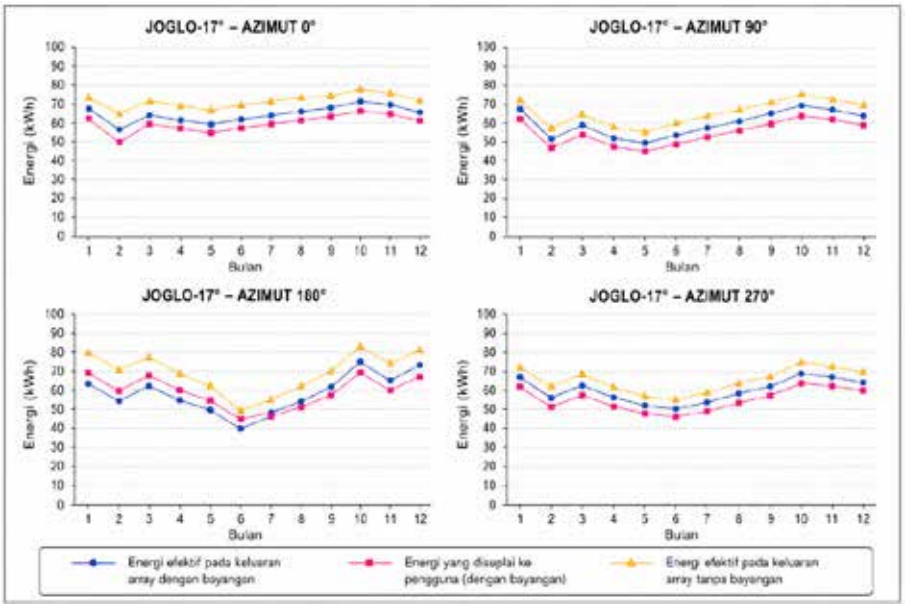
3.5.3. PENGARUH BENTUK ATAP TERHADAP PRODUKSI ENERGI SURYA

Hasil simulasi menunjukkan bahwa bentuk geometris atap memberikan pengaruh yang nyata terhadap kemampuan bangunan menghasilkan energi listrik dari matahari. Walaupun seluruh tipe rumah Jawa memiliki bidang atap yang cukup luas untuk pemasangan modul *photovoltaic*, produktivitas energi yang dihasilkan tidak sepenuhnya ditentukan oleh luas permukaan tersebut. Orientasi bidang atap, sudut kemiringan, proporsi bidang yang memperoleh penyinaran langsung, serta pembayangan yang terjadi antar bidang atap menjadi faktor yang secara bersama menentukan besarnya energi yang dapat dikonversi menjadi listrik.

Secara umum, simulasi memperlihatkan bahwa bidang atap yang menerima cahaya matahari secara merata sepanjang hari menghasilkan keluaran energi yang lebih stabil dibandingkan dengan bidang yang hanya menerima penyinaran maksimum pada waktu tertentu. Pada kondisi iklim Yogyakarta, variasi posisi matahari sepanjang tahun relatif kecil karena letaknya yang berada di wilayah tropis. Oleh sebab itu, distribusi orientasi bidang atap menjadi lebih penting daripada pencarian sudut kemiringan optimum sebagaimana lazim dilakukan pada kawasan subtropik. Bentuk atap rumah Jawa yang terdiri atas beberapa bidang miring dengan orientasi berbeda memberikan keuntungan berupa penyebaran penerimaan radiasi sepanjang hari sehingga fluktuasi produksi energi dapat dikurangi.

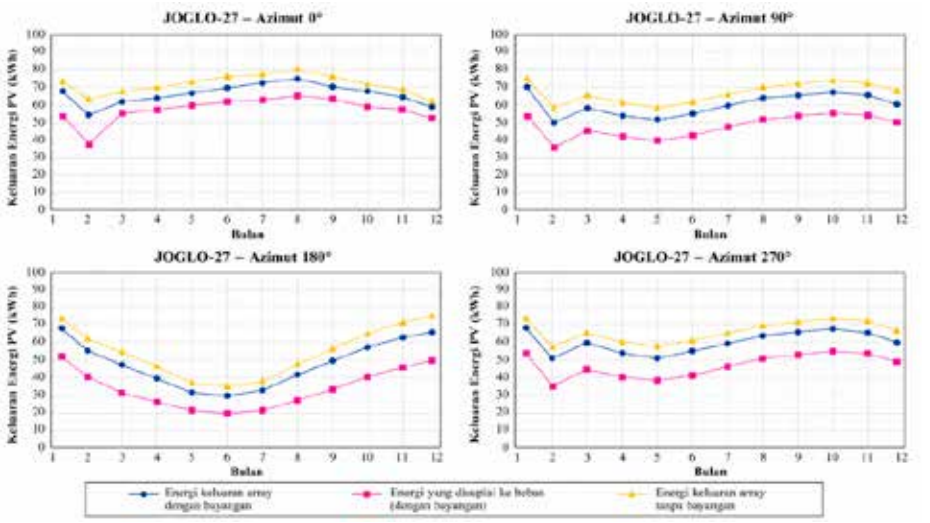
Pada atap **JOGLO**, karakteristik geometris atap menghasilkan interaksi yang kompleks antara orientasi bidang atap, lintasan matahari, dan fenomena *self-shading*. Oleh karena itu, produktivitas sistem *photovoltaic* tidak hanya ditentukan oleh luas bidang pemasangan, tetapi juga oleh kombinasi kemiringan atap dan arah hadap modul. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan kedua parameter tersebut memberikan pengaruh lebih besar dibandingkan dengan pengaruh pembayangan internal bangunan itu sendiri pada beberapa konfigurasi tertentu.

Pada kemiringan 17°, seluruh orientasi masih menghasilkan luaran energi tahunan yang relatif tinggi. **Gambar 79** memperlihatkan bahwa kurva luaran energi dengan dan tanpa pembayangan hampir saling berhimpit pada azimut 0° (menghadap utara), 90° (menghadap timur), dan 270° (menghadap barat), menunjukkan bahwa pengaruh *self-shading* sangat kecil. Perbedaan mulai terlihat pada azimut 180° (menghadap selatan), ketika bidang atap menghadap ke selatan sehingga menerima pembayangan lebih lama pada pagi hari akibat massa atap bertingkat. Walaupun demikian, kehilangan energi tahunan masih relatif terbatas sehingga konfigurasi ini dapat dianggap cukup toleran terhadap variasi orientasi. Pola musiman juga memperlihatkan produksi energi yang tinggi pada periode ketika posisi matahari berada di sekitar khatulistiwa (September-Oktober) dan menurun pada bulan Juni ketika sudut datang radiasi terhadap bidang kolektor menjadi kurang optimum.



Gambar 108. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Joglo dengan kemiringan 17° pada berbagai orientasi

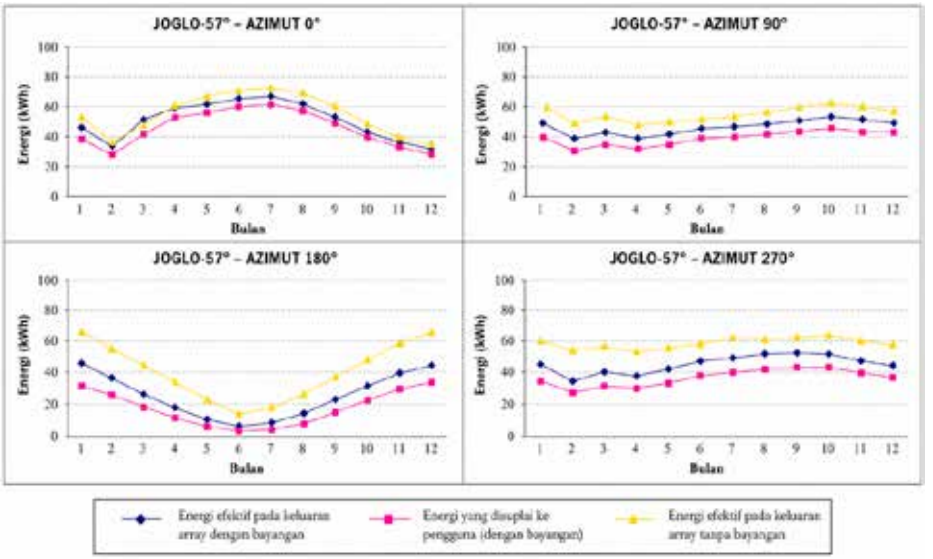
Pada kemiringan 27°, sensitivitas terhadap orientasi mulai meningkat. Gambar 80 menunjukkan bahwa azimut 0° masih mempertahankan kinerja yang hampir identik antara kondisi dengan dan tanpa pembayangan, sedangkan azimut 90° dan terutama 180° mengalami deviasi yang lebih besar. Kurva luaran energi pada azimut 180° memperlihatkan jarak yang semakin lebar terhadap kondisi tanpa pembayangan, terutama pada pertengahan tahun ketika posisi matahari berada di belahan bumi utara. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kemiringan menyebabkan bidang kolektor menjadi lebih rentan terhadap bayangan yang dibentuk oleh brunjung dan bidang atap di atasnya. Sebaliknya, orientasi 270° masih mempertahankan kinerja yang relatif baik karena pembayangan terutama terjadi pada sore hari ketika intensitas radiasi telah menurun.



