



UNIVERSITAS INDONESIA

**INVESTIGASI KINERJA TERMAL GREEN ROOF SEBAGAI
PENDINGIN PASIF DI IKLIM TROPIS**

SKRIPSI

RE TSA ANUGRAH MENTENG

0806454916

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**INVESTIGASI KINERJA TERMAL GREEN ROOF SEBAGAI
PENDINGIN PASIF DI IKLIM TROPIS**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

RE TSA ANUGRAH MENTENG

0806454916

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

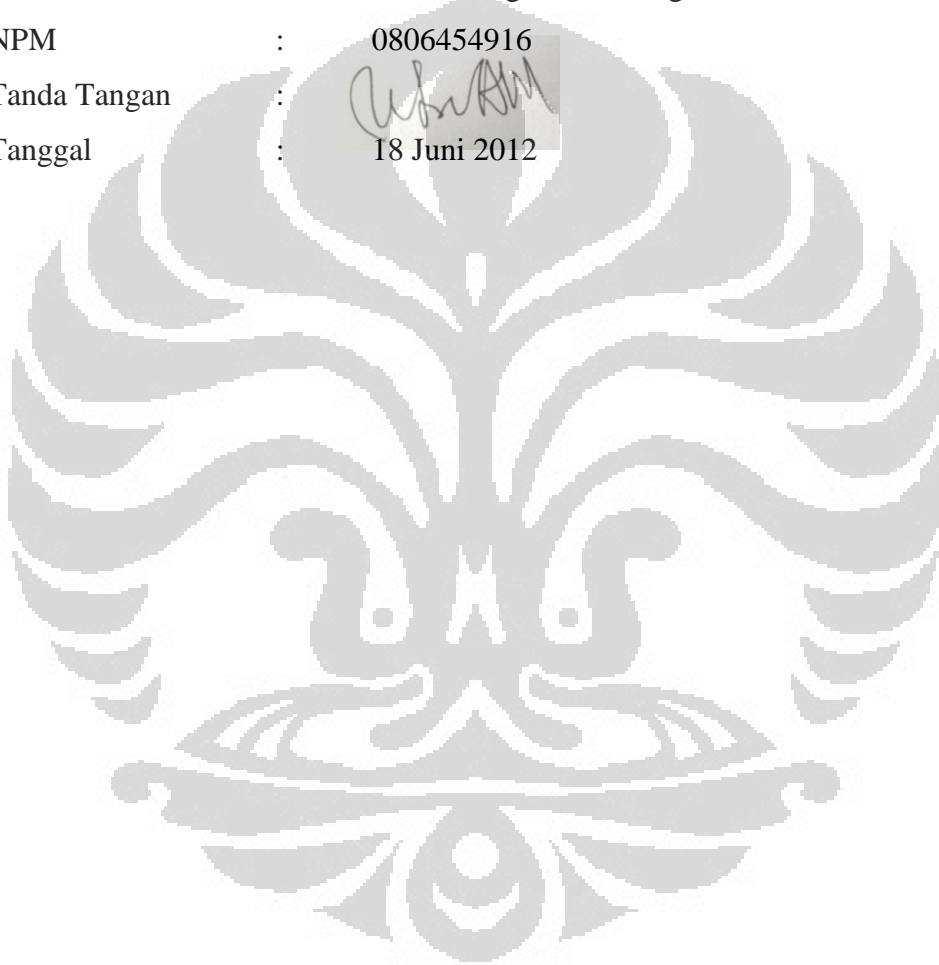
DEPOK

JUNI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Retsa Anugrah Menteng
NPM : 0806454916
Tanda Tangan : 
Tanggal : 18 Juni 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Retsa Anugrah Menteng
NPM : 0806454916
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Investigasi Kinerja Termal Green Roof Sebagai Pendingin Pasif di Iklim Tropis

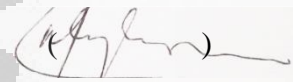
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr.-Ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra



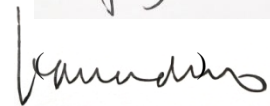
Penguji : Prof. Dr. Raldi A. Koestoer, DEA



Penguji : Dr. Agus S. Pamitran, ST., M.Eng.



Penguji : Dr. Ir. R. Danardono A.S., DEA



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 18 Juni 2012

KATA PENGANTAR

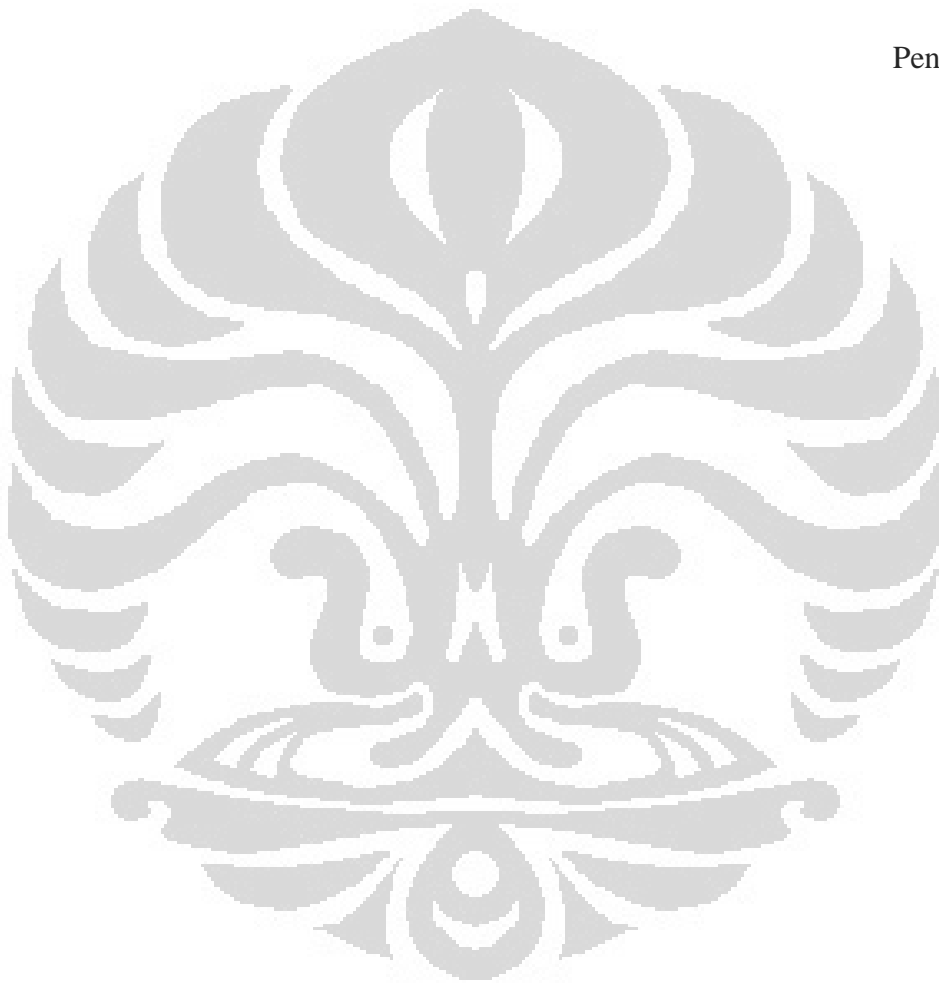
Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yesus Kristus, karena atas berkat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Indonesia. Dalam penyusunan skripsi ini penulis mengucapkan terimakasih ke beberapa pihak atas bantuan dan bimbingannya karena tanpa mereka, akan sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terima kasih secara khusus penulis berikan kepada:

1. Prof. Dr-ing. Ir. Nandy Setiadi Djaya Putra dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu memberikan pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik,
2. Dr.Ir. Harinaldi selaku kepala Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia,
3. Mama-ku tercinta Emmi Malisan Lati , Papa-ku tersayang Djoni Menteng, dan adik-adikku di rumah Rendi Imanuel Menteng dan Leonardo Karunia Menteng serta keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada penulis untuk tetap semangat,
4. Teman-teman seperjuangan, Ary Maulana, Rio Wirawan, Gerry Julian, Bimo Sakti, Ashar Okta, Zein, Annisa Nurulianthy, Rangga Arya, dan Elfan yang telah bahu-membahu dan bersama-sama mengerjakan skripsi,
5. Teman-teman di Lab. AHT, “Pak Dosen” Ridho Irwansyah, Mas Wayan Nata, Pak Mulya, Pak Hadi, Bu Dini, Andy, dan Enggar yang telah membantu dalam memberikan saran dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini,
6. ‘Ibeb’ Deberland, Ami, Hudi, Edwin, sebagai sahabat-sahabat penulis yang terus mendukung penulis,
7. Teman-teman Teknik Mesin 2008 yang saling mendukung dalam pengerjaan skripsi,
8. Serta pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan untuk membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, Juni 2012

Penulis



**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Retsa Anugrah Menteng
NPM : 0806454916
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

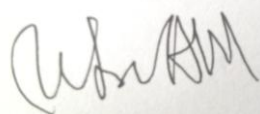
**Investigasi Kinerja Termal Green Roof Sebagai Pendingin Pasif
di Iklim Tropis**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 18 Juni 2012

Yang menyatakan



(Retsa Anugrah Menteng)

ABSTRAK

Nama : Retsa Anugrah Menteng
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Investigasi Kinerja Termal Green Roof Sebagai Pendingin Pasif di Iklim Tropis

Urban heat island merupakan masalah umum perkotaan disaat isu pemanasan global semakin sering terdengar. *Urban heat island* mengakibatkan penggunaan energi di perkotaan semakin meningkat akibat temperatur permukaan yang meningkat. *Green roof* mempunyai keunggulan sebagai atap bangunan perkotaan. Selain dapat menggantikan posisi lahan hijau, *green roof* dapat menekan penggunaan energi berlebihan akibat penggunaan pendingin ruangan. Penelitian ini dilakukan di Indonesia dengan iklim tropis dan kelembaban tinggi, menggunakan variasi 7 jenis *green roof*. Kemampuan terbaik *green roof* dalam menurunkan temperatur permukaan dasar sebesar 13 °C dan penurunan temperatur terendah sebesar 9,4 °C dibandingkan dengan tanpa menggunakan *green roof*.

Kata kunci : *urban heat island*, *green roof*, profil temperatur, iklim tropis.

ABSTRACT

Name : Retsa Anugrah Menteng
Major : Mechanical Engineering
Title : Investigation on Thermal Performance of Green Roof as a Passive Cooling in Tropical Climate

Urban heat island is a common problem urban areas while global warming issue are increasingly being heard. Urban heat island is resulting a massive energy using due to increased surface temperatures. Green roof has many advantages as an urban building roof. In addition to replace the green area, green roof could reduce energy use due to excessive use of air conditioning. This research was conducted in Indonesia with a tropical climate and high humidity, using a variation of 7 types of green roof. Green roof could reduce the heat gain by 13 °C for the maximum and 9,4 °C for the minimum than without using the green roof.

Keywords : urban heat island, green roof, profil temperature, tropical climate.

DAFTAR ISI

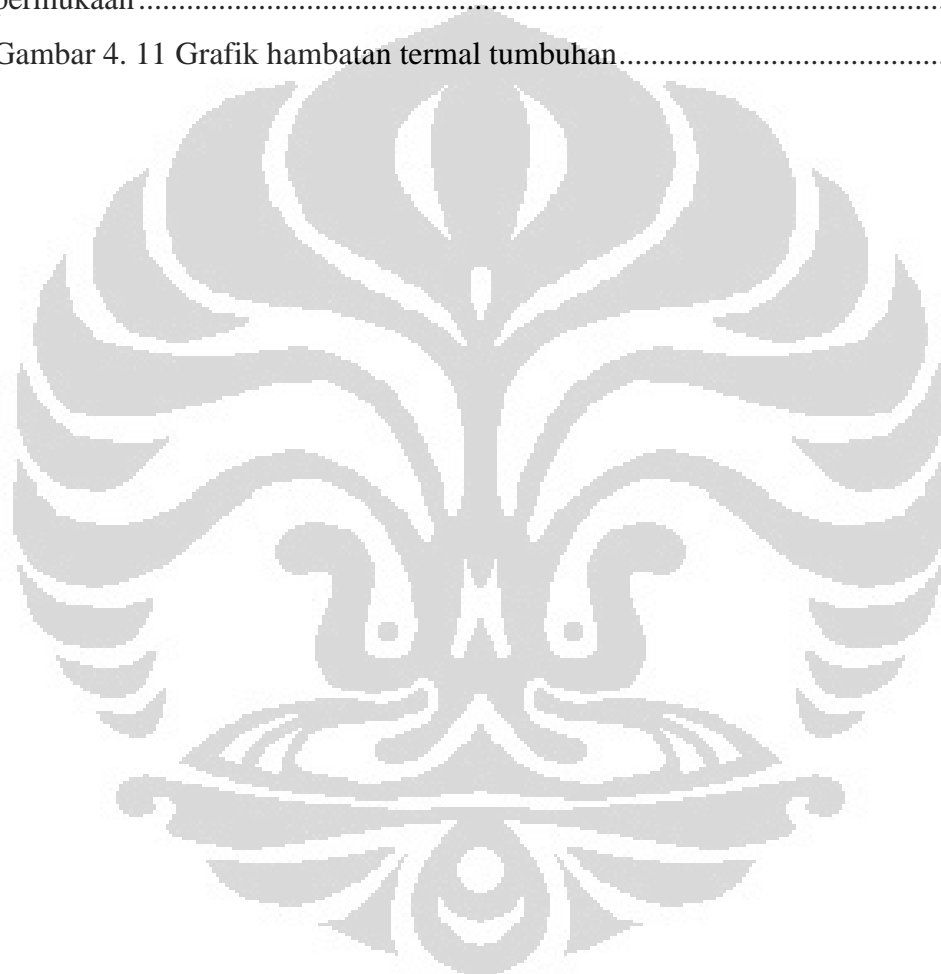
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 PEMBATASAN MASALAH	4
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 GREEN ROOF	7
2.1.1 Jenis green roof	7
2.1.2 Fungsi Green Roof	9
2.2 PERKEMBANGAN GREEN ROOF DALAM PENGHEMATAN ENERGI.....	12

2.3	FAKTOR BIOFISIKAL YANG MEMPENGARUHI PERFORMA GREEN ROOF.....	17
2.4	PERPINDAHAN KALOR	18
2.4.1	Konduksi	19
2.4.2	Konveksi	19
2.4.3	Radiasi.....	21
2.4.4	Difusivitas Termal.....	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		22
3.1	DIAGRAM ALIR PENELITIAN	22
3.2	SKEMA PENGUJIAN	23
3.3	PROSEDUR PENGUJIAN	25
3.4	KOMPONEN PENGUJIAN	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	DATA PROFIL TEMPERATUR	36
4.2	DATA PERBEDAAN TEMPERATUR PERMUKAAN DASAR WADAH	46
4.3	HAMBATAN TERMAL TANAMAN.....	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		49
5.1	KESIMPULAN	49
5.2	SARAN	49
DAFTAR PUSTAKA		50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Foto termal satelit pada pinggiran (atas) dan perkotaan (bawah) di Atlanta	2
Gambar 1. 2 <i>Green roof</i> di Perpustakaan Universitas Indonesia	3
Gambar 2. 1 Struktur <i>green roof</i>	7
Gambar 2. 2 diagram skematik pendinginan <i>green roof</i>	10
Gambar 2. 3 skematik manajemen buangan air hujan	11
Gambar 2. 4 Grafik pada musim panas antara <i>green roof</i> dan atap acuan	13
Gambar 2. 5 Perbandingan konsumsi energi pada setiap atap	14
Gambar 2. 6 temperatur eksternal pada setiap atap di musim panas	16
Gambar 2. 7 pada setiap lapisan di <i>green roof</i>	16
Gambar 2. 8 skematik keseimbangan energi pada <i>green roof</i>	18
Gambar 2. 9 Skematik perpindahan kalor konveksi	20
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 3. 2 <i>Arachis pinto</i> dan <i>Chlorophytum sp.</i>	24
Gambar 3. 3 <i>Carex morrowii</i> dan <i>Ipomoea batatas</i>	24
Gambar 3. 4 <i>Portulaca Grandiflora</i> dan <i>Althenantera ficoidea</i>	24
Gambar 3. 5 <i>Pennisetum Purpureum schamach</i>	25
Gambar 3. 6 Skema pengujian penelitian <i>green roof</i>	26
Gambar 3. 7 Titik pengukuran pada dasar permukaan wadah	27
Gambar 3. 8 Titik pengukuran pada lapisan drainase	27
Gambar 3. 9 Titik pengukuran pada lapisan tanah.....	28
Gambar 3. 10 Komponen dan titik pengukuran pada <i>green roof</i> milik Parizotto	29
Gambar 3. 11 Struktur model <i>green roof</i>	30
Gambar 3. 12 Cara peletakan model <i>green roof</i> di rak besi.....	30
Gambar 3. 13 kabel rj 45 dan <i>converter</i> rj 45 ke usb.....	31
Gambar 3. 14 Data akuisisi NI 9213 dan NI cDAQ 9172	32
Gambar 3. 15 Davis Instrument Wireless Vantage Pro 2	34
Gambar 4. 1 Grafik radiasi dan kelembaban udara.....	36
Gambar 4. 2 Grafik profil temperatur tanah kosong.....	36
Gambar 4. 3 Grafik Profil temperatur <i>arachis pinto</i>	38

Gambar 4. 4 Grafik Profil temperatur <i>chlorophytum sp.</i>	39
Gambar 4. 5 Grafik profil temperatur <i>carex morrowii</i>	40
Gambar 4. 6 Grafik profil temperatur <i>ipomoea batatas</i>	41
Gambar 4. 7 Grafik profil temperatur <i>portulaca grandiflora</i>	42
Gambar 4. 8 Grafik profil temperatur <i>althenantera ficoidea</i>	43
Gambar 4. 9 Grafik profil temperatur <i>pennisetum purpureum schamach</i>	44
Gambar 4. 10 Grafik perbedaan temperatur setiap permukaan dasar dengan acuan permukaan.....	46
Gambar 4. 11 Grafik hambatan termal tumbuhan.....	48



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penghematan energi dengan dan tanpa menggunakan <i>green roof</i>	15
Tabel 3. 1 Matriks variabel pengujian	23
Tabel 3. 2 Spesifikasi NI 9213	32
Tabel 3. 3 Spesifikasi <i>chassis</i> cDAQ 9172	33
Tabel 4. 1 Tabel Konduktivitas Termal Material	47



BAB 1

PENDAHULUAN

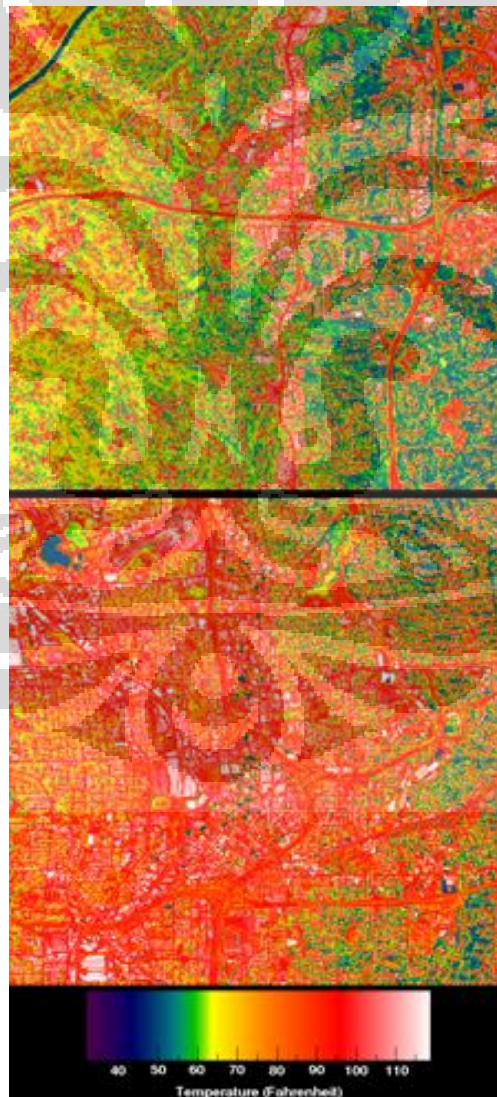
1.1 LATAR BELAKANG

Saat ini isu pemanasan global semakin sering terdengar di telinga kita. Hal tersebut terjadi akibat penggunaan bahan bakar fosil yang berlebihan dan hilangnya daerah hijau seperti hutan, taman, dan tumbuhan yang saat ini beralih fungsi menjadi daerah pemukiman, perkantoran, dan lain lain [1]. Fenomena ini terjadi sangat sering terlihat perkotaan. Akibatnya timbul banyak masalah lingkungan seperti terjadi pemanasan lokal di perkotaan (*urban heat island*), polusi udara yang menyebabkan dampak penyakit seperti masalah pernapasan, polusi suara, banjir, dan hilangnya habitat makhluk hidup lain.

Dari sekian banyak masalah yang ada, *urban heat island* merupakan masalah yang menjadi besar. *Urban heat island* adalah sebuah penamaan untuk mendeskripsikan karakteristik tingkat kehangatan atmosfer dan permukaan suatu perkotaan yang lebih panas dibandingkan dengan tingkat kehangatan daerah di luar kota [2]. Hal penting yang menyebabkan terjadinya hal ini adalah karena hilangnya lahan hijau dan lahan dingin di perkotaan dan semakin banyaknya material yang mampu menyerap panas seperti aspal dan beton sehingga radiasi matahari tersimpan di dalamnya [3]. Dengan meningkatnya temperatur lingkungan maka penggunaan alat penyejuk ruangan dipakai secara berlebihan untuk mendapatkan temperatur ideal. Pemborosan energi terjadi hanya untuk pemakaian alat penyejuk ruangan. Dibutuhkan sebuah teknologi baru yang dapat menganggulangi masalah lingkungan dan juga masalah efisiensi energi di perkotaan. Gambar 1.1 menunjukkan *urban heat island* yang terjadi di Atlanta, AS dengan menggunakan foto termal satelit.

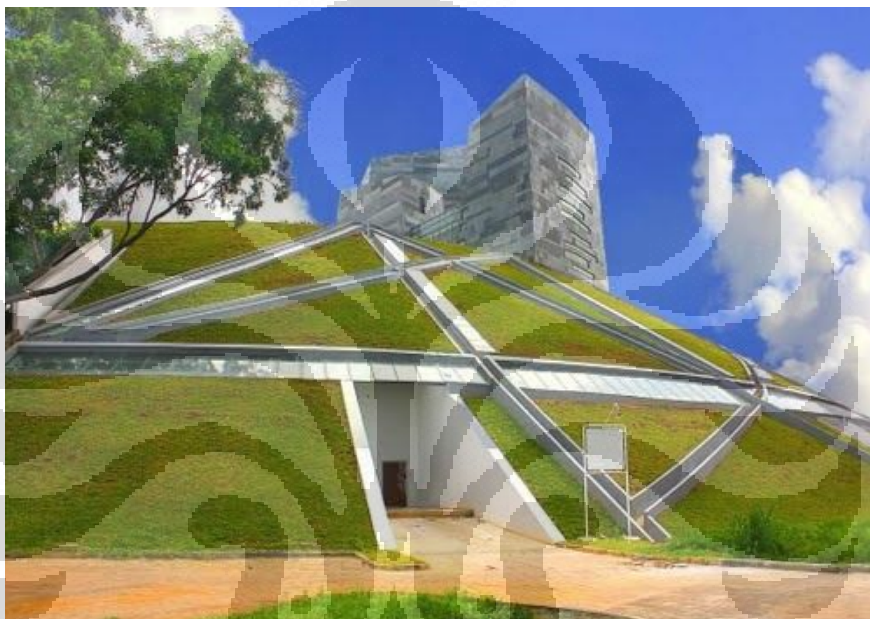
Salah satu teknologi yang beberapa tahun terakhir semakin banyak dilakukan penelitian adalah green roof. Green roof merupakan sebuah lapisan struktur konstruksi hijau yang berada di atas sebuah bangunan. Green roof terdiri dari lapisan vegetasi, media tumbuh, lapisan drainase, lapisan anti air, dan lapisan beton yang menjadi dasar atap bangunan [4].

Teknologi green roof sebenarnya bukan merupakan konsep baru. Teknologi ini memiliki sejarah panjang yang berawal dari abad ke-7 di Babylon atau yang sekarang dikenal dengan Iran, yang dibuat oleh Raja Nebukadnezar II yang biasa disebut Taman Gantung Babylonia. Kemudian beberapa negara di Eropa seperti Scandinavia dan Jerman mulai mengembangkan teknologi ini di tahun 1960 Jerman merupakan negara di Eropa yang perkembangan teknologi *green roof* -nya paling cepat, dimana industrinya dilaporkan bernilai sampai dengan \$77 juta tahun 2008 [5] . Dan kemudian teknologi ini mulai populer di Amerika Serikat. Saat ini Chicago merupakan kota di Amerika Serikat yang banyak menggunakan *green roof* dengan total 359 *green roof* atau sekitar 5,5 juta kaki persegi pada tahun 2010 [6].



Gambar 1. 1 Foto termal satelit pada pinggiran (atas) dan perkotaan (bawah) di Atlanta [7]

Green roof di daerah tropis khususnya di Indonesia sendiri masih jarang digunakan dan diteliti. Selain karena kurangnya tenaga ahli *green roof* di Indonesia, kondisi iklim yang berbeda dengan kondisi iklim kebanyakan *green roof* digunakan dan diteliti (subtropis) menjadi kendala yang cukup besar dalam mengembangkan *green roof* di Indonesia. Meskipun begitu, ada beberapa gedung di Indonesia yang sudah menggunakan *green roof* sebagai atap. Salah satu contohnya adalah Perpustakaan Universitas Indonesia di Depok yang dapat terlihat pada gambar 1.2.



Gambar 1. 2 *Green roof* di Perpustakaan Universitas Indonesia [8]

Dengan *green roof* diharapkan dapat mengubah kondisi perkotaan yang selama ini identik dengan polusi udara, banjir, pencemaran suara dan temperatur lingkungan yang panas dan tidak nyaman bagi manusia akibat pemanasan global dapat diatasi. Selain itu teknologi ini juga merupakan solusi yang sangat tepat dalam mengatasi masalah lahan dan ruangan di perkotaan karena penempatannya yang diletakan atap bangunan. Dan yang paling penting adalah diharapkan dengan teknologi *green roof* ini dapat menghemat penggunaan energi karena *green roof* dapat mengurangi pemanasan bangunan akibat panas matahari dengan menjadi resistan alami bangunan yang dapat menggantikan insulasi buatan gedung yang selama ini dipakai.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada penelitian ini difokuskan pada *thermal performance* pada model *green roof* yang cocok dengan keadaan iklim tropis, khususnya di Indonesia. Penelitian ini menggunakan model *green roof* sebanyak 8 jenis, dengan 7 jenis tanaman dan 1 tanah kosong sebagai referensi. Kemudian terdapat 1 buah wadah kosong sebagai acuan untuk lapisan dasar *green roof*.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mengetahui kemampuan *green roof* pada daerah tropis dengan 7 jenis tanaman yang ada.
2. Membandingkan kinerja termal *green roof* terhadap semua jenis model *green roof*.

1.4 PEMBATASAN MASALAH

Dalam melakukan penelitian *green roof* ini, dilakukan beberapa pembatasan masalah yaitu sebagai berikut:

1. *Green roof* yang dipakai adalah sebuah model, dengan sebuah wadah sebagai penampung *green roof*.
2. *Green roof* yang digunakan mempunyai 8 varian, yaitu 7 jenis tanaman dan 1 jenis tanah kosong tanpa tanaman. Kemudian terdapat 1 wadah kosong ysebagai acuan.
3. Jenis *green roof* yang digunakan dalam penelitian adalah tipe ekstensif, dengan lapisan vegetasi, media tumbuh, lapisan drainase, dan lapisan dasar container sebagai waterproof.
4. Pengambilan data berlangsung dari siang hingga malam hari.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data dan analisa dengan menggunakan beberapa tahapan, yaitu :

1. Studi Literatur

Dalam tahapan ini digunakan beberapa sumber buku, jurnal, dan penelusuran internet sebagai referensi. Tujuannya adalah sebagai tahap pembelajaran terhadap dasar teori dari penelitian tersebut dan sebagai perbandingan terhadap hasil dari penelitian ini.