Gambar 109. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Joglo dengan kemiringan 27° pada berbagai orientasi

Pengaruh orientasi menjadi jauh lebih nyata pada kemiringan 57°. Gambar 81 menunjukkan bahwa perbedaan antara luaran energi dengan dan tanpa pembayangan semakin besar, terutama pada orientasi ke selatan. Pada konfigurasi ini terjadi penurunan produksi energi yang sangat signifikan selama pertengahan tahun karena bidang kolektor lebih sering berada dalam kondisi membelakangi lintasan matahari sekaligus mengalami pembayangan dari bagian atap lainnya. Sebaliknya, orientasi ke utara tetap menunjukkan karakteristik yang paling stabil dengan selisih yang sangat kecil antara kondisi berbayang dan tidak berbayang. Orientasi ke timur dan barat berada pada kondisi menengah, di mana kehilangan energi meningkat, namun masih lebih rendah dibandingkan dengan orientasi ke

selatan. Kondisi ini memperlihatkan bahwa semakin besar sudut kemiringan modul, semakin penting pemilihan orientasi terhadap lintasan matahari tahunan.



Gambar 110. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Joglo dengan kemiringan 57° pada berbagai orientasi

Jika ketiga variasi kemiringan dibandingkan secara keseluruhan, terlihat adanya kecenderungan yang konsisten. Pertama, peningkatan sudut kemiringan menyebabkan penurunan produktivitas energi tahunan karena bidang kolektor menerima radiasi efektif dalam rentang waktu yang lebih sempit. Kedua, pengaruh *self-shading* meningkat seiring bertambahnya kemiringan akibat bertambahnya tinggi relatif antar bidang atap Joglo. Ketiga, orientasi utara merupakan konfigurasi yang paling stabil terhadap pembayangan, sedangkan orientasi selatan merupakan konfigurasi yang paling sensitif terhadap kehilangan energi. Temuan ini juga menunjukkan bahwa orientasi timur dan barat menghasilkan kinerja yang relatif seimbang karena kehilangan energi hanya terjadi pada salah satu periode harian ketika intensitas penyinaran matahari sudah tidak maksimum.

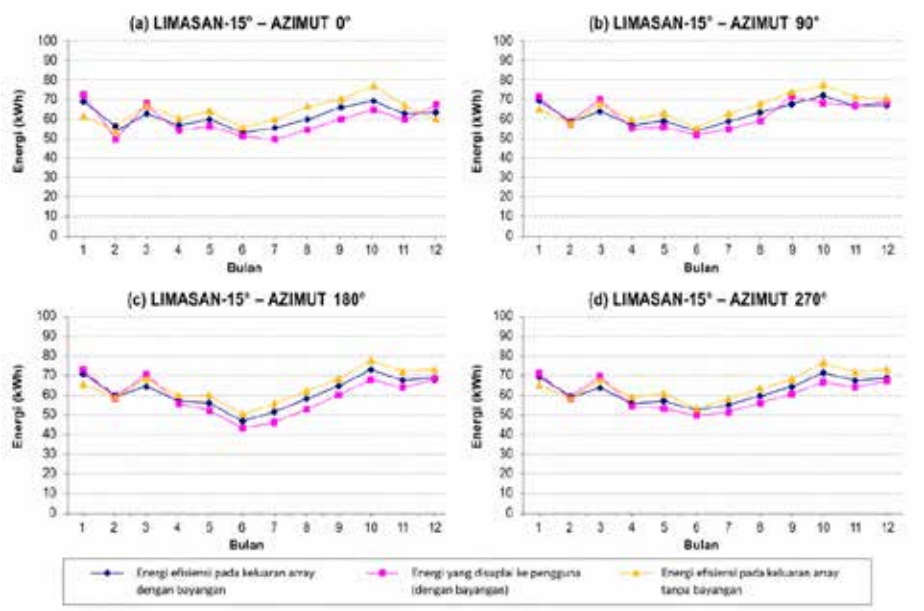
Dari perspektif perancangan bangunan, hasil tersebut mengindikasikan bahwa karakter atap Joglo sebenarnya cukup mendukung integrasi sistem *photovoltaic* apabila pemilihan bidang pemasangan dilakukan secara selektif. Bidang dengan kemiringan rendah hingga sedang (≤ 17° hingga ≤ 27°) yang menghadap utara atau mendekati utara memberikan kompromi terbaik antara penerimaan penyinaran matahari dan minimnya pengaruh *self-shading*. Sebaliknya,

pemasangan modul pada bidang yang sangat curam dan menghadap ke selatan sebaiknya dihindari karena kombinasi orientasi yang kurang menguntungkan dan *self-shading* menyebabkan penurunan produktivitas energi yang cukup besar.

Pada atap LIMASAN, geometri atap memberikan karakteristik yang relatif menguntungkan sebagai bidang pemasangan modul *photovoltaic*. Dibandingkan dengan bentuk atap tradisional yang memiliki banyak tingkat dan perbedaan kemiringan, Limasan terdiri atas empat bidang utama dengan kemiringan yang seragam sehingga menghasilkan distribusi pancaran matahari yang lebih merata dan potensi *self-shading* yang lebih kecil. Kondisi ini menyebabkan produksi energi tahunan lebih stabil serta perbedaan antara luaran sistem tanpa pembayang dan dengan pembayang relatif kecil, terutama pada kemiringan atap yang rendah. Gambar simulasi menunjukkan bahwa perubahan orientasi lebih memengaruhi besarnya produksi energi dibandingkan dengan perubahan pola fluktuasi bulanannya, yang secara umum tetap mengikuti pergerakan semu tahunan matahari.

Pada kemiringan 15°, seluruh arah hadap (azimut) masih menunjukkan kinerja energi yang relatif tinggi dengan selisih yang kecil antara kondisi tanpa peneduh dan dengan *self-shading*. hal ini mengindikasikan bahwa kemiringan yang landai mampu meminimalkan pembayangan antar bidang atap sehingga sebagian besar kehilangan energi hanya terjadi pada pagi atau sore hari ketika paparan cahaya matahari memang sudah rendah.