2. Pembuatan Model Green Roof

Pembuatan model *green roof* menggunakan referensi yang ada namun dengan beberapa modifikasi yaitu dengan skala yang lebih kecil. Model *green roof* yang digunakan sudah dikonsultasikan terlebih dahulu kepada dosen pembimbing.

3. Pengujian Model Green Roof

Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa *green roof* dengan model yang telah dirancang dengan cara pengambilan data secara langsung terhadap semua model *green roof* yang ada.

4. Analisa dan Kesimpulan

Dari data yang dikumpulkan saat pengambilan data, data diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam perbandingan dengan referensi dan literatur, untuk kemudian dianalisa fenomena apa yang terjadi pada model *green roof*.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini :

BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup permasalahan, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan studi literatur secara umum dan secara khusus mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

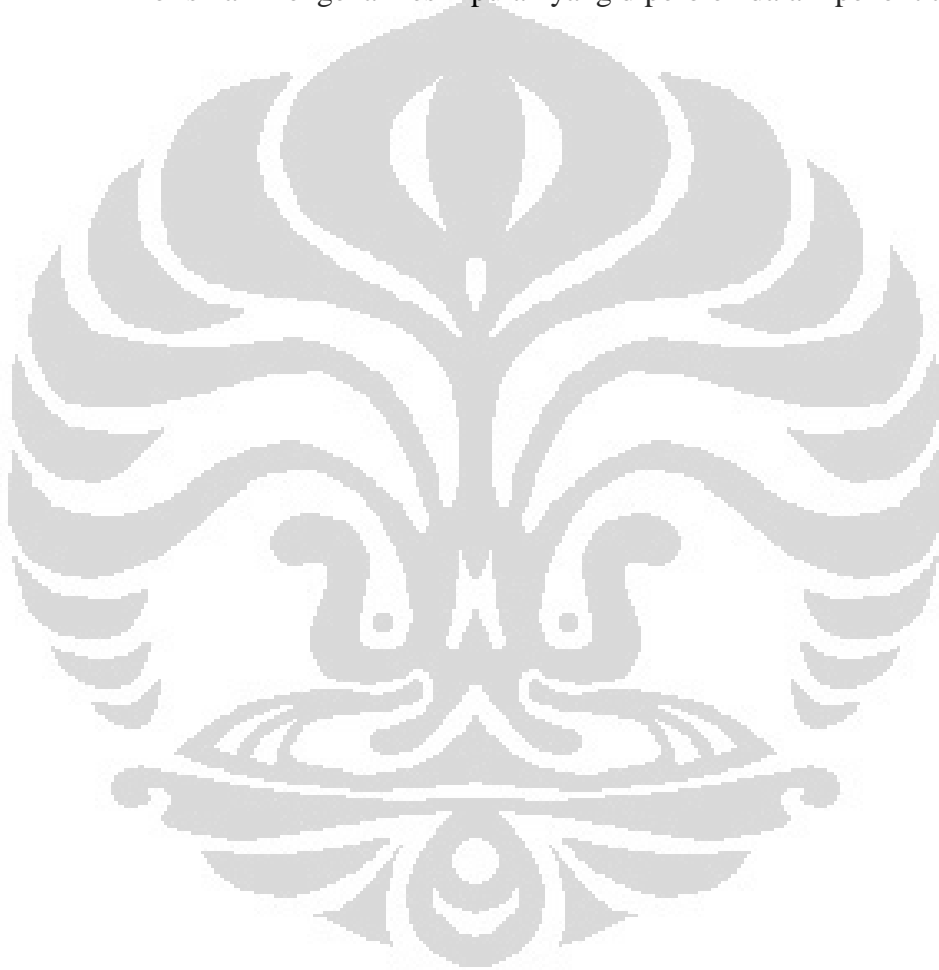
Berisikan diagram alir penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian, dan prosedur penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Menampilkan hasil pengolahan data beserta analisa dari hasil penelitian dan mengkaitkannya dengan dasar teori guna memahami fenomena yang terjadi.

BAB 5 KESIMPULAN

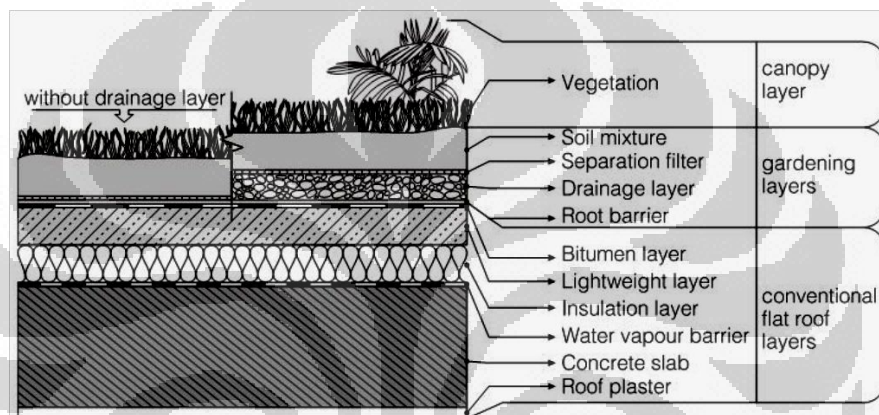
Berisikan mengenai kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 GREEN ROOF

Green roof merupakan sebuah lapisan struktur konstruksi hijau yang berada di atas sebuah bangunan. *Green roof* terdiri dari lapisan vegetasi, media tumbuh, lapisan drainase, lapisan anti air, dan lapisan beton yang menjadi dasar atap bangunan [4]. Struktur *green roof* dapat lebih jelas dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur *green roof* [4]

2.1.1 Jenis green roof

Green roof secara umum terdiri dari dua jenis yaitu *extensive green roof* dan *intensive green roof*. Namun batas antara kedua jenis tersebut tidak selalu jelas. Kemudian The German Landscape Development Research Society mengidentifikasi kategori tambahan yaitu *simple intensive green roof* [9]. Ketiga jenis *green roof* diatas akan dijelaskan sebagai berikut [4] :

1. *Extensive green roof*

Extensive green roof merupakan jenis *green roof* yang paling sederhana. Karakteristik dari *green roof* ini adalah konstruksinya yang sederhana dengan ketebalan tanah yang tidak tebal dan biaya perawatan yang terjangkau. Konstruksi pada jenis ini biasanya tidak mempunyai jalur irigasi dan tanaman yang digunakan bisa menghidupi dirinya sendiri dan tanaman yang umum dan mampu bertahan pada kondisi iklim lokal. *Green roof* jenis ini terkadang dirujuk sebagai sebuah *eco-roof* dan mempunyai

efisiensi terendah dibandingkan dengan jenis yang lainnya, dengan parameter performa energi gedung. *Extensive green roof* dapat digunakan pada atap rata atau atap yang miring dan dapat diterapkan langsung pada gedung-gedung yang sudah ada karena berat tambahan dari *green roof* yang relatif kecil.

2. *Simple intensive green roof*

Simple intensive green roof hampir sama dengan dengan jenis sebelumnya tetapi mempunyai karakteristik kepadatan vegetasi yang lebih tinggi. Pada *green roof* jenis ini terkadang dibutuhkan pengairan disaat musim kering/kemarau untuk menunjang kebutuhan tanaman dan dirancang sehingga dapat dengan mudah didatangi dan diakses. *Green roof* jenis ini mempunyai harga dan biaya perawatan yang lebih mahal dibanding dengan jenis sebelumnya, namun mempunyai keuntungan dimana efisiensi energi gedung lebih baik.

3. *Intensive green roof*

Intensive green roof merupakan jenis *green roof* yang paling rumit diantara yang lainnya dipandang dari segi konstruksi. Jenis vegetasi yang digunakan pada jenis ini sama dengan vegetasi yang ditanam pada kebun dan taman di permukaan tanah, bahkan termasuk pepohonan kecil. Lapisan tanah pada jenis ini mempunyai kemampuan untuk menopang jenis vegetasi seperti itu, dan sistem pengairan dan perawatan sangat dibutuhkan. *Intensive green roof* sering dirujuk sebagai *garden roof* dan, tergantung dari total berat lapisan tanah tambahan, hanya dapat digunakan pada gedung yang dapat menopang beban berlebih. Ini adalah jenis *green roof* yang paling mahal dipandang dari konstruksi dan biaya perawatan, namun merupakan jenis yang paling mudah didatangi dan diakses, dan menyediakan area tambahan untuk para penghuni gedung disepanjang tahun.

2.1.2 Fungsi Green Roof

Green roof selain mempunyai beberapa fungsi, baik dari segi estetika, lingkungan, dan efisiensi energi. Fungsi-fungsi tersebut akan dijelaskan di bawah ini [10]:

1. Kenyamanan publik

Atap pada gedung biasanya menjadi lahan yang kurang dimanfaatkan, dan hanya dipakai sebagai tempat pembuangan asap, kondenser pada pendingin ruangan, dan tempat pembangkit listrik. Jika dirancang secara efektif, *green roof* dapat menjadi tempat nyaman bagi publik mengganti meningkatnya jumlah ruang terbuka umum yang hilang akibat urbanisasi. *Green roof* juga dapat meningkatkan jumlah ruang rekreasi untuk gedung tempat tinggal.

2. Keuntungan estetika visual

Green roof juga lebih menyenangkan untuk dilihat dari gedung lain. Dengan banyaknya dedaunan dan warna hijau pada gedung membuat gedung menjadi lebih menarik perhatian.

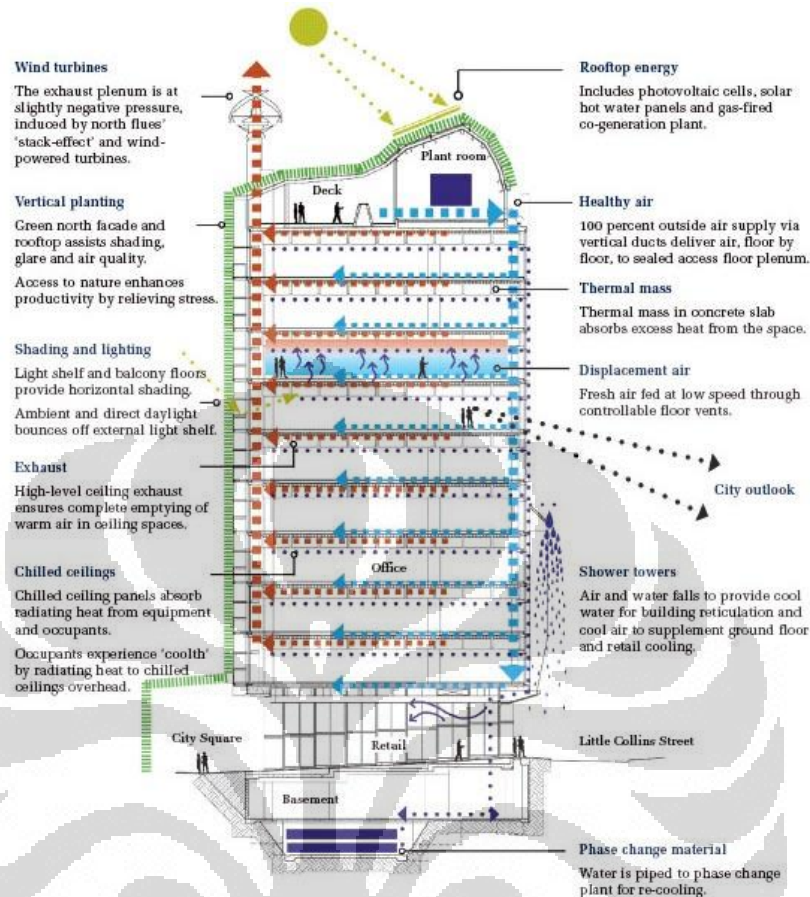
3. Memperpanjang jangka waktu pemakaian lapisan atap

Sebuah atap yang tidak terlindungi dengan lapisan vegetasi, akan terkena paparan sinar matahari yang ekstrim dan radiasi sinar ultraviolet. Apabila terakumulasi akan mengakibatkan kerusakan secara berkala kerusakan atap secara mekanis dan kimiawi, dimana akan terdapat tekanan (*stress*) besar pada material atap. Dengan adanya *green roof* maka paparan sinar matahari dan radiasi sinar ultraviolet tidak langsung terkena atap sehingga dapat memperpanjang jangka waktu pemakaian.

4. Meningkatkan Keanekaragaman hayati

Green roof menggantikan lahan hijau tempat habitat hewan dan tumbuhan yang hilang akibat perkembangan jaman. Dengan jenis vegetasi yang sesuai dengan lingkungannya, *green roof* dapat menjadi tempat yang aman bagi burung, serangga dan tumbuhan lainnya untuk tumbuh.

5. Mengurangi biaya pendinginan dan pemanasan ruangan



Gambar 2. 2 diagram skematik pendinginan *green roof* [10]

Dalam jangka waktu pendek, penghematan langsung dapat dirasakan dalam biaya mendinginkan dan menghangatkan ruangan karena lapisan vegetasi menyediakan insulasi yang sangat baik bagi gedung. *Green roof* bertindak sebagai *thermal mass* yang menjaga temperatur dalam ruangan gedung relatif tetap konstan. *Green roof* pada musim panas dapat menjaga suhu ruangan tetap dingin dan pada musim dingin dapat menjaga suhu ruangan tetap hangat, sehingga menghilangkan ketergantungan pada sistem HVAC. Sistemnya dapat dilihat pada gambar 2.2.

6. Meningkatkan efisiensi *photovoltaic cell*

Saat ini, Eropa telah menguji efisiensi *photovoltaic cell* yang dikombinasikan dengan *green roof*, dan berhasil meningkatkan efisiensi sebesar 25% karena temperatur yang lebih rendah pada *green roof*.

Penelitian seperti ini menjadi cukup terkenal karena lebih ramah lingkungan dan dapat menghemat pengeluaran.

7. Manajemen buangan air hujan



Gambar 2. 3 skematik manajemen buangan air hujan [11]

Pada gambar 2.3 terlihat jika tanpa menggunakan *green roof*, air hujan yang terkumpul di atas gedung langsung dialirkan ke saluran pembuangan melalui pipa pembuangan. Namun dengan adanya *green roof*, air hujan tidak langsung disalurkan ke saluran pembuangan tetapi diserap terlebih dahulu oleh lapisan tanah dan digunakan tumbuhan untuk fotosintesis. Dengan demikian, *green roof* juga dapat mengurangi kemungkinan banjir jika terdapat hujan badai.

8. Meningkatkan kualitas udara

Vegetasi mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kualitas udara pada lingkungan sekitarnya. Dengan proses fotosintesis, vegetasi dapat mengkonversi karbon dioksida menjadi oksigen. Bahkan untuk tumbuhan seperti pepohonan kecil dapat menyaring partikel-partikel kotor di udara dengan daun, dan kemudian bersih secara sendirinya apabila turun hujan.

9. Mengurangi efek gas rumah kaca pada perkotaan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *green roof* dapat meningkatkan kualitas lingkungan sekitarnya. Hal ini sangat penting dalam mengurangi

efek gas rumah kaca yang biasa terjadi pada perkotaan. Fenomena ini terjadi karena kepadatan yang sangat besar dan banyaknya material penyerap panas, sehingga meningkatkan temperatur kota. *Green roof* menggantikan material yang menyerap panas tersebut sehingga membuat temperatur atap gedung menjadi lebih rendah. Apabila dapat menjadikan *green roof* menggantikan banyak atap gedung, maka efek gas rumah kaca dapat dikurangi.

10. Mengurangi polusi suara

Green roof dapat secara jelas mengurangi polusi suara. Kombinasi antara lapisan tanah dan lapisan vegetasi bekerja dalam mengurangi frekuensi suara.

11. Mengurangi kemungkinan kebakaran

Green roof pada beberapa keadaan lingkungan dapat menjadi mengurangi kecepatan kebakaran pada gedung karena lapisan tanahnya yang terdapat kandungan air. Namun kemampuan mengurangi penyebaran kebakaran ini bisa hilang jika tanah yang ada pada *green roof* kering.

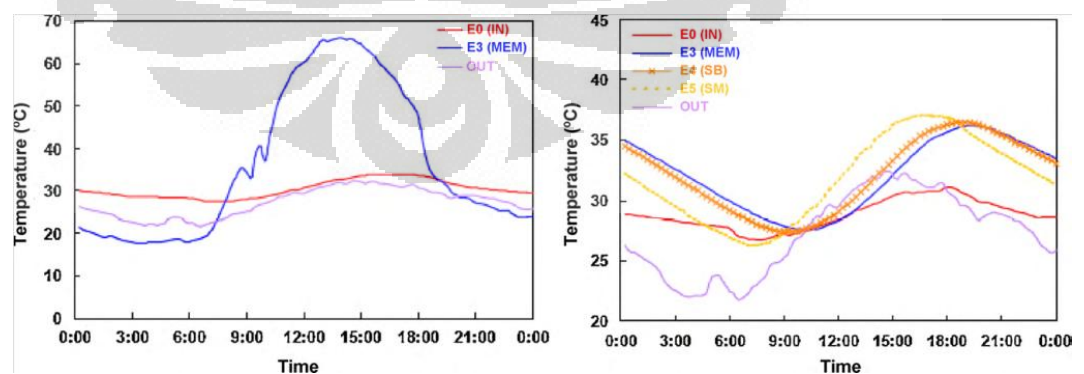
2.2 PERKEMBANGAN GREEN ROOF DALAM PENGHEMATAN ENERGI

Energi sebagian besar digunakan untuk operasional gedung, terutama di Inggris dan negara-negara berkembang lainnya sehingga menyebabkan meningkatnya emisi CO₂ [12]. Sebagian besar energi digunakan untuk menjaga temperatur dalam ruangan gedung stabil dengan menggunakan sistem pendingin dan pemanas ruangan. Saat musim panas, area yang terpapar sinar matahari secara langsung di *black roof* dapat mencapai 80 °C, sedangkan dengan *green roof* hanya mencapai 27 °C [13]. *Green roof* mendinginkan melalui *latent heat loss* dan meningkatkan pemantulan radiasi sinar matahari.

Wong et al. [14] mendapatkan hasil dari pengukuran langsung di lapangan yaitu dalam kondisi hangat, panas pada atap yang kosong terakumulasi dari siang secara terus menerus sehingga masuk ke dalam gedung pada malam hari. Atap dengan tanaman mengurangi penambahan panas yang masuk di siang hari, sehingga efeknya pada malam hari lebih sedikit. Dengan mengukur temperatur

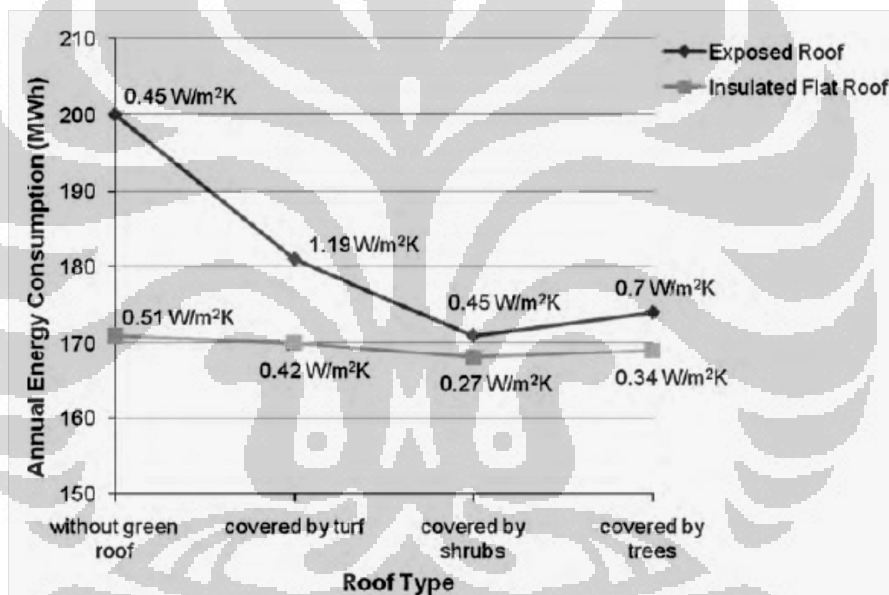
udara pada ketinggian bervariasi di atas *green roof* didapatkan bahwa setelah matahari terbenam, temperatur udara di atas tumbuhan berkurang secara signifikan dan terus menurun sepanjang malam. Namun lapisan tanah pada *green roof* menyimpan panas sehingga temperatur udara di sekitar *green roof* naik.

Lui dan Minor [15] menanam dua sistem *green roof* berbeda, dengan masing-masing 75-100 mm ketebalan dari medium tumbuh, di Toronto, Canada. Di bawah lapisan *green roof* diletakkan *heat flux transducer*. Sebuah atap referensi ditambahkan dengan tipe yang sama (lapisan baja dengan insulasi di atasnya), tanpa ada tumbuhan, digunakan sebagai referensi. Dari pengukuran yang mereka lakukan, didapatkan penambahan panas melalui *green roof* berkurang dengan rata-rata 70-90% saat musim panas dan pengurangan panas sebesar 10-30% di musim dingin. Termokopel diletakkan pada kedalaman berbeda di struktur alat, termasuk di dalam ruangan. Temperatur puncak lapisan atap berkurang dengan menggunakan *green roof* dan ditunda dari sekitar pukul 14.00 ke 17.00. Hal ini terjadi karena efek *thermal mass* dari *green roof*. Gambar di bawah memberikan gambaran tentang profil temperatur pada atap referensi dan pada beberapa tipe *green roof*. Garis pada grafik menunjukkan temperatur yang diambil menggunakan termokopel dimana E0 diletakkan di dalam ruangan, E3 di bawah lapisan anti air, E4 di bawah lapisan tanah, E5 di tengah lapisan tanah, dan OUT merekam temperatur lingkungan. Gambar 2.4 menunjukkan profil temperatur pada penelitian Lui dan Minor.



Gambar 2. 4 Grafik pada musim panas antara *green roof* dan atap acuan [15]

Wong et al [16] membuat penelitian langsung di lapangan pada sebuah atap gedung di Singapura untuk mengetahui temperatur pada perbedaan kedalaman *green roof* dengan tanaman yang berbeda-beda. Dari hasil yang mereka dapatkan, mereka menghitung hambatan termal dari setiap tanaman dengan menggunakan persamaan sederhana sebagai parameter. Mereka menggunakan program DOE-2 Simulation untuk membandingkan efek insulasi dari setiap tanaman yang digunakan sebagai *green roof*. Mereka memodelkan atap dengan insulasi dan tanpa insulasi dan memperkirakan efek dari setiap tanaman pada setiap atap. Namun hasil dari penelitian ini tidak dapat digunakan sebagai parameter model termal.



Gambar 2. 5 Perbandingan konsumsi energi pada setiap atap [16]

Pada gambar 2.5, terlihat bahwa terdapat penghematan energi dari atap yang mempunyai insulasi. Dengan menambahkan tanaman pada atap insulasi, terlihat perbedaan penghematan terbesar terdapat pada yang menggunakan tanaman *turf*. Untuk atap dengan insulasi dengan nilai U sebesar $0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$, *turf* hanya mengurangi penggunaan energi sebesar 0,6%. Meskipun model dari eksperimen ini belum dapat dipastikan keabsahannya, namun hasilnya dapat dibandingkan dengan yang dibuat oleh Nichaou, et al. [17] Nichaou menguji kemampuan *green roof* dalam menghemat energi pada gedung dengan

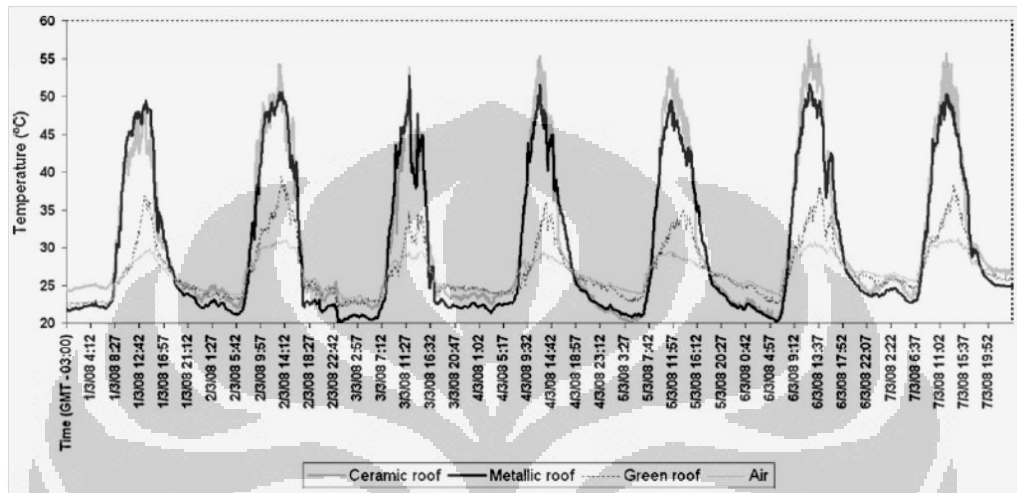
menggunakan perbandingan ketebalan insulasi yang telah ada. Dengan menggunakan sistem insulasi yang sama pada dua gedung yang ada di Athena, Yunani, mereka mengukur temperatur ruangan pada gedung tersebut. Hasilnya didapatkan bahwa tanpa *green roof* suhu ruangan dapat mencapai 30 °C pada 68% masa penelitian, sedangkan dengan *green roof* temperatur tertinggi ruangan hanya terdapat pada 15% masa penelitian. Kemudian mereka menganalisa kemungkinan penghematan energi per tahunnya dengan menggunakan *software* TRNSYS. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penghematan energi dengan dan tanpa menggunakan *green roof* [17]

Roof Construction	U value without green roof (W/m ² K)	U value with green roof (W/m ² K)	Annual energy saving % for heating	Annual energy saving % for cooling	Total annual energy saving
Well insulated	0.26-0.4	0.24-0.34	8-9%	0	2%
Moderately insulated	0.74-0.8	0.55-0.59	13%	0-4%	3-7%
Mon insulated	7.76-18.18	1.73-1.99	45-46%	22-45%	31-44%

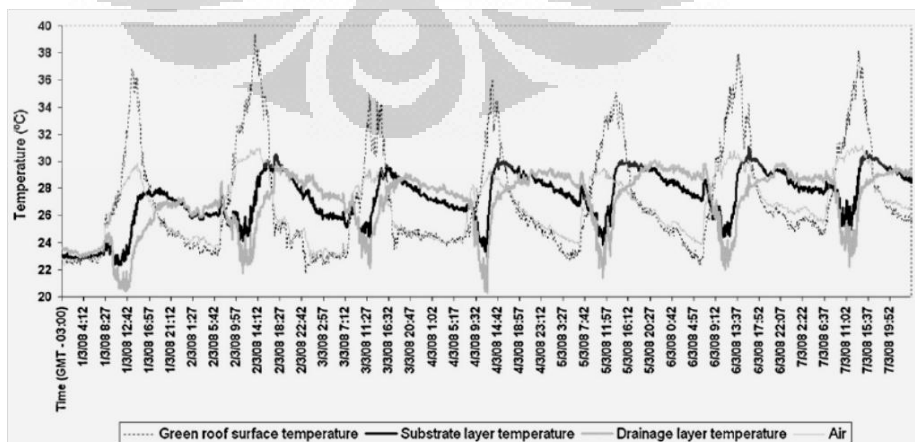
Parizotto et al [18] membuat penelitian dengan membandingkan 3 atap yaitu atap keramik, atap metalik, dan *green roof*. Pengujian dilakukan pada sebuah rumah yang tidak ditinggali selama masa pengujian dan bertempat di Florianapolis, selatan Brazil. Pengukuran dilakukan dua kali masing-masing satu minggu saat musim panas dan musim dingin. Parizotto melakukan perbandingan temperatur eksternal antar atap dan perbandingan temperatur tiap profil/lapisan di *green roof*. Khusus pada musim panas, pengujian terhadap 3 atap memperlihatkan bahwa *green roof* mempunyai suhu yang lebih rendah pada siang hari terutama sekitar jam 2 siang yang merupakan suhu tertinggi dibandingkan dengan kedua atap yang lainnya. Pada atap keramik temperatur maksimumnya adalah 57,5 °C, pada atap metalik adalah 51,7 °C, dan pada *green roof* temperatur maksimumnya hanya 39,4 °C. Sedangkan pada malam hari temperatur eksternal *green roof* terlihat lebih tinggi dibandingkan atap yang lain dan hampir sama dengan temperatur lingkungannya dengan perbedaan temperatur maksimal sekitar 2 °C. Pada atap keramik dan atap metalik temperaturnya lebih rendah dibandingkan *green roof* dengan perbedaan temperatur maksimum 3,2 °C dan 2,6 °C secara

berturut-turut. Temperatur terendah pada atap keramik dan atap metalik adalah 20°C dan $19,8^{\circ}\text{C}$, dan untuk *green roof* adalah $21,7^{\circ}\text{C}$. Selama masa pengujian di musim panas, variasi temperatur pada *green roof* adalah $17,7^{\circ}\text{C}$ dan untuk atap keramik dan metalik adalah $37,2^{\circ}\text{C}$ dan $32,6^{\circ}\text{C}$. Perbandingan antar atap dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 temperatur eksternal pada setiap atap di musim panas [18]