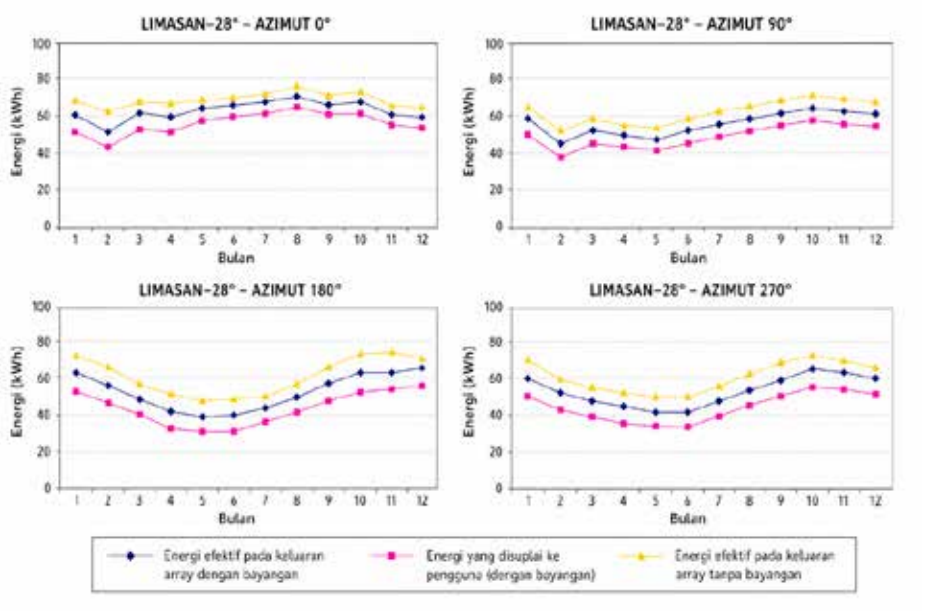
Gambar 82 memperlihatkan bahwa azimut 0°, 90°, dan 270° menghasilkan kurva produksi yang hampir berimpit antara kondisi dengan dan tanpa pembayangan, sedangkan azimut 180° mulai memperlihatkan deviasi yang lebih nyata akibat pembayangan pada pagi hari. Walaupun demikian, kehilangan energi tahunan masih relatif kecil sehingga secara praktis keempat orientasi masih layak digunakan. Produksi energi cenderung meningkat pada periode sekitar September-November ketika lintasan matahari melintasi sekitar khatulistiwa dan sudut datang matahari lebih tegak terhadap bidang kolektor. Sebaliknya, penurunan produksi terjadi pada pertengahan tahun ketika sudut elevasi matahari terhadap bidang tertentu menjadi kurang optimum. Pola tersebut menunjukkan bahwa pada kemiringan rendah, pengaruh orientasi lebih dominan dibandingkan pengaruh *self-shading*.



Gambar 111. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Limasan dengan kemiringan 15° pada berbagai orientasi

Peningkatan kemiringan menjadi 28° mulai memperlihatkan konsekuensi geometris terhadap kinerja sistem. Meskipun produksi energi masih cukup tinggi, jarak antara kurva luaran tanpa pembayangan dan dengan pembayangan mulai membesar pada beberapa orientasi. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan sudut kemiringan memperbesar peluang terjadinya pembayangan antar bidang atap, terutama pada saat sudut datang matahari rendah.

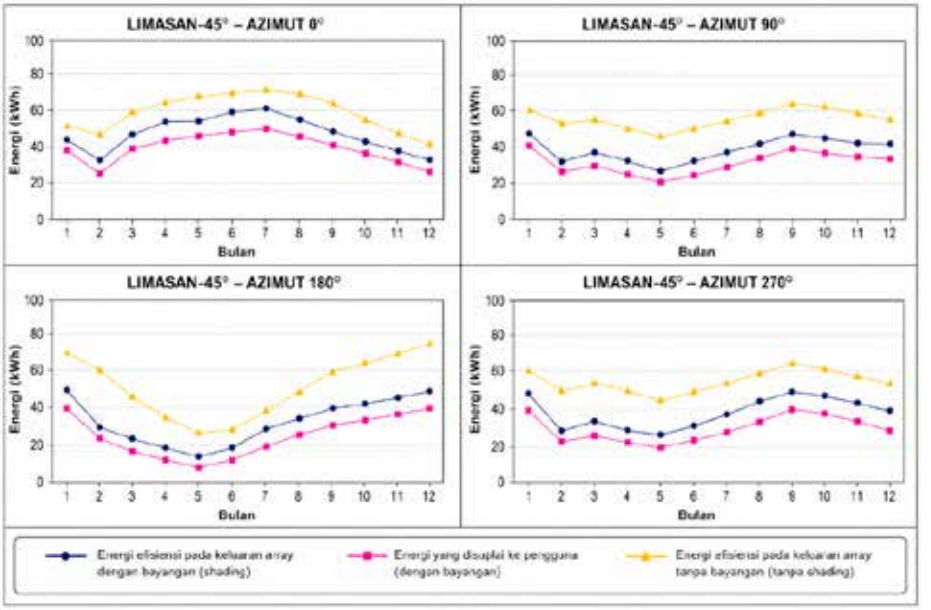
Orientasi azimut 0° masih mempertahankan performa yang relatif baik karena kehilangan energi akibat pembayangan hanya terjadi menjelang sore, ketika kontribusi cahaya matahari terhadap energi harian telah menurun. Sebaliknya, arah hadap ke timur dan barat memperlihatkan penurunan yang lebih konsisten akibat pembayangan pada dini hari. Kondisi paling kritis terjadi pada arah hadap selatan, yang menunjukkan penurunan luaran paling besar selama periode pertengahan tahun. Gambar 83 memperlihatkan bahwa walaupun pola musiman tetap sama, jarak antara kurva luaran dengan dan tanpa pembayangan semakin besar dibandingkan dengan kemiringan 15°, menandakan meningkatnya pengaruh geometri atap terhadap kinerja sistem *photovoltaic*.



Gambar 112. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Limasan dengan kemiringan 28° pada berbagai orientasi

Kemiringan 45° memberikan perubahan karakter yang paling jelas. Pada kondisi ini, *self-shading* menjadi faktor dominan yang mengendalikan produksi energi. Seluruh grafik menunjukkan jarak yang semakin lebar antara luaran tanpa pembayangan dan luaran aktual, terutama pada orientasi 90° dan 180°. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemiringan menyebabkan sebagian bidang atap lebih sering saling menaungi selama lintasan harian matahari.

Azimut 180° merupakan kondisi dengan performa terendah karena bidang kolektor mengalami pembayangan dalam durasi yang lebih panjang. Penurunan produksi tidak hanya terjadi pada pagi atau sore hari, tetapi juga mulai memengaruhi periode ketika paparan cahaya masih tinggi. Sebaliknya, orientasi 0° dan 270° masih mempertahankan produksi yang lebih baik meskipun kehilangan energi akibat pembayangan meningkat dibandingkan dengan kemiringan yang lebih rendah.



Gambar 113. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Limasan dengan kemiringan 45° pada berbagai orientasi

Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemiringan tidak selalu menghasilkan produksi energi yang lebih besar. Pada bentuk atap Limasan, keuntungan berupa peningkatan sudut datang matahari dapat terkompensasi bahkan terlampaui oleh meningkatnya *self-shading*. Oleh karena itu, optimasi sistem *photovoltaic* pada bangunan tradisional tidak hanya bergantung pada orientasi panel terhadap matahari, tetapi juga harus mempertimbangkan hubungan geometris antar bidang atap yang menjadi sumber *self-shading*.

Ketiga kelompok simulasi menunjukkan kecenderungan yang konsisten. Pada kemiringan rendah (15°), pengaruh *self-shading* hampir dapat diabaikan sehingga orientasi azimut menjadi faktor utama yang menentukan produksi energi. Ketika kemiringan meningkat menjadi 28°, pengaruh pembayangan mulai terlihat, namun masih berada pada tingkat moderat. Pada kemiringan 45°, *self-shading* berkembang menjadi faktor pembatas utama yang menurunkan luaran sistem secara signifikan.

Dengan demikian, bentuk atap Limasan memberikan kinerja *photovoltaic* terbaik ketika dikombinasikan dengan kemiringan rendah hingga sedang dan orientasi yang meminimalkan bayangan antar bidang atap. Dari perspektif desain bangunan berkelanjutan, hasil ini menegaskan bahwa optimasi sistem *photovoltaic* pada arsitektur tradisional tidak cukup dilakukan hanya melalui penyesuaian orientasi

terhadap lintasan matahari, tetapi juga harus mempertimbangkan konfigurasi geometris atap agar kehilangan energi akibat *self-shading* dapat diminimalkan.

Atap **Kampung** memiliki konfigurasi yang paling sederhana, terdiri atas dua bidang miring yang saling berhadapan. Kesederhanaan bentuk ini menjadikan distribusi cahaya sangat dipengaruhi oleh orientasi bangunan. Salah satu bidang akan menerima cahaya matahari lebih besar dibandingkan dengan bidang lainnya, sehingga produksi energi menjadi lebih bergantung pada arah hadap bangunan. Walaupun demikian, tidak adanya pembayangan antar bidang memberikan keuntungan berupa penerimaan cahaya penuh pada saat bidang tersebut menghadap matahari. Karakter ini menunjukkan bahwa atap Kampung memiliki potensi energi yang baik apabila orientasi bangunan disesuaikan dengan kondisi penyinaran setempat.