Analisa Parizotto berikutnya yaitu mengenai profil temperatur setiap lapisan yang ada pada *green roof* seperti yang terlihat pada gambar 2.7. Terlihat bahwa lebar temperatur rata-rata $14,4^{\circ}\text{C}$, pada lapisan tanah dan drainase adalah $6,3$ dan $7,9^{\circ}\text{C}$. Temperatur maksimum pada lapisan tanah adalah $31,3^{\circ}\text{C}$ dan pada lapisan drainase $30,1^{\circ}\text{C}$. Temperatur minimum pada lapisan tanah dan lapisan drainase adalah $22,3^{\circ}\text{C}$ dan $20,3^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2. 7 pada setiap lapisan di *green roof* [18]

2.3 FAKTOR BIOFISIKAL YANG MEMPENGARUHI PERFORMA GREEN ROOF

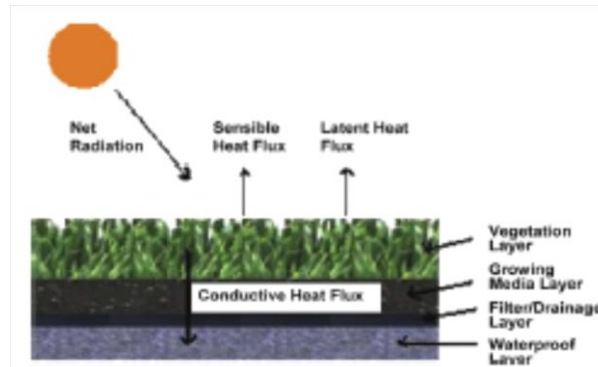
Green roof dapat dikategorikan sebagai pendingin pasif, dimana tidak dibutuhkan energi tambahan dalam melakukan pendinginan [19] [20]. Hal ini jelas sangat berbeda dengan cara pendinginan yang dilakukan oleh pendingin ruangan lainnya seperti *Air Conditioner (AC)*. Dalam melakukan kerjanya, AC membutuhkan energi listrik sehingga mengakibatkan pemborosan energi.

Pendinginan pasif dapat dilakukan *green roof* karena sifat biofisikal yang dipunyai oleh tumbuhan yang digunakan. Sifat biofisikal tersebut diantaranya faktor bayangan seperti *Leaf Area Index (LAI)*, karakteristik geometri daun, dan difusifitas termal seperti jumlah kelembaban dan hambatan termal tanah, dan evapotranspirasi [18] [21].

Leaf Area Index (LAI) adalah total luas area satu sisi daun per luas area permukaan tanah [22]. Berdasarkan pernyataan diatas maka LAI tidak mempunyai dimensi. LAI dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui hilangnya radiasi, evapotranspirasi (pernapasan) tanaman, dan pelepasan uap air ke udara.

Pengukuran LAI bisa dilakukan dengan 2 cara, yaitu secara langsung dan secara tidak langsung. Pengukuran secara langsung dilakukan dengan menghitung luas area daun secara langsung. Pengukuran ini juga biasa disebut tes kehancuran. Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan *leaf area meter*, atau beberapa koefisien yang berhubungan dengan dimensi tanaman [23] [24]. Pengukuran secara tidak langsung dapat dilakukan dengan foto satelit dan lain-lain.

LAI digunakan dalam perhitungan *sensible heat flux* pada perhitungan keseimbangan energi. Keseimbangan energi pada *green roof* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2. 8 skematik keseimbangan energi pada *green roof* [25]

Persamaan keseimbangan energi pada *green roof* dapat terlihat pada persamaan dibawah. [26]

$$R_n - G - L - H = 0 \quad (1)$$

Dimana R_n adalah radiasi matahari (W/m^2), G adalah fluks kalor tanah (W/m^2), L adalah fluks kalor laten (W/m^2), dan H adalah fluks kalor sensibel (W/m^2). LAI digunakan pada persamaan fluks kalor sensibel seperti yang terlihat pada persamaan dibawah.

$$H = LAI \cdot h (\Delta T) \quad (2)$$

Evapotranspirasi terdiri dari dua kata, yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah proses perubahan molekul di dalam keadaan cair dengan spontan menjadi gas. Transpirasi adalah hilangnya uap air dari permukaan tumbuhan. Sehingga evapotranspirasi adalah proses perpaduan antara evaporasi tanah dan transpirasi tumbuhan [27]. Dengan adanya evapotranspirasi, maka perpindahan panas dua fasa terjadi pada *green roof*. Dengan adanya perpindahan kalor dua fasa, maka perpindahan kalor akan menjadi jauh lebih baik dibandingkan perpindahan kalor satu fasa.

2.4 PERPINDAHAN KALOR [28]

Perpindahan kalor adalah suatu bidang ilmu yang menganalisa perpindahan energi akibat terjadinya gradien suhu pada benda atau suatu material. Energi yang berpindah tersebut disebut kalor atau panas dan secara umum perpindahan kalor dibagi menjadi tiga, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.4.1 Konduksi

Perpindahan kalor konduksi merupakan perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur rendah dimana perpindahan kalor tersebut terjadi secara hantaran melalui benda padat dan laju perpindahan kalor berbanding dengan gradient suhu normal:

$$q = -k.A \frac{T_0 - T_1}{\Delta x} \quad (3)$$

Dimana :

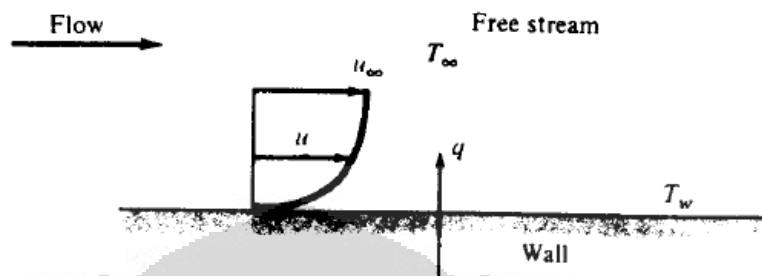
- q = Energi kalor (W)
- k = Konduktivitas thermal (W/m.K)
- A = Luas permukaan (m^2)
- Δx = Tebal penampang permukaan (m)
- T_0 = Temperatur yang lebih tinggi (K)
- T_1 = Temperatur yang lebih rendah (K)

Nilai minus, (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa kalor selalu berpindah ke arah temperatur yang lebih rendah. *Heat flux* q''_k (W/m^2) merupakan rata-rata perpindahan panas pada arah x per unit luasan tegak lurus dengan arah perpindahan panas, nilai dari *heat flux* proporsional dengan temperatur gradien dT/dx pada arah tersebut. Konduktifitas termal (W/m.K) merupakan transport properties yang dimiliki oleh material medium proses perpindahan panas. Nilai minus pada hukum *fourier* menandakan bahwa kalor berpindah ke arah penurunan temperature.

2.4.2 Konveksi

Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan kalor yang terjadi pada permukaan suatu benda (tidak padat) dengan suatu fluida dikarenakan adanya pergerakan dari partikel-partikel fluida pada dua temperature yang berbeda. Mekanisme perpindahan kalor konveksi terdiri atas dua yaitu difusi dan gerakan fluida. Gerakan fluida ditimbulkan karena adanya perbedaan temperatur pada fluida sehingga

terjadi proses perpindahan kalor. Proses perpindahan kalor konveksi dapat digambarkan seperti pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Skematik perpindahan kalor konveksi [28]

Gambar 2.9 menggambarkan interaksi permukaan suatu dinding dengan medan aliran fluida dimana medan aliran fluida mewakili aliran fluida sepanjang permukaan panas. Interaksi antara permukaan dinding dengan fluida akan menghasilkan medan kecepatan yang bervariasi, dimulai dari nol pada daerah dekat permukaan sampai dengan kecepatan maksimum pada aliran. Jika pada permukaan dinding dengan aliran fluida ini memiliki perbedaan temperatur maka akan membentuk suatu daerah batas termal yang besarnya bervariasi (terdapat distribusi temperature) dari T_w sampai dengan T_∞ . Jika besar $T_w > T_\infty$ maka konveksi akan terjadi. Pada perpindahan kalor konveksi berlaku hukum pendinginan Newton, yaitu :

$$q = h.A(T_s - T_\infty) \quad (4)$$

Perpindahan kalor konveksi secara umum dapat diklasifikasikan ke dalam dua bagian yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas adalah jenis konveksi yang fenomena perpindahan kalornya terjadi akibat adanya perbedaan densitas yang disebabkan perubahan temperatur pada fluida, sedangkan konveksi paksa merupakan suatu fenomena perpindahan kalor konveksi yang dipengaruhi oleh adanya

gaya eksternal terhadap aliran, misalnya karena adanya pengaruh aliran paksa dari fan dan pompa.

2.4.3 Radiasi

Mekanisme perpindahan kalor tanpa melalui medium antara disebut radiasi. Radiasi merupakan perpindahan kalor melalui daerah hampa dimana konduksi dan konveksi melakukan perpindahan kalor melalui suatu medium. Dalam termodinamika ditunjukkan bahwa setiap benda hitam memiliki pancaran energi dengan laju sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda tersebut dan berbanding langsung dengan luas permukaan. Persamaan radiasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$q_r = \varepsilon \sigma AT^4 \quad (5)$$

di mana σ merupakan konstanta proporsionalitas atau konstanta Stefan – Boltzmann dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Persamaan tersebut berlaku hanya untuk radiasi termal saja.

2.4.4 Difusivitas Termal

Difusivitas termal digunakan untuk mengukur rata-rata kalor yang mengalir pada suatu titik pada suatu benda ke titik lainnya. Difusivitas termal dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

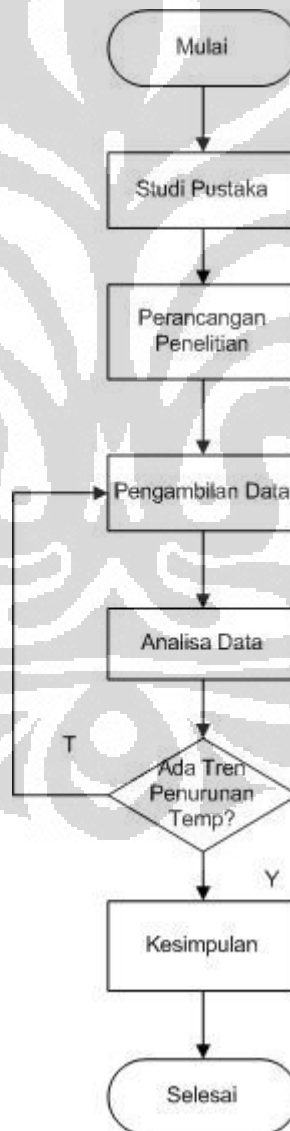
$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (6)$$

Dimana α merupakan difusivitas termal (m^2/s), k merupakan konduktivitas termal (W/m.K), ρ merupakan massa jenis material (kg/m^3), dan C_p merupakan kapasitas panas spesifik (J/kg.K).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk melihat *thermal performance* pada *green roof* dengan berbagai variasi tanaman yang ada di Indonesia. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Applied Heat Transfer Research Group Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Sedangkan dalam pengambilan data, alat penelitian diletakkan di atap gedung Engineering Center, FTUI Depok. Diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Diagram di atas menggambarkan bagaimana awal penelitian dilakukan sampai dengan selesai. Studi pustaka berupa mencari referensi tentang *green roof* dilakukan pertama kali. Studi pustaka dilakukan secara terus-menerus sampai penelitian selesai untuk membandingkan hasil penelitian dengan referensi dan untuk penulisan hasil penelitian. Kemudian dilakukan perancangan penelitian yaitu berupa merencanakan prosedur dan alat penelitian, membuat alat-alat penelitian seperti model *green roof*, rak untuk model *green roof*, dan mempersiapkan alat ukur. Setelah perancangan alat penelitian dan prosedur penelitian telah selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah pengujian alat penelitian. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data dengan parameter yang telah ditentukan. Data yang dihasilkan dari pengujian selanjutnya akan dianalisa apakah sudah sesuai dengan literatur atau belum. Jika belum, maka pengambilan data dilakukan lagi dengan mengubah beberapa parameter atau kondisi teknis yang ada di lokasi pengujian. Jika sudah sesuai dengan literatur dan data telah dianalisa lebih lanjut, maka penelitian diakhiri dengan penarikan kesimpulan.

Nilai parameter-parameter kajian ini kemudian disajikan dalam bentuk grafik, diagram, dan formulasi berikutnya sehingga memudahkan dalam melihat hubungan antar parameter.