Berbeda dengan tipe Joglo, Limasan, dan Kampung, atap **TAJUG** memiliki bentuk piramidal dengan empat bidang atap yang simetris dan bertemu pada satu titik puncak. Geometri ini menghasilkan distribusi penyinaran yang relatif merata pada setiap orientasi bidang atap sehingga tidak terdapat satu bidang yang secara konsisten mendominasi penerimaan cahaya matahari (foton) sepanjang tahun. Namun demikian, luas masing-masing bidang atap relatif lebih kecil dan keberadaan puncak bangunan meningkatkan potensi *self-shading*, terutama pada sudut kemiringan yang curam. Oleh karena itu, kinerja sistem *photovoltaic* pada atap Tajug sangat dipengaruhi oleh kombinasi orientasi bidang atap dan kemiringan modul.

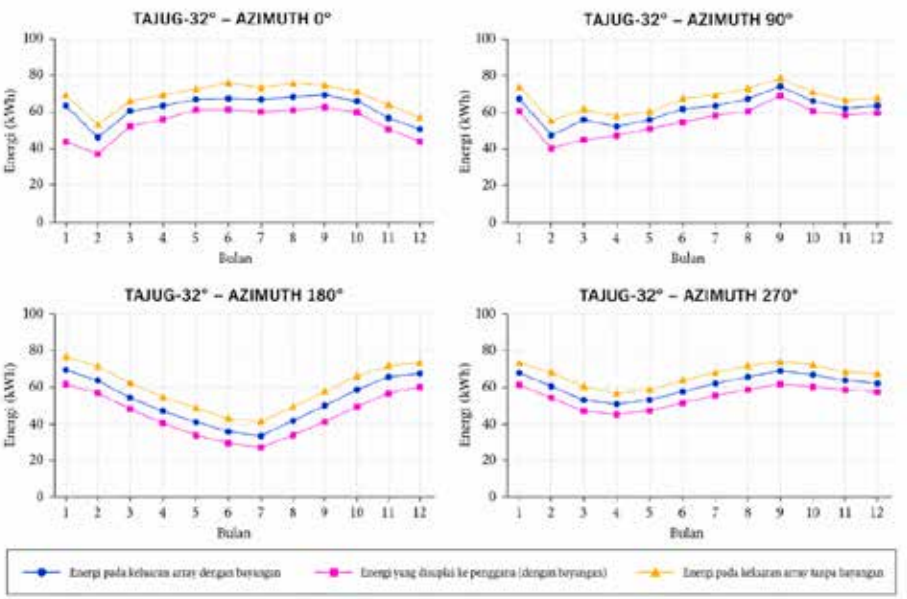
Pada kemiringan 32°, pengaruh *self-shading* relatif kecil sehingga kurva produksi energi dengan dan tanpa bayangan hampir berimpit pada sebagian besar orientasi. Hal ini menunjukkan bahwa geometri Tajug dengan kemiringan sedang masih mampu mempertahankan paparan cahaya matahari secara efektif.

Azimut 0° (utara) memberikan kinerja tahunan tertinggi dengan kehilangan sedikit energi akibat *self-shading*. Produksi energi meningkat sejak Mei dan mencapai puncaknya pada Agustus, seiring posisi semu matahari yang lebih dominan berada di belahan bumi utara. Kondisi ini menunjukkan bahwa orientasi utara merupakan konfigurasi paling efisien untuk kemiringan 32°.

Orientasi 90° (timur) dan 270° (barat) menghasilkan kinerja yang hampir setara. Kehilangan energi akibat pembayangan juga relatif kecil. **Gambar 85** memperlihatkan variasi produksi bulanan yang relatif stabil tanpa fluktuasi ekstrem,

menandakan bahwa kedua orientasi masih layak diterapkan apabila orientasi utara tidak memungkinkan.

Sebaliknya, orientasi 180° (selatan) menunjukkan kinerja paling rendah dengan kehilangan energi yang cukup besar akibat *self-shading*. Penurunan produksi paling nyata terjadi pada periode Mei-Agustus ketika posisi matahari lebih dominan berada di utara, sehingga bidang selatan menerima pancaran matahari langsung yang lebih sedikit dan lebih sering mengalami pembayangan. Gambar 85 memperlihatkan penurunan energi yang tajam pada pertengahan sebelum kembali meningkat menjelang akhir tahun.

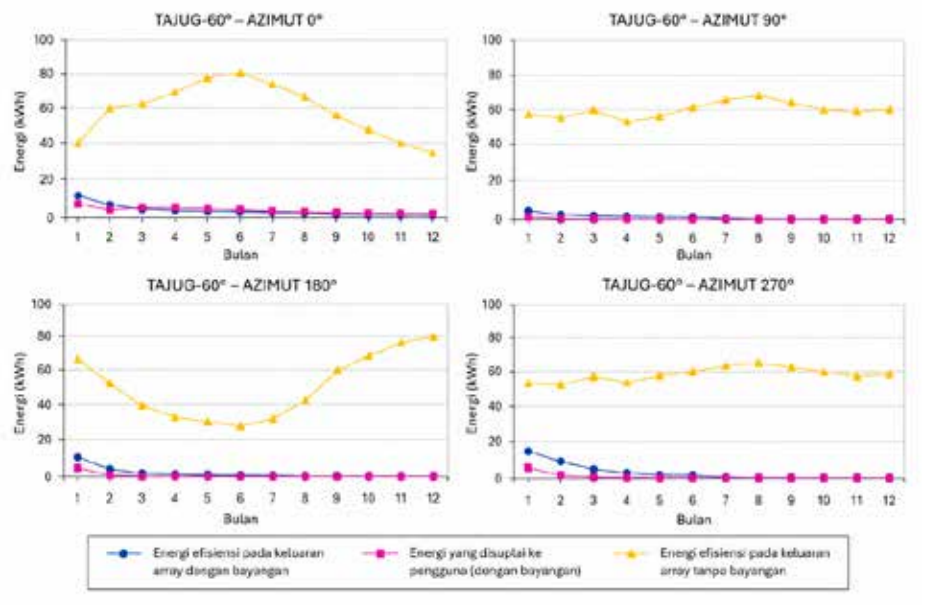


Gambar 114. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Tajug dengan kemiringan 32° pada berbagai orientasi

Peningkatan kemiringan atap menjadi 60° mengubah karakteristik penerimaan foton secara signifikan. Titik puncak yang lebih tinggi menyebabkan setiap bidang atap lebih sering saling membayangi, sehingga *self-shading* menjadi faktor dominan dalam menurunkan produksi energi. Hal ini terlihat jelas pada Gambar 86, di mana kurva keluaran energi dengan pembayangan turun sangat drastis dibandingkan dengan kondisi tanpa pembayangan pada seluruh orientasi.

Fenomena ini menunjukkan bahwa pada kemiringan 60°, pembayangan tidak lagi hanya terjadi pada pagi atau sore hari, tetapi telah meluas hingga mendominasi periode tengah hari ketika energi foton seharusnya berada pada kondisi maksimum.

Akibatnya, energi yang benar-benar dapat dimanfaatkan menjadi sangat kecil meskipun potensi foton sebenarnya masih cukup tinggi. **Gambar 86** memperlihatkan kontras yang sangat besar antara kurva produksi teoritis tanpa pembayangan dan produksi aktual dengan pembayangan pada seluruh orientasi.



Gambar 115. Energi yang dihasilkan *photovoltaic* sepanjang tahun pada atap Tajug dengan kemiringan 60° pada berbagai orientasi

Hasil simulasi menunjukkan bahwa atap Tajug dengan kemiringan sekitar 32° merupakan konfigurasi yang paling sesuai untuk integrasi sistem *photovoltaic*, karena mampu mempertahankan produksi energi tahunan yang tinggi dengan kehilangan akibat *self-shading* yang sangat kecil. Sebaliknya, kemiringan 60° tidak direkomendasikan karena geometri atap menyebabkan pembayangan antar bidang menjadi sangat dominan sehingga sebagian besar potensi energi tidak dapat dimanfaatkan. Dengan demikian, pada bangunan beratap Tajug, optimasi kinerja *photovoltaic* lebih efektif dilakukan melalui pengendalian kemiringan atap dan pemilihan orientasi bidang kolektor, dibandingkan sekadar meningkatkan sudut kemiringan modul.

Hasil simulasi *photovoltaic* pada beragam atap tradisional Jawa menunjukkan bahwa sudut kemiringan kolektor memiliki peranan penting dalam memperoleh kinerja yang optimal, terutama dalam hal fraksi surya (*solar fraction*), yaitu perbandingan antara energi yang dapat disuplai oleh sistem kepada pengguna dan kebutuhan energi pengguna. Semakin kecil sudut kemiringan kolektor, semakin

besar fraksi surya dan energi yang dapat dihasilkan. Berdasarkan variasi sudut kemiringan, rentang perbedaan produksi energi tercatat antara 194 kWh pada orientasi selatan hingga 275 kWh pada orientasi timur. Sementara itu, pengaruh orientasi terhadap produksi energi relatif kecil apabila kolektor dipasang dengan sudut kemiringan yang rendah. Perbedaan produksi energi akibat variasi orientasi berada pada kisaran 37 kWh untuk kemiringan 15° hingga 108 kWh untuk kemiringan 60°. Kolektor PV yang diarahkan pada azimut sekitar 0°, 90°, dan –90° — yang masing-masing merepresentasikan arah utara, barat, dan timur — menghasilkan jumlah energi yang relatif serupa. Meskipun demikian, orientasi optimal tetap dipengaruhi oleh sudut kemiringan kolektor. Pada sudut kemiringan rendah, sekitar 15–32°, orientasi ke arah utara memberikan hasil terbaik. Sebaliknya, untuk sudut kemiringan yang lebih besar, yaitu ≥45°, orientasi ke arah timur (–90°) memberikan kinerja yang lebih baik. Kolektor yang berorientasi 180° atau menghadap selatan, khususnya pada sudut kemiringan lebih dari 45°, dapat mengalami penurunan produksi energi yang cukup signifikan.

Temuan tersebut memperlihatkan bahwa produktivitas energi surya pada rumah Jawa merupakan hasil interaksi antara bentuk geometris dan kondisi iklim tropis. Geometri atap tidak hanya menentukan besarnya radiasi yang diterima, tetapi juga memengaruhi pola ventilasi alami dan temperatur permukaan tempat modul dipasang. Dengan demikian, evaluasi terhadap kinerja panel surya tidak dapat dilakukan secara terpisah dari karakter arsitektur bangunan. Justru keunggulan rumah tradisional Jawa terletak pada kemampuannya mengintegrasikan fungsi pelindung iklim dengan potensi produksi energi melalui bentuk atap yang telah berkembang selama berabad-abad.

Dari sudut pandang arsitektur berkelanjutan, hasil simulasi ini menunjukkan bahwa bentuk atap tradisional bukanlah hambatan bagi penerapan teknologi energi terbarukan. Sebaliknya, geometri yang lahir dari proses adaptasi terhadap iklim tropis justru menyediakan kondisi yang mendukung integrasi sistem *photovoltaic*. Pemanfaatan energi surya pada rumah Jawa karena itu tidak perlu dimaknai sebagai penambahan teknologi pada bangunan tradisional, melainkan sebagai pengembangan fungsi baru dari prinsip-prinsip arsitektur yang telah ada sejak awal.

3.5.4. VENTILASI ALAMI DAN EFISIENSI PANEL SURYA

Pembahasan mengenai produksi energi surya tidak dapat dilepaskan dari kondisi termal permukaan tempat modul *photovoltaic* dipasang. Berbeda dengan kolektor panas surya (*solar thermal collector*), kinerja modul *photovoltaic* justru menurun ketika temperatur permukaannya meningkat. Sebagian energi surya yang diterima panel tidak dikonversi menjadi energi listrik, melainkan berubah menjadi panas yang menaikkan temperatur modul. Akibatnya, semakin tinggi temperatur panel, semakin kecil efisiensi konversi energi yang dapat dicapai. Oleh karena itu, mekanisme pendinginan alami menjadi faktor penting dalam menentukan kinerja sistem *photovoltaic*.

Dalam konteks rumah tradisional Jawa, mekanisme pendinginan tersebut telah menjadi bagian dari sistem bangunan. Atap Joglo tidak hanya dirancang untuk menaungi ruang di bawahnya, tetapi juga membentuk ruang atap yang tinggi sehingga memungkinkan udara panas bergerak naik melalui proses konveksi alami. Sebagaimana telah dibahas pada Subbab 3.3, pemanasan permukaan atap menghasilkan *thermal plume* yang berkembang menuju bubungan, kemudian diteruskan keluar melalui ventilasi atap. Proses ini membentuk sirkulasi udara yang secara terus-menerus membawa panas menjauhi permukaan atap sehingga akumulasi panas dapat dikurangi.

Fenomena tersebut memberikan implikasi langsung terhadap sistem *photovoltaic* yang dipasang mengikuti bidang atap. Ketika udara panas di bawah atap dapat dibuang secara efektif, temperatur permukaan atap cenderung lebih rendah dibandingkan dengan kondisi tanpa ventilasi. Modul *photovoltaic* yang berada di atas bidang tersebut ikut memperoleh pendinginan melalui perpindahan panas secara konveksi, sehingga temperatur operasinya dapat dipertahankan lebih dekat pada kondisi optimum. Dengan demikian, ventilasi alami yang semula berfungsi meningkatkan kenyamanan termal penghuni secara bersamaan juga meningkatkan efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya.

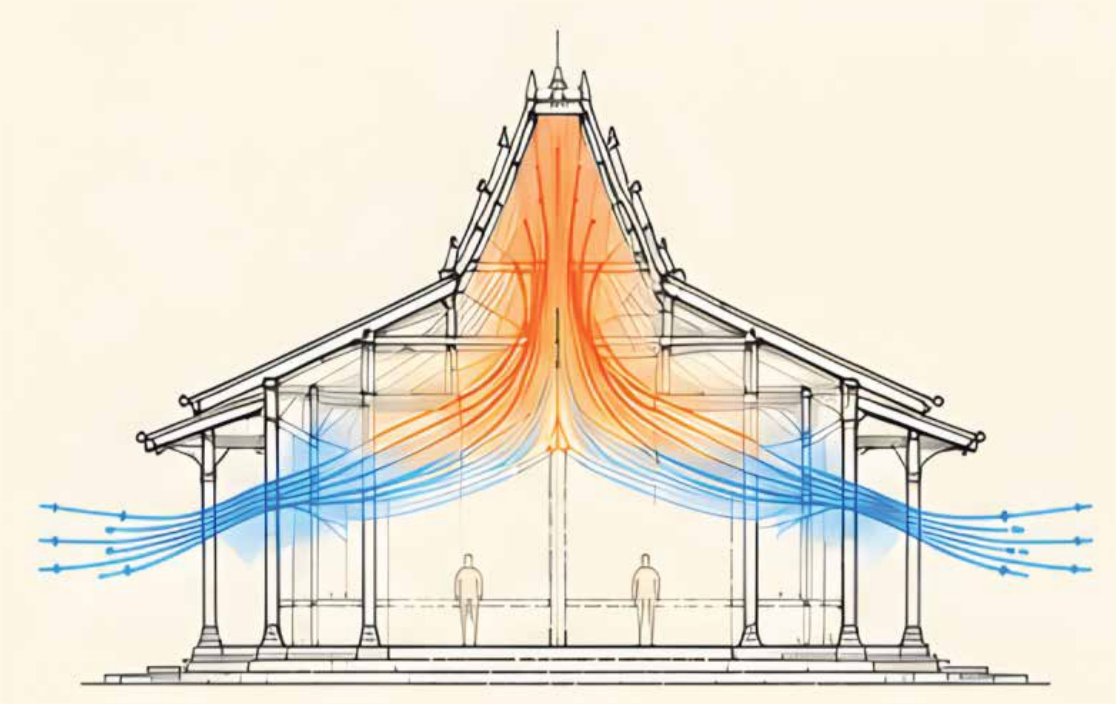
Hasil simulasi CFD pada model-model Joglo memperlihatkan hubungan yang konsisten antara pola ventilasi dan distribusi temperatur atap. Model tanpa ventilasi atap menunjukkan adanya akumulasi udara panas di bawah bidang atap sehingga gradien temperatur vertikal berkembang cukup besar. Sebaliknya, model dengan ventilasi atap menghasilkan aliran udara yang lebih kontinu dari bukaan dinding menuju puncak atap. *Thermal plume* yang terbentuk di sekitar atap segera

dilepaskan ke atmosfer sehingga lapisan udara panas di bawah atap berkurang secara signifikan. Kondisi ini menyebabkan distribusi temperatur permukaan menjadi lebih seragam sekaligus mengurangi beban panas yang diterima modul *photovoltaic*.