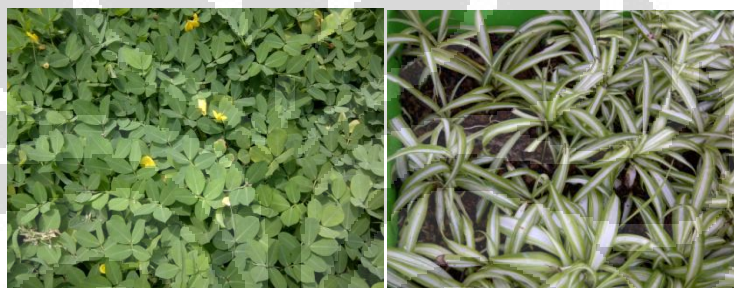
3.2 SKEMA PENGUJIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 7 variasi tanaman, 1 tanah kosong, dan 1 wadah kosong tanpa tanah. Jenis tanaman yang digunakan pada penelitian ini akan disajikan pada matriks variabel pada tabel 3.1:

Tabel 3. 1 Matriks variabel pengujian

Jenis Tanaman	Acuan
Arachis pintoi	tanah kosong wadah kosong
Chlorophytum sp.	
Carex Morrowii	
Ipomoea batatas	
Portulaca Grandiflora	
Althenantera ficoidea	
Pennisetum Purpureum schamach	

Pemilihan tanaman pada penelitian kali ini didasari pada beberapa pertimbangan. Beberapa pertimbangan tersebut antara lain jenis tanaman tersebut mudah ditemui di Indonesia, tanaman tumbuh menjalar ke samping atau ke atas dengan pertumbuhan yang tidak lebih dari 30 cm, dan tanaman tersebut mampu hidup tanpa perawatan secara teratur sehingga memenuhi syarat sebagai tanaman untuk tipe *green roof* ekstensif. Nama tanaman pada tabel 3.1 dalam bahasa Indonesia secara berurutan dari atas adalah kacang hias/kacang pinto, lili paris, kucai jepang, ubi jalar, sutra bombay, bayam merah, dan rumput gajah mini. Gambar 3.2 sampai dengan gambar 3.5 merupakan jenis tumbuhan yang digunakan pada penelitian kali ini.



Gambar 3. 2 *Arachis pintoi* dan *Chlorophytum sp.*



Gambar 3. 3 *Carex morrowii* dan *Ipomoea batatas*



Gambar 3. 4 *Portulaca Grandiflora* dan *Althenantera ficoidea*



Gambar 3. 5 *Pennisetum Purpureum schamach*

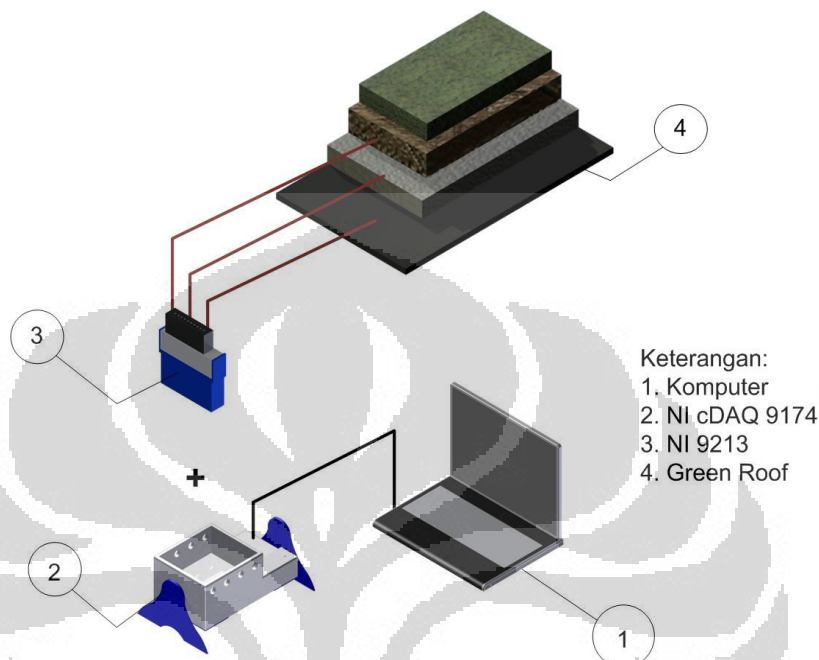
Pada beberapa tanaman tertentu terdapat beberapa kesamaan karakteristik seperti pada arachis pintoi, ipomoea batatas, dan pennisetum purpureum schamach yang tumbuh menjalar. Kemudian untuk chlorophytum sp., dan carex morrowii yang sebenarnya tumbuh mirip dengan rumput gajah mini namun daunnya tidak menyentuh dan menutupi tanah. Kedua tanaman ini mempunyai bentuk daun yang mirip, yaitu bentuk daun yang runcing. Sedangkan untuk portulaca grandiflora dan althenantera ficoidea tidak tumbuh menjalar melainkan tumbuh ke atas dan mempunyai daun yang cukup lebat pada setiap batangnya. Kedua tumbuhan ini juga mempunyai maksimum ketinggian tumbuh yang tidak sampai 20-30 cm tiap batangnya.

Untuk kekuatan tumbuh tanpa perawatan, chlorophytum sp., carex morrowii, althenantera ficoidea, dan pennisetum purpureum schamach mempunyai kemampuan yang sangat baik. Sedangkan untuk arachis pintoi, ipmoea batatas, dan portulaca grandiflora tidak mempunyai kemampuan yang cukup baik terutama untuk arachis pintoi. Karakteristik tanaman ini jika tidak mendapatkan sumber air yang cukup daunnya akan mengering dan apabila sudah terdapat sumber air lagi dengan cepat daun kering tergantikan dengan daun yang baru.

3.3 PROSEDUR PENGUJIAN

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengambilan data berupa data temperatur. Data temperatur yang dibutuhkan pada penelitian ini ada 3 titik pada setiap jenis tumbuhan dan pada acuan tanah kosong, yaitu temperatur

lapisan tanah, temperatur lapisan drainase, dan temperatur permukaan dasar wadah. Gambar 3.6 memperlihatkan bagaimana lapisan yang ada pada model *green roof* yang dipakai pada penelitian kali ini.

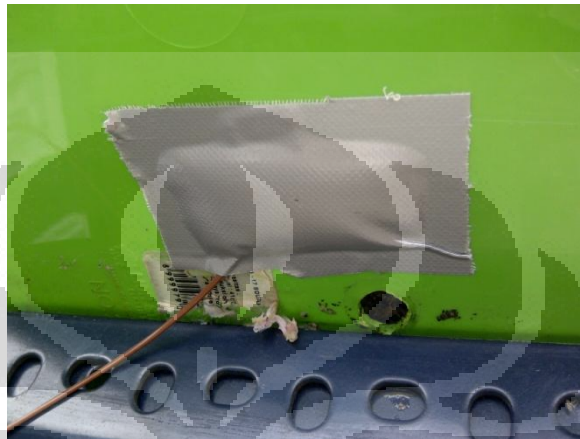


Gambar 3. 6 Skema pengujian penelitian *green roof*

Pada gambar 3.6, terlihat *green roof* mempunyai 4 lapisan. Lapisan paling atas atas lapisan hijau yang terdiri dari vegetasi. Lapisan kedua adalah medium tumbuh tanaman yang berupa tanah. Kemudian lapisan ketiga adalah lapisan drainase yang berupa batu kerikil. Kemudian lapisan terakhir dapat dikatakan sebagai lapisan *waterproof* yang berupa dasar dari wadah plastik. Ketebalan lapisan medium tumbuh, lapisan drainase, dan lapisan dasar permukaan wadah masing-masing adalah 9 cm, 4 cm, dan 0,2 cm. Untuk ketebalan lapisan hijau bervariasi tergantung dari cara tumbuh tanaman tersebut, namun mempunyai batas maksimum ketinggian tidak lebih dari 30 cm dan apabila tumbuh merambat, tidak melebihi wadah plastik tempat masing-masing tumbuhan tumbuh. Gambar 3.11 menunjukkan profil struktur lapisan *green roof* yang digunakan pada penelitian kali ini.

Untuk temperatur permukaan dasar wadah, pengambilan data juga dilakukan pada wadah kosong yang juga digunakan sebagai acuan untuk data

wadah yang berisi tumbuhan dan tanah kosong. Selain itu, data kondisi lingkungan saat pengambilan data berlangsung juga diambil. Data-data tersebut berupa data temperatur lingkungan/ambient, data kecepatan angin, dan data radiasi sinar matahari. Total pengambilan data temperatur pada penelitian ini adalah 26 titik.



Gambar 3. 7 Titik pengukuran pada dasar permukaan wadah

Gambar 3.7 menunjukkan letak titik pengukuran temperatur pada dasar permukaan wadah. Peletakan diletakkan di bagian bawah, yang berada di tengah permukaan. Digunakan lakban berwarna silver untuk melekatkan termokopel ke wadah .



Gambar 3. 8 Titik pengukuran pada lapisan drainase

Pada 3.8 di atas menunjukkan cara pengukuran temperatur pada lapisan drainase. Dasar wadah yang sudah dilubangi untuk mengaliri air keluar dari

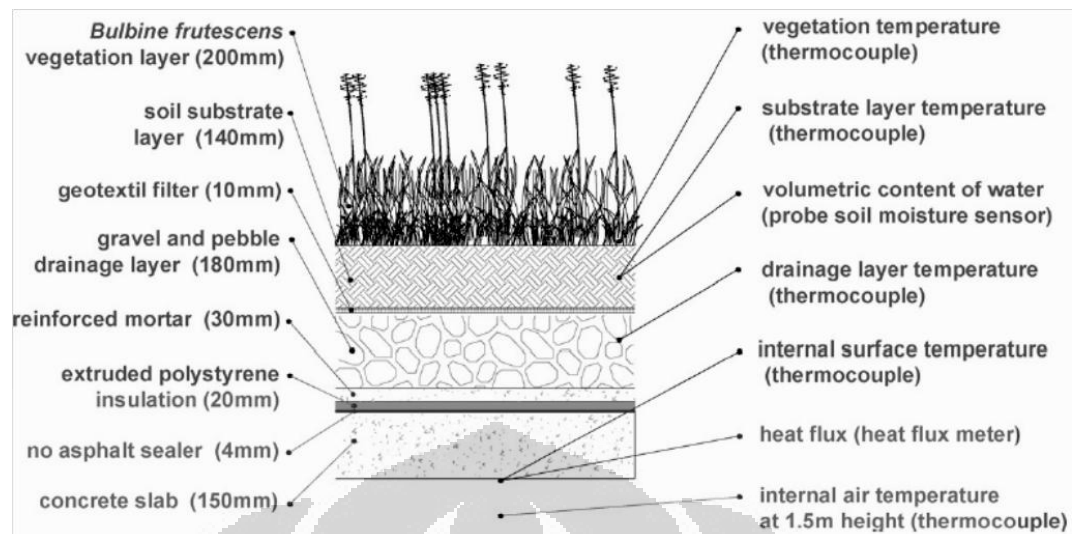
wadah juga digunakan untuk termokopel masuk ke dalam daerah lapisan drainase. Kemudian termokopel dimasukkan ke dalam lapisan drainase sampai benar-benar tersangkut di daerah drainase di sekitar 2 cm lapisan drainase.

Untuk gambar 3.9 di bawah, menunjukkan cara peletakan alat ukur untuk pengukuran temperatur di lapisan tanah *green roof*. Pada gambar terlihat bahwa termokopel dimasukkan langsung ke dalam lapisan tanah. Posisi peletakan termokopel diusahakan berada di tengah dan sekitar 4 cm dari permukaan tanah.



Gambar 3. 9 Titik pengukuran pada lapisan tanah

Konsep dari peletakan 3 titik pengukuran temperatur di *green roof* yang digunakan pada kali ini diambil berdasarkan penelitian yang dibuat oleh Parizotto et al [18]. Pada penelitiannya, Parizotto membuat tiga perbandingan atap, yaitu atap keramik, atap metalik berwarna putih, dan *green roof*. Khusus pada *green roof*, iya menempatkan 5 termokopel pada 5 titik berbeda untuk mengukur temperatur. Titik tersebut tersebar di tumbuhan, lapisan tanah, lapisan drainase, lapisan atap dalam ruangan, dan pada ketinggian 1,5 meter dari atap. Parizotto kemudian membandingkan permukaan luar pada *green roof* dengan atap keramik dan atap metalik. Gambar 3.10 menunjukkan titik pengukuran pada *green roof* di penelitian milik Parizotto.

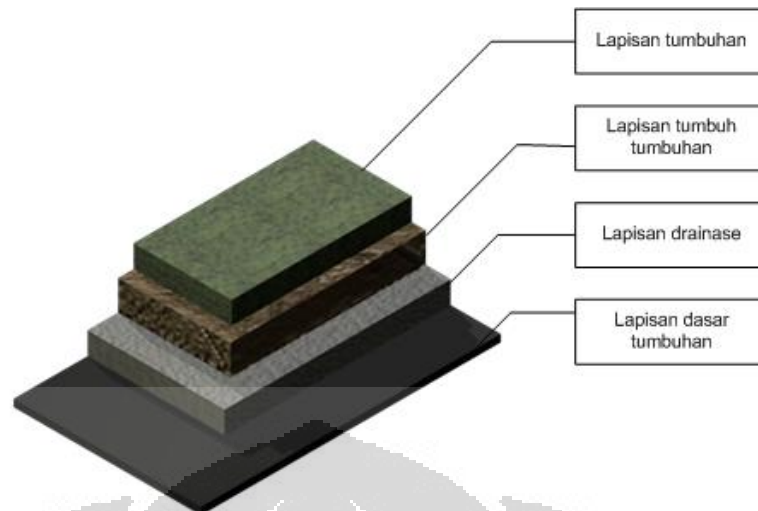


Gambar 3. 10 Komponen dan titik pengukuran pada green roof milik Parizotto [18]

Selain mengukur pengukuran temperatur, Parizotto juga mengukur fluks kalor, dan kelembaban lapisan tanah pada *green roof*. Dengan adanya heat flux meter dan probe soil moisture sensor, memungkinkan Parizotto untuk membandingkan profil temperatur pada *green roof* dengan kelembaban udara, melihat pengaruh jumlah volumetrik air pada tanah terhadap temperatur lapisan tanah dan lapisan drainase, serta mengevaluasi fluks kalor yang melewati atap keramik, atap metalik, dan *green roof*.

3.4 KOMPONEN PENGUJIAN

Komponen pengujian yang utama digunakan pada penelitian *green roof* ini adalah model *green roof*. Model *green roof* ini berukuran 40 cm x 30 cm x 14 cm. Digunakan sebuah wadah plastik sebagai tempat untuk setiap model *green roof*. Pada setiap model *green roof* mempunyai 4 lapisan, yaitu lapisan tumbuhan, lapisan tumbuh tumbuhan yaitu tanah, lapisan drainase yaitu batu kerikil dan lapisan dasar permukaan wadah. Ketebalan masing-masing lapisan adalah 9 cm, 4 cm, dan 0,2 cm dan tidak termasuk lapisan tumbuhan. Untuk lapisan tumbuhan sendiri bervariasi pada setiap tumbuhan, dengan ketinggian maksimum 30 cm, dan tidak tumbuh melewati lebar wadah yang ada.