Selain ventilasi atap, distribusi bukaan dinding juga berpengaruh terhadap pendinginan atap. Rongga-rongga pada dinding memperkuat ventilasi silang sehingga pasokan udara segar ke ruang bawah atap meningkat. Ketika udara luar yang lebih sejuk terus menggantikan udara panas di dalam bangunan, proses konveksi berlangsung lebih intensif dan mempercepat pelepasan panas menuju ventilasi atap. Dengan kata lain, efisiensi pendinginan atap merupakan hasil kerja sama antara ventilasi silang pada dinding dan ventilasi vertikal melalui bubungan. Kedua mekanisme tersebut membentuk sistem ventilasi alami yang saling melengkapi.

Dalam konteks arsitektur Jawa, hubungan tersebut memberikan makna baru terhadap keberadaan ruang atap yang tinggi. Selama ini ruang tersebut dipahami terutama sebagai strategi untuk meningkatkan kenyamanan termal penghuni melalui pembentukan lapisan udara panas di bagian atas bangunan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fungsi tersebut sesungguhnya memiliki manfaat tambahan, yaitu menciptakan kondisi termal yang lebih menguntungkan bagi sistem *photovoltaic*. Semakin efektif ruang atap membuang udara panas melalui ventilasi alami, semakin besar ruang modul surya mempertahankan efisiensi konversi energinya.

PENUTUP



Arsitektur tradisional Jawa lahir dari pemahaman yang mendalam terhadap alam, iklim, dan kehidupan manusia. Selama berabad-abad, pengetahuan tersebut terwujud dalam bentuk-bentuk bangunan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsional, tetapi juga mengandung makna budaya, nilai simbolik, dan kecermatan teknis yang saling melengkapi. Atap, sebagai mahkota bangunan, menjadi titik temu seluruh aspek tersebut. Ia membentuk ruang, mengatur pergerakan udara, melindungi dari panas dan hujan, sekaligus merepresentasikan cara masyarakat Jawa membaca hubungan antara bumi, langit, dan kehidupan yang berlangsung di antaranya.

Penelusuran terhadap perkembangan arsitektur Jawa, ruang budaya Negarigung, serta konsep-konsep yang tertuang dalam naskah seperti Kawruh Griya memperlihatkan bahwa transformasi bentuk Joglo, Limasan, Tajug, dan Kampung selalu berangkat dari perubahan geometri atap. Dengan kata lain, dalam tradisi arsitektur Jawa, ruang dibentuk oleh atap, bukan sebaliknya. Pemahaman ini menjadi landasan penting karena seluruh analisis mengenai kenyamanan termal maupun pemanfaatan energi matahari bertumpu pada geometri atap. Dalam pengertian itu, arsitektur Jawa sesungguhnya merupakan ekspresi kecerdasan ekologis yang berkembang melalui pengalaman panjang beradaptasi dengan lingkungan tropis, jauh sebelum konsep bangunan berkelanjutan diperkenalkan dalam wacana arsitektur modern.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan tantangan perubahan iklim menghadirkan perspektif baru terhadap warisan tersebut. Kajian dalam buku ini menunjukkan bahwa karakter iklim tropis muson di Yogyakarta pada dasarnya masih tetap bertahan, namun mengalami penguatan intensitas pada beberapa unsur iklim, terutama peningkatan suhu udara, semakin tegasnya perbedaan musim hujan dan kemarau, serta hubungan yang semakin kuat antara radiasi matahari, kelembapan, dan suhu udara. Perubahan tersebut mengakibatkan bangunan menerima beban termal yang lebih besar dibandingkan sebelumnya, sehingga strategi pengendalian panas melalui rancangan arsitektur menjadi semakin penting. Dalam konteks inilah atap kembali memperoleh peran sentral, bukan hanya sebagai pelindung bangunan, tetapi juga sebagai elemen yang menentukan kenyamanan termal dan efisiensi energi.

Setiap tipologi atap tradisional memperlihatkan cara yang berbeda dalam merespons lingkungan. Joglo menghadirkan volume ruang yang lapang sehingga

memungkinkan terbentuknya ventilasi alami yang efektif. Limasan memperlihatkan keseimbangan antara efisiensi struktur, perlindungan terhadap iklim, dan fleksibilitas ruang. Tajug menawarkan kesimetrian geometris yang menghasilkan distribusi penyinaran yang relatif merata, sedangkan Kampung menyediakan bidang atap yang luas dan sederhana sehingga memiliki potensi terbesar dalam pemanfaatan energi surya. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa keragaman bentuk atap Jawa bukan sekadar ekspresi arsitektural, melainkan representasi berbagai strategi adaptasi terhadap iklim tropis.

Analisis geometris memperkuat pemahaman tersebut dengan menunjukkan bahwa parameter-parameter arsitektural, meliputi kemiringan atap, orientasi, luas permukaan, dan volume ruang atap berhubungan langsung dengan performa energi bangunan. Atap Kampung memiliki rasio luas permukaan dan volume atap terbesar sehingga memberikan peluang paling tinggi bagi integrasi sistem *photovoltaic* sekaligus menyediakan ruang penyangga termal yang efektif. Tajug menunjukkan distribusi penerimaan radiasi matahari yang paling merata sehingga relatif tidak sensitif terhadap perubahan orientasi bangunan. Sementara itu, Joglo dan Limasan tetap memiliki potensi pemanfaatan energi surya yang tinggi apabila orientasi bangunan serta penempatan modul *photovoltaic* dirancang secara tepat. Temuan tersebut menunjukkan bahwa bentuk atap tradisional Jawa pada dasarnya telah mengakomodasi prinsip-prinsip dasar arsitektur surya pasif sekaligus menyediakan landasan bagi penerapan sistem surya aktif.

Kajian mengenai ventilasi alami melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* menegaskan pentingnya geometri atap dalam membentuk kualitas lingkungan termal di dalam bangunan. Simulasi menunjukkan bahwa bentuk atap memengaruhi pola aliran udara, distribusi temperatur, dan mekanisme pelepasan panas melalui kombinasi tekanan angin dan efek cerobong. Volume atap yang besar memungkinkan panas terakumulasi pada bagian atas ruang sehingga suhu pada zona aktivitas penghuni tetap lebih rendah, sedangkan keberadaan ventilasi pada bidang atap mempercepat pembuangan udara panas ke luar bangunan. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kenyamanan termal rumah Jawa merupakan hasil kerja terpadu antara bentuk atap, konfigurasi bukaan, dan sistem ventilasi alami, bukan semata-mata akibat penggunaan material bangunan.

Rangkaian hasil tersebut memperlihatkan bahwa atap rumah tradisional Jawa sesungguhnya bekerja melalui dua mekanisme yang saling melengkapi.

Sebagai sistem pasif, geometri atap mengendalikan radiasi matahari, memperbaiki ventilasi alami, dan menjaga keseimbangan termal ruang. Sebagai sistem aktif, bidang-bidang atap menyediakan media yang efektif untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik melalui integrasi modul panel *photovoltaic*. Dengan demikian, keputusan-keputusan geometris yang selama ini dipahami sebagai bagian dari komposisi arsitektur ternyata sekaligus menentukan performa energi bangunan. Hubungan ini memperlihatkan bahwa kecerdasan arsitektur tradisional Jawa tidak hanya terletak pada nilai estetikanya, tetapi juga pada kemampuannya mengoptimalkan potensi iklim tropis secara terpadu. Pengetahuan lokal yang diwariskan melalui pengalaman panjang membaca alam justru menyediakan landasan ilmiah bagi pengembangan arsitektur surya yang kontekstual. Integrasi teknologi *photovoltaic* tidak harus mengubah citra visual Joglo, Limasan, Tajug, maupun Kampung, melainkan dapat dilakukan melalui pengaturan orientasi, modul, dan konfigurasi bidang atap yang tetap menghormati proporsi, ritme, serta karakter arsitektur tradisional. Dengan pendekatan demikian, rumah tradisional Jawa memiliki potensi besar untuk berkembang menjadi bangunan berenergi rendah, bahkan menjadi bangunan penghasil energi tanpa kehilangan identitas budaya yang menjadi kekuatannya.

Pada akhirnya, Arunika di Atas Joglo menawarkan cara pandang bahwa masa depan arsitektur Indonesia tidak harus dibangun dengan meninggalkan akar budayanya. Justru dari kecermatan para pendahulu dalam memahami iklim tropis tersimpan prinsip-prinsip yang kini terbukti selaras dengan konsep arsitektur surya dan bangunan hemat energi. Ketika strategi ventilasi alami, pengendalian panas, dan pemanfaatan radiasi matahari dipadukan dalam satu kesatuan sistem arsitektur, atap rumah Jawa tidak lagi sekadar menjadi pelindung kehidupan, tetapi juga menjadi sumber energi yang menopang kehidupan. Di atas Joglo, Limasan, Tajug, dan Kampung, arunika memperoleh makna baru, yakni bukan hanya cahaya yang menandai datangnya pagi, melainkan simbol sinergi antara warisan budaya, ilmu pengetahuan, dan kedaulatan energi bagi masa depan arsitektur Nusantara.

DAFTAR PUSTAKA

Bateman, I. J., Coombes, E., Fisher, B., Fitzherbert, E., Glew, D., & Naidoo, R. (2009). Saving sumatra's species: Combining economics and ecology to define an efficient and self-Sustaining program for inducing conservation within oil palm plantations. *Working Paper - Centre for Social and Economic Research on the Global Environment*, (1), 1–37.

Boutet, T. S. (1987). *Controlling Air Movement A Manual for Architects and Builders. McGraw Hill Book Company, New York.*

Braak, C. (1929). Het climaat van Nederlandsch Indie. Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia, Indonesia. *Verhandelingen*, *787*.

Frick, H. (1995). *Strukturformen Indonesischer Bautechnik: Entwicklung methodischer Grundlagen für eine'konstruktive Pattern Language'dargestellt am Beispiel des traditionellen Wohnungsbaues in Mitteljava*.

Gill, R. G. (1995). *De Indische Stad op Jawa en Madura, een Morfologische Studie van haar Ontwikkeling*. 350.

Ikaputra. (1996). *Elements of Urban Traditions: Analyzing Form*. University of California. Center for environmental design research. IASTE.

Jogja Heritage Society, & Kotagede Heritage District Local Organization. (2007). *Homeowner's Conservation Manual: Kotagede Heritage District*. 167. https://www.unescobkk.org/files/fileadmin/user_upload/culture/publications/kotagede_yogyakarta.pdf?utm_source=chatgpt.com

Marie, B. K. Al. (2020). *Kawruh Kalang – KAJIAN SASTRA KLASIK*. https://bambangkhusenalmarie.wordpress.com/category/ sastra-klasik/kajian-sastra-klasik/serat-centhini/kawruh-kalang/

Mees, S. (1994). *The Java House: The House on Temple-reliefs*. http://ser.goodbeat.com/ser/arche/zoa/gb_zzo4.htm

Noriaki, A. (1982). *Tektonik im primitiven Dachbau. Materialien und Rekonstruktion zum Phanomen der auskragenden Giebel an alien Dachformen Ostasiens, Sudostasiens und Ozeaniens. Ein architekturtheoretischer und bauethnologischer Versuch. (Tectonics*. 297–299.

Oey, E. (1991). *Java: Garden of the East*. Passport Books. https://books.google.co.id/books?id=40csAQAAMAAJ

Oliver, P. (1997). *Encyclopedia of vernacular architecture of the world: cultures and habitats* (Vol. 3). Cambridge University Press.

Parmentier, H. (1907). L'architecture interprétée dans les bas-reliefs anciens de Java. *Bulletin de l'Ecole Française d'Extrême-Orient*, *7*(1), 1–60. https://doi.org/10.3406/befeo.1907.2595

Peta Tematik Indo. (2013). *Administrasi Kota Yogyakarta | Peta Tematik Indonesia*. https://petatematikindo.wordpress.com/2013/06/22/administrasi-kota-yogyakarta/comment-page-1/

Prijotomo, J. (1992). Ideas and Forms of Javanesse Architecture. In *Gadjah Mada University Press*. Gadjah Mada University Press. https://books.google.co.id/books?id=IBFQAAAAMAAJ

Prijotomo, J. (1995). *Petungan: sistem ukuran dalam arsitektur Jawa*. Gadjah Mada University Press. https://opac.lib.ugm.ac.id/perpus/opac/detail/_mlskcCeH-ZjqsqASTVP8XM9BeIPxWIkDDohPXrPstuk=/3MhOQV0Iv87xPHqB5AaZBpDjK4YXmy0QEv0OZQ1l5Hw=

Prijotomo, J. (1996). When East Meets West: One Century of Architecture in Indonesia (1890s-1990s). *Architronic*, *5*(3), 1–10. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.39.1000&rep=rep1&type=pdf

Rapoport, A. (1969). *House Form and Society*. 146.

Ronald, A. (1990). Ciri-Ciri Karya Budaya Di Balik Tabir Keagungan Rumah Jawa. *Universitas Atma Jaya, Yogyakarta*, *1*, 53–434.

Salam, H. (1990). Expressions of Islam in Buildings. *Proceedings of an International Seminar Sponsored by the Aga Khan Award for Architecture.*, 1–241.

Wibowo, H. J., & Murniatno, G. (1998). *Arsitektur Tradisional Daerah Istimewa Yogyakarta*. Direktorat Jenderal Kebudayaan.

Wilson, C. B. (1975). Manual of tropical housing and building. Part one: Climatic design. *Building Science*, *10*(1), 85–86. https://doi.org/10.1016/0007-3628(75)90012-2

Y.B., M. (1992). *Pengantar ke Ilmu Budaya Bentuk Arsitektur, Sendi-Sendi Filsafatnya Beserta Contoh-Contoh Praktis* (4th ed.). PT Gramedia Pustaka Utama.

DAFTAR ISTILAH

ISTILAH	KETERANGAN
Adaptif	Mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi lingkungan atau kebutuhan.
Akumulasi panas	Penumpukan energi panas di dalam bangunan akibat radiasi matahari dan terbatasnya pelepasan panas.
Arsitektur surya pasif	Pendekatan desain bangunan yang memanfaatkan energi matahari tanpa menggunakan sistem mekanis aktif.
Body-fitted mesh	Jenis *grid* pada simulasi CFD yang mengikuti bentuk geometri objek sehingga hasil simulasi lebih akurat.
Bukaan	Elemen pada bangunan, seperti jendela atau ventilasi, yang memungkinkan masuk dan keluarnya udara atau cahaya.
Computational Fluid Dynamics (CFD)	Metode simulasi numerik untuk menganalisis perilaku aliran fluida, perpindahan panas, dan distribusi tekanan
Distribusi temperatur	Sebaran suhu pada suatu ruang atau permukaan.
Distribusi tekanan	Sebaran tekanan udara pada permukaan atau di dalam bangunan.
Efek cerobong *(Stack Effect)*	Fenomena naiknya udara panas akibat perbedaan massa jenis sehingga menciptakan aliran udara alami.
Efisiensi komputasi	Kemampuan simulasi menghasilkan hasil yang akurat dengan penggunaan waktu dan sumber daya komputer yang optimal.
Energi surya	Energi yang berasal dari radiasi matahari dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.