Gambar 3. 11 Struktur model *green roof*

Selain komponen utama di atas, terdapat beberapa komponen tambahan sebagai penunjang dalam pengujian ini. Salah satu komponen tersebut adalah rak setinggi 1 meter dengan panjang 2 meter dan lebar 1 meter. Rak ini digunakan sebagai tempat pengujian dan peletakan seluruh model *green roof*. Rak ini terbuat dari pelat besi. Pada tempat dimana model *green roof* diletakkan, pelat dibentuk seperti huruf U. Peletakan model *green roof* pun diatur sedemikian rupa di rak sehingga kontak langsung dengan rak dapat diminimalisir. Hal ini dilakukan agar perpindahan panas dari rak besi ke model *green roof* terjadi sesedikit mungkin sehingga tidak mengganggu hasil pengujian.



Gambar 3. 12 Cara peletakan model *green roof* di rak besi

Komponen penunjang lainnya adalah kotak acrylic, kabel rj 45, dan *converter* dari kabel rj 45 ke USB. Kotak acrylic digunakan sebagai tempat penyimpanan alat ukur temperatur. Kotak acrylic ini dibutuhkan karena lokasi pengujian yang berada di luar ruangan, sedangkan alat ukur yang digunakan adalah alat ukur dalam ruangan. Kotak acrylic ini dibuat anti air agar alat ukur aman apabila terjadi hujan. Kabel rj 45 digunakan sebagai penyambung antara alat ukur dan komputer sebagai pembaca alat ukur. Kabel rj 45 ini digunakan karena keterbatasan kabel USB yang hanya mampu mentransfer data dengan panjang kabel tidak lebih dari 5 meter sedangkan jarak antara lokasi pengujian dan komputer sekitar 20 meter. Dengan menggunakan kabel rj 45, transfer data dapat dilakukan dengan panjang kabel sampai dengan 50 meter. Kemudian *converter* dari kabel rj 45 ke USB digunakan sebagai penyambung antara kabel rj 45 dan kabel USB.



Gambar 3. 13 kabel rj 45 dan *converter* rj 45 ke usb

Dalam melakukan penelitian ini, digunakan 2 alat ukur yaitu alat ukur temperatur dan instrumen cuaca. Alat ukur temperatur yang digunakan adalah data akuisisi milik National Instrument dengan tipe NI 9213 dan casis NI cDAQ 9172. Data akuisi NI 9213 mempunyai 16 *channel* sehingga digunakan 2 buah dengan masing-masing 13 *channel* digunakan disetiap data akuisisi. Gambar 3.14 merupakan gambar data akuisisi yang digunakan pada penelitian yaitu NI 9213 dan NI cDAQ 9172.



Gambar 3. 14 Data akuisisi NI 9213 dan NI cDAQ 9172

Pada setiap *channel*, digunakan termokopel tipe K. Termokopel tipe K terdiri dari dua logam yaitu Chromel, dan Ni-Cr *alloy*. Termokopel merupakan sensor pengukur suhu yang bekerja menggunakan efek *Seebeck*, yaitu mengubah perbedaan suhu menjadi perbedaan tegangan listrik. Perbedaan tegangan inilah yang kemudian dibaca oleh *data acquisition* untuk kemudian dirubah menjadi bacaan temperatur. Perangkat lunak yang digunakan untuk data akuisisi ini adalah National Instrument LabVIEW. Tabel 3.2 menunjukkan spesifikasi pada data akuisisi NI 9213.

Tabel 3. 2 Spesifikasi NI 9213

Product Name	NI 9213
Operating System	Windows
Measurement Type	Temperature, Thermocouple, Voltage
Channels	0 – 16
Resolutions	24 bits
Output to Computer	USB
Input Measurement Voltage	-80 mV to 80 mV
Thermocouple Type	J,K,R,S,T,N,E

NI 9213 dalam penggunaannya dihubungkan ke *chassis* cDAQ 9172 menggunakan *port* yang ada pada *chassis* tersebut. Tabel 3.3 menunjukkan spesifikasi cDAQ 9172.

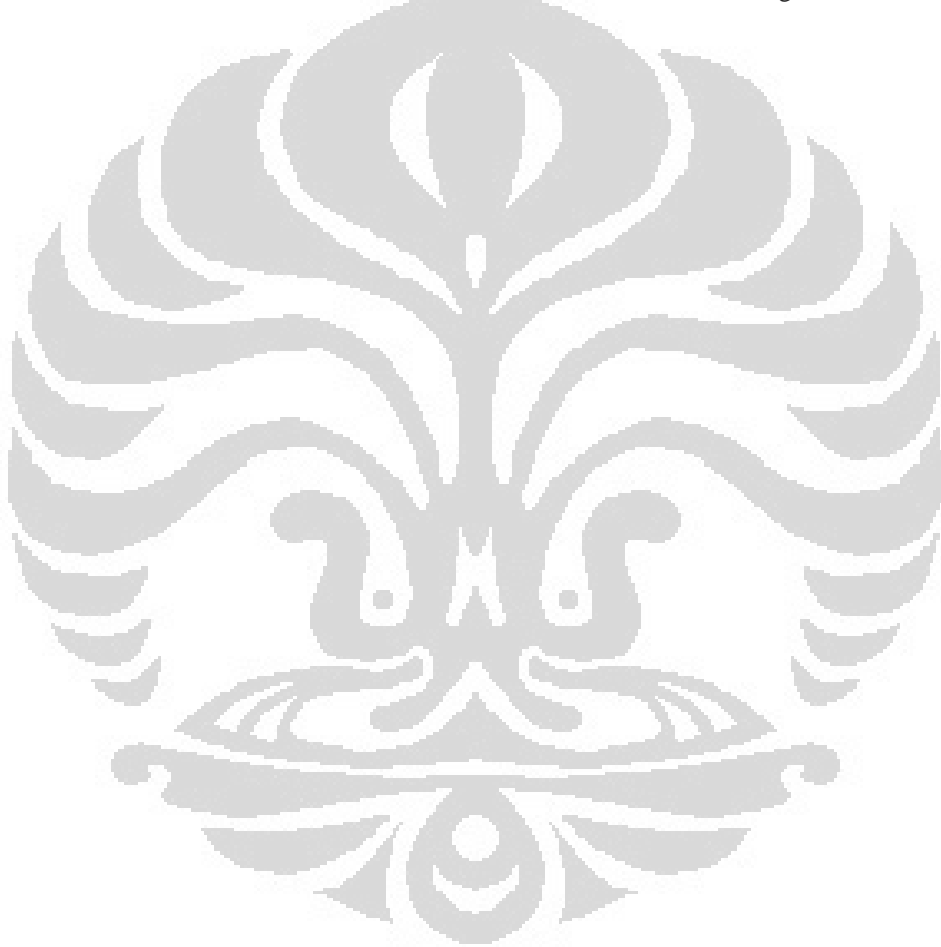
Tabel 3. 3 Spesifikasi *chassis* cDAQ 9172

Specification	
Product Name	NI cDAQ-9172
Slots	8
Maximum Required Input Power	15 Watt
Resolution	32 bits
USB Specification	USB 2.0. <i>Hi-Speed</i>
Functionality	<i>Counter/Timer input, Analog Output, Digital Input, Analog Input, Digital Output</i>
Timing Accuracy	50 ppm of sample rate
Operating Temperature	-20 to 55 °C
Operating Humidity	10 to 90% RH

Instrumen cuaca pada penelitian ini digunakan untuk mengukur radiasi sinar matahari, kecepatan angin, dan kelembaban udara. Instrumen cuaca yang digunakan milik Davis Instrument, dengan tipe Wireless Vantage Pro 2. Alat ini selain mengukur radiasi sinar matahari, kecepatan angin, dan kelembaban udara juga dapat berfungsi sebagai *rain collector*, sensor ultraviolet, dan kelembaban tanah. Instrumen cuaca ini terdiri dari 2 bagian penting, yaitu stasiun dan penerima. Stasiun digunakan sebagai alat pengukur dan diletakkan di lapangan. Sedangkan penerima dapat diletakkan sampai jarak 300 meter dari stasiun karena menggunakan *wireless*. Pengukur kelembaban tanah sebenarnya pada penelitian ini juga dapat digunakan, namun karena keterbatasan teknis sehingga tidak dapat berfungsi. Perangkat lunak yang digunakan untuk instrument cuaca ini adalah WeatherLink. Gambar 3.15 merupakan instrumen stasiun dan penerima cuaca Davis Instrument Vantage Pro 2.



Gambar 3. 15 Davis Instrument Wireless Vantage Pro 2



BAB 4

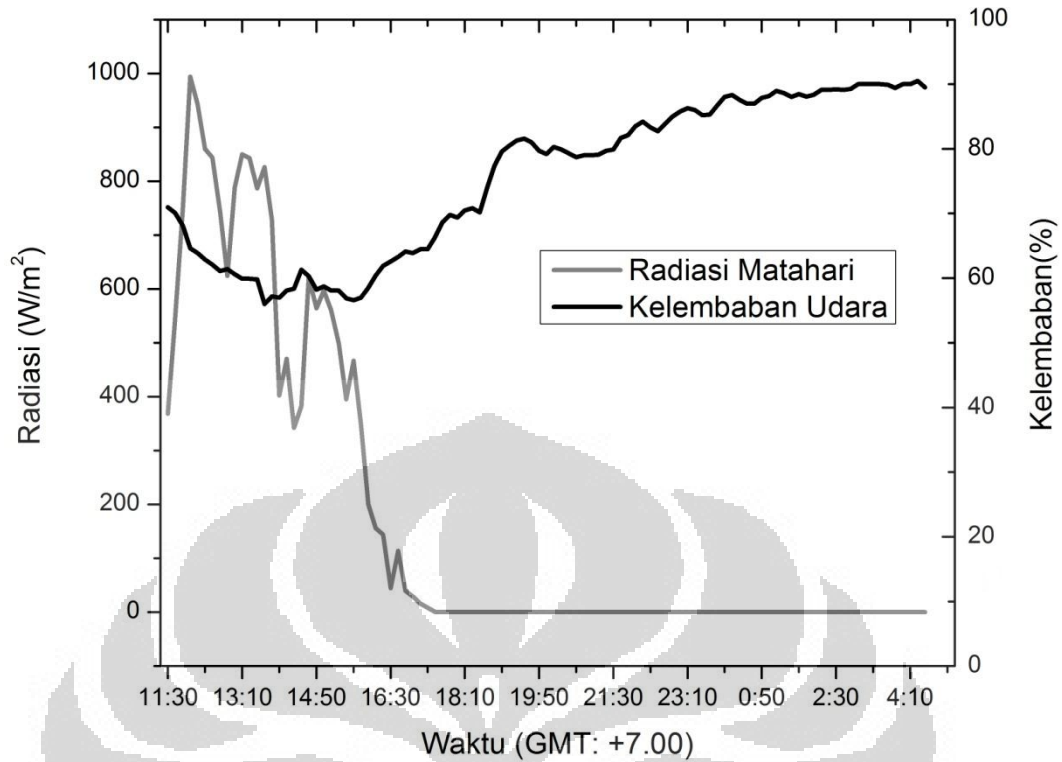
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, disajikan data-data dan analisa hasil pengujian dari model *green roof*. Pengujian dilakukan pada tanggal 1-2 Mei 2012 dari jam 11.30 sampai dengan jam 4.30. Pengujian dilakukan secara bersama-sama pada semua model *green roof*.

Pengujian sebenarnya sudah dilakukan sebanyak 4 kali sebelum tanggal 1 Mei 2012, namun karena adanya kendala teknis sehingga pengambilan data tidak dapat dilakukan dalam jangka waktu yang telah ditentukan yaitu dari siang ke malam hari. Saat pengujian dilakukan, jarak permukaan dasar wadah dengan rak besi hanya sekitar 5 cm, sehingga ada kemungkinan untuk perbandingan data antar struktur lapisan hal ini dapat menjadi pertimbangan.

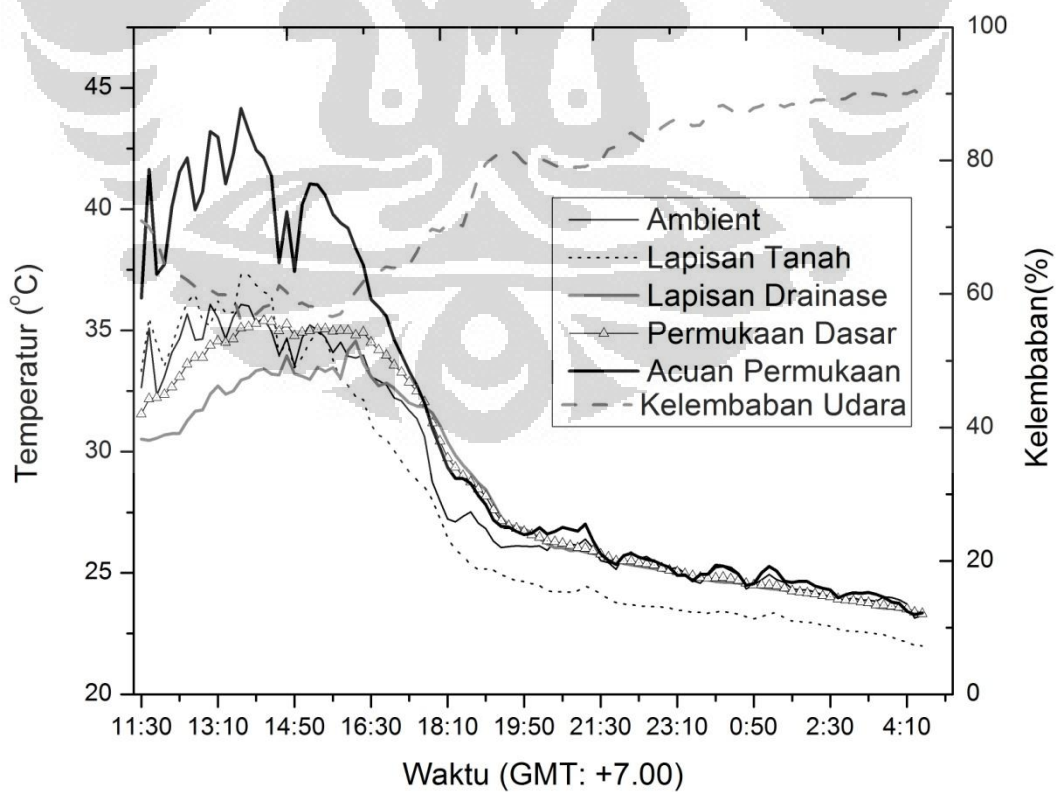
Kondisi cuaca dan lingkungan pada waktu pengambilan data cukup cerah, meskipun pada pukul 13.00 dan pada pukul 14.00 sampai pukul 15.00 sedikit berawan. Kecepatan angin pada saat itu tidak terlalu tinggi dengan rata-rata 1,17 m/s dengan kecepatan maksimum 4,34 m/s. Kecepatan angin pada siang hari cukup fluktuatif, sedangkan pada malam hari udara cukup tenang dibawah 1 m/s. Kelembaban udara pada saat pengujian alat cukup tinggi, dengan rata-rata 75%, dengan kelembaban maksimum 90% pada pukul 3.00 pagi.