Geometri atap	Karakteristik bentuk, ukuran, kemiringan, dan konfigurasi atap yang memengaruhi performa bangunan.
Grid	Jaringan elemen-elemen kecil yang digunakan dalam simulasi numerik untuk membagi domain perhitungan.
Intensitas radiasi matahari	Besarnya energi matahari yang diterima suatu permukaan per satuan luas.
Iklim mikro	Kondisi iklim pada area yang sangat terbatas, dipengaruhi oleh bentuk bangunan dan lingkungan sekitarnya.
Kapasitas termal	Kemampuan material menyerap, menyimpan, dan melepaskan panas.
Kelembapan relatif	Perbandingan jumlah uap air di udara terhadap jumlah maksimum yang dapat ditampung udara pada suhu tertentu.
Kemiringan atap	Sudut kemiringan bidang atap terhadap bidang horizontal
Kenyamanan termal	Kondisi ketika seseorang merasa nyaman terhadap lingkungan termalnya tanpa ingin mengubah kondisi tersebut.
Konfigurasi bukaan	Susunan dan penempatan bukaan pada bangunan yang memengaruhi ventilasi dan pencahayaan.
Konservasi massa	Prinsip bahwa massa fluida tetap selama proses aliran berlangsung.
Konvergen	Kondisi ketika hasil iterasi simulasi telah stabil sehingga perhitungan dianggap selesai.
Lintasan aliran *(Streamline)*	Garis yang menunjukkan arah pergerakan aliran fluida pada suatu waktu.
Massa jenis	Massa suatu zat per satuan volume.
Model turbulensi k-ε	Model matematis dalam CFD untuk memprediksi perilaku aliran turbulen.
Photovoltaic (PV)	Teknologi yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan sel surya.

Radiasi matahari	Energi yang dipancarkan matahari dalam bentuk gelombang elektromagnetik.
RANS *(Reynolds-Averaged Navier–Stokes)*	Persamaan yang digunakan dalam simulasi CFD untuk memodelkan aliran fluida turbulen.
Rasio luas permukaan terhadap volume	Perbandingan luas permukaan bangunan dengan volumenya yang memengaruhi pertukaran panas.
Rumah berenergi rendah	Bangunan yang dirancang untuk meminimalkan kebutuhan energi selama operasionalnya.
Selubung bangunan	Elemen pembatas bangunan, seperti dinding, atap, lantai, pintu, dan jendela, yang memisahkan ruang dalam dan luar.
Stratifikasi temperatur	Pembentukan lapisan udara dengan suhu berbeda akibat perbedaan ketinggian.
Stratifikasi udara	Fenomena pelapisan udara berdasarkan perbedaan suhu dan massa jenis.
Tekanan negatif	Tekanan udara yang lebih rendah dibandingkan lingkungan sekitarnya sehingga menarik aliran udara.
Tekanan positif	Tekanan udara yang lebih tinggi dibandingkan lingkungan sekitarnya sehingga mendorong aliran udara.
Thermal plume	Kolom udara panas yang bergerak naik akibat pemanasan suatu permukaan.
Transformasi bangunan	Perubahan atau penyesuaian bangunan untuk memenuhi fungsi atau kebutuhan baru.
Ventilasi alami	Sistem pertukaran udara yang memanfaatkan angin dan perbedaan temperatur tanpa bantuan alat mekanis.
Ventilasi silang *(Cross Ventilation)*	Sistem ventilasi alami yang memanfaatkan bukaan pada sisi berlawanan bangunan sehingga udara mengalir melintasi ruang.

Ventilasi akibat tekanan angin *(Wind-driven Ventilation)*	Ventilasi alami yang terjadi karena perbedaan tekanan udara akibat hembusan angin pada bangunan.
Volume ruang atap	Ruang kosong di bawah atap yang berfungsi sebagai penyangga panas dan membantu sirkulasi udara.

PENULIS



Floriberta Binarti

Penulis mendapatkan gelar sarjana teknik arsitektur dari Universitas Gadjah Mada, magister arsitektur dari ETH-Zurich, Swiss dan doktor arsitektur dari Institut Teknologi Bandung. Saat ini penulis bekerja sebagai dosen di Departemen Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta di klaster Teknologi dan Sains Arsitektur. Penulis juga menjadi anggota Ikatan Arsitek Indonesia, Asosiasi Fisika Bangunan Internasional, Green Building Council Indonesia sebagai Greenship Associate, dan ICOMOS Indonesia. Saat ini penulis sedang menjalankan *visiting researcher* (Japan Society for the Promotion of Science (JSPS fellow) di Hiroshima University.



Priyo Pratikno

Arsitek yang melanjutkan sekolah di program doktor dengan bidang kajian budaya (Kajian Seni dan Masyarakat) di Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Penelitian disertasinya bertema "Melankolia Arsitektur." Berpraktik arsitektur di beberapa konsultan arsitektur tetapi lebih banyak bekerja sebagai dosen di beberapa sekolah arsitektur di Yogyakarta. Selain itu menekuni dunia tulis-menulis dan menjadi editor buku. Pengurus di organisasi profesi Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan (IPLBI) dan pernah menjadi pengurus di Ikatan Arsitek Indonesia Daerah Istimewa. Kontak email: hi.priyo @gmail.com



Adiana Hemas Desira

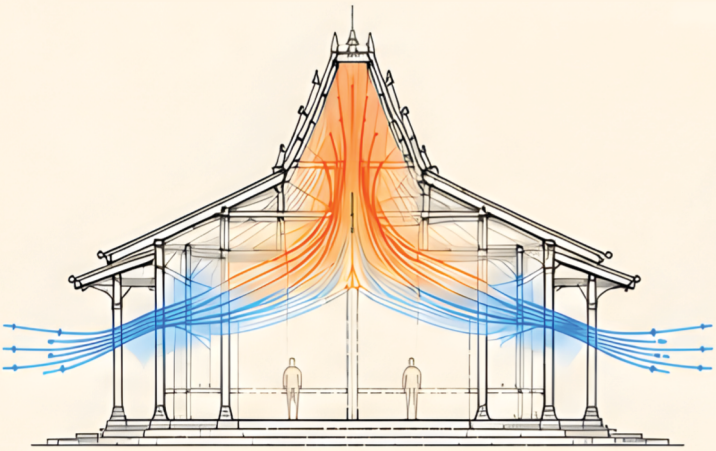
Saat ini penulis aktif membantu dosen-dosen di lingkungan Departemen Arsitektur Universitas Atma Jaya Yogyakarta dalam kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Bidang yang menjadi fokus utamanya adalah Fisika Bangunan, khususnya yang berkaitan dengan kenyamanan termal, akustik, dan performa bangunan.

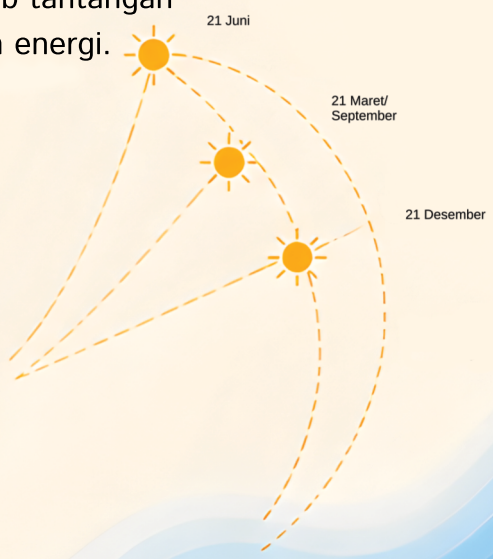
Membaca Matahari,
Merancang Kenyamanan,
Membangun Kedaulatan Energi

Buku ini menelusuri kebijaksanaan arsitektur Jawa dalam membentuk kenyamanan termal di iklim tropis lembap melalui geometri atap joglo, limasan, tajug, dan kampung serta variasinya.

Dengan pendekatan historis, klimatologis, fisika bangunan, hingga analisis parametrik dan simulasi pergerakan udara, buku ini mengungkap potensi atap tradisional sebagai medium strategis untuk integrasi teknologi surya.

Arunika di Atas Joglo mengajak kita melihat arsitektur tradisional bukan sebagai masa lalu, melainkan sebagai inspirasi masa depan yang mampu menjawab tantangan kenyamanan, keberlanjutan, dan kedaulatan energi.





Floriberta Binarti
Priyo Pratikno
Adiana Hemas Desira

Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No. 5-6 Yogyakarta 55281
Telp. +62 274 487711
E-mail: lib.publisher@uajy.ac.id



ISBN: 978-634-05-6683-3 (PDF)