Gambar 4.1 menunjukkan radiasi matahari dan kelembaban udara saat pengujian alat dilakukan. Pada pukul 11.40 sampai pukul 12.30 terlihat radiasi cukup besar sampai dengan 943 W/m^2 . Kemudian besarnya radiasi terus menurun karena pergantian siang ke malam hari. Kelembaban udara saat pengujian dilakukan, terlihat cukup tinggi dengan nilai 71 %. Kemudian berangsur-angsur turun sampai ke titik minimum 56 % pada pukul 13.40. Dan kemudian kelembaban kembali naik secara perlahan sampai akhir pengujian alat. Dari analisa di atas terlihat bahwa hubungan antara radiasi matahari dan kelembaban udara berbanding terbalik.



Gambar 4. 1 Grafik radiasi dan kelembaban udara

4.1 DATA PROFIL TEMPERATUR

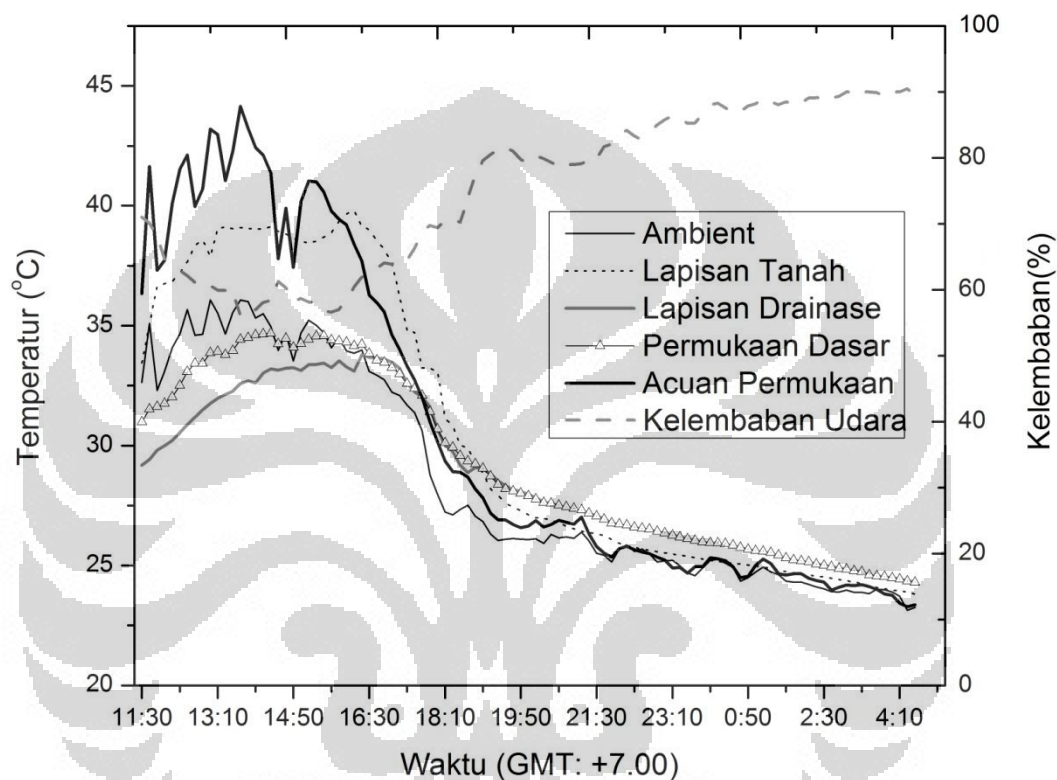


Gambar 4. 2 Grafik profil temperatur tanah kosong

Gambar 4.2 menampilkan profil temperatur pada model atap dengan struktur yang mirip dengan model *green roof* namun tanpa menggunakan lapisan tanaman. Profil temperatur yang ditinjau adalah temperatur pada lapisan tanah, lapisan drainase, dan lapisan permukaan dasar wadah. Temperatur lingkungan dan temperatur acuan permukaan dasar wadah juga dimasukkan ke dalam grafik sebagai data pembanding. Terlihat data pembanding yaitu temperatur acuan permukaan wadah cukup tinggi dibanding temperatur lainnya. Temperatur acuan permukaan wadah merupakan data dengan fluktuasi temperatur terbesar dengan temperatur maksimum 44,1 °C pada pukul 13.30 dan temperatur minimum 23,3 °C pada pukul 4.30. Temperatur lapisan tanah pada model atap ini pada siang hari terlihat mempunyai karakteristik yang mirip dengan temperatur lingkungan. Namun pada malam hari terlihat lapisan tanah mempunyai temperatur yang paling rendah diantara lapisan yang lainnya yaitu 22,5 °C. Sedangkan temperatur lapisan lainnya terlihat mempunyai temperatur yang sama dengan lingkungan dimulai dari pukul 18.00 sampai pengujian selesai dilakukan pukul 4.30. Pada permukaan dasar wadah mempunyai temperatur tertinggi 35 °C sekitar pukul 14.00 dan temperatur minimum yang sama dengan temperatur lingkungan 23,3 °C. Dari grafik dapat terlihat dengan menggunakan model atap tanpa tanaman, pengurangan temperatur antara permukaan dasar wadah dengan acuan permukaan dasar wadah sekitar 5 °C pada siang hari. Lapisan drainase pada siang hari terlihat mempunyai temperatur rata-rata yang lebih rendah dibandingkan temperatur data yang lainnya. Lapisan drainase hanya mempunyai temperatur maksimum 34 °C pada pukul 16.00. Hal ini dapat terjadi karena dalam pengujian kali ini lapisan drainase merupakan lapisan yang paling terisolasi dan benar-benar tidak bersentuhan langsung dengan udara lingkungan sehingga pengaruh radiasi matahari dan radiasi dari rak besi dudukan model *green roof*. Kelembaban udara terlihat mempengaruhi perilaku termal model atap [18]. Saat kelembaban turun, terlihat temperatur naik. Namun saat kelembaban udara naik, perilaku temperatur semua data terlihat turun. Hal ini terlihat jelas saat malam hari dimana kelembaban yang terus naik juga diikuti oleh temperatur semua data yang terus turun. Lapisan tanah yang temperatur pada malam hari lebih rendah pada temperatur data lainnya juga dipengaruhi oleh kelembaban udara yang cukup

tinggi, karena lapisan merupakan lapisan yang paling atas dari struktur model atap dan bersentuhan langsung dengan udara bebas.

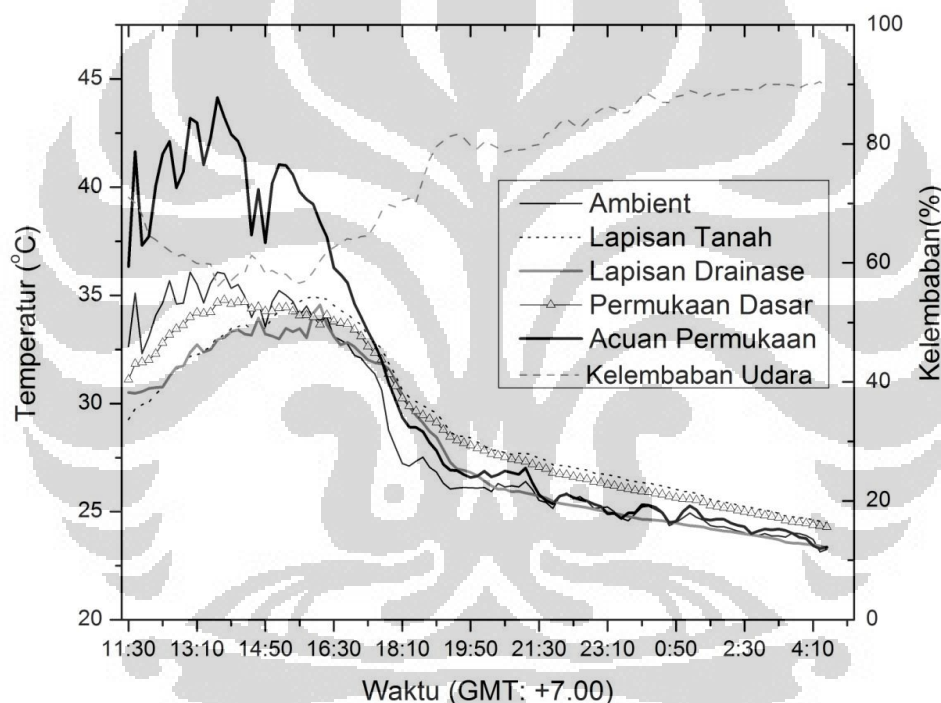
Gambar 4.3 menunjukkan profil temperatur pada model *green roof* arachis pinto. Karakteristik pada model *green roof* ini hampir sama dengan model atap dengan tanah kosong sebelumnya, hanya terdapat perbedaan pada temperatur lapisan tanah.



Gambar 4.3 Grafik Profil temperatur *arachis pinto*

Arachis pinto mempunyai karakteristik daun yang tipis, kepadatan yang cukup tinggi, tumbuh menjalar, namun mudah kering apabila tidak mendapatkan pengairan yang cukup. Dari grafik terlihat bahwa fluktuasi temperatur yang terbesar dialami oleh acuan permukaan wadah. Temperatur acuan permukaan terlihat mengalami peningkatan dari awal pengujian (11.30) sampai sekitar pukul 13.30 dari 33 °C sampai ke yang tertinggi pada 44,1 °C. Untuk temperatur terendah acuan permukaan wadah terjadi pada pukul 4.30, yaitu pada temperatur 23,3 °C. Penurunan temperatur tertinggi terjadi pada pukul 15.00 sampai pukul 19.00 yaitu dari 41 °C sampai ke 27 °C. Di malam hari, perubahan temperatur acuan permukaan wadah terlihat. Sedangkan pada permukaan dasar wadah model

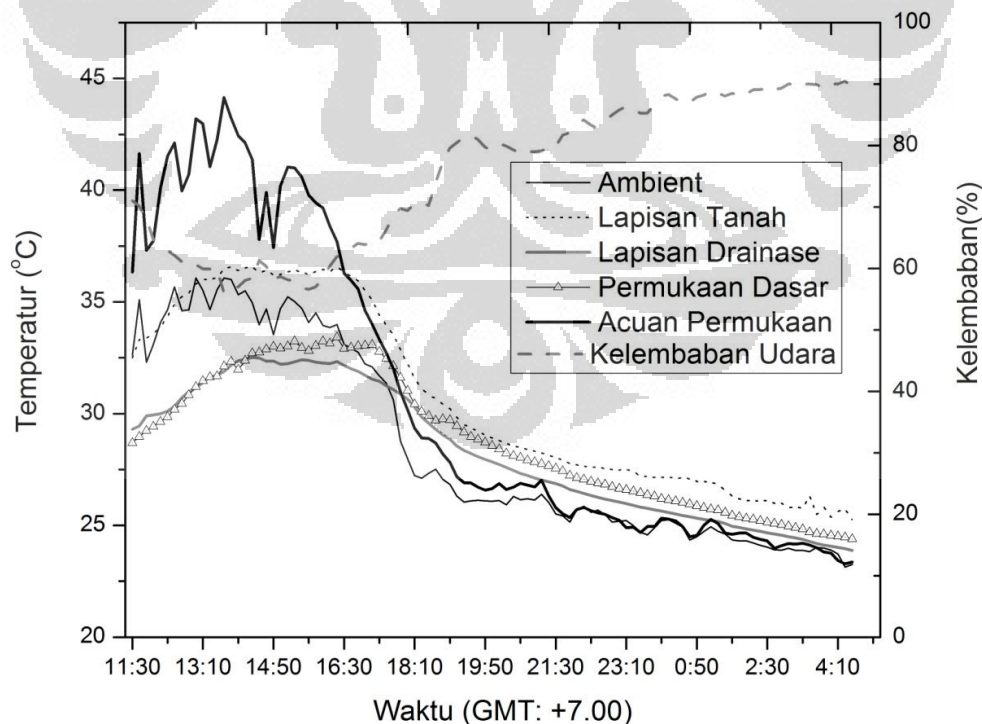
green roof dengan arachis pintoi, temperatur maksimum hanya 34 °C pada pukul 13.30 sampai pukul 15.30. Setelah itu temperatur turun secara perlahan sampai ke temperatur terendah 26 °C. Terlihat pada lapisan tanah mempunyai temperatur yang cukup tinggi hampir mendekati temperatur acuan permukaan dasar wadah. Temperatur maksimum lapisan tanah adalah 40 °C pada pukul 16.30 dan temperatur terendahnya pada pukul 4.30 sekitar 24 °C. Tingginya temperatur lapisan tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa hal. Salah satunya yaitu efek bayangan dari tanaman di atasnya yang cenderung tipis dan membuat rongga antara daun dan tanah sehingga tanah masih menerima radiasi matahari secara langsung dan tidak dapat melepaskan panas dengan baik.



Gambar 4. 4 Grafik Profil temperatur *chlorophytum sp.*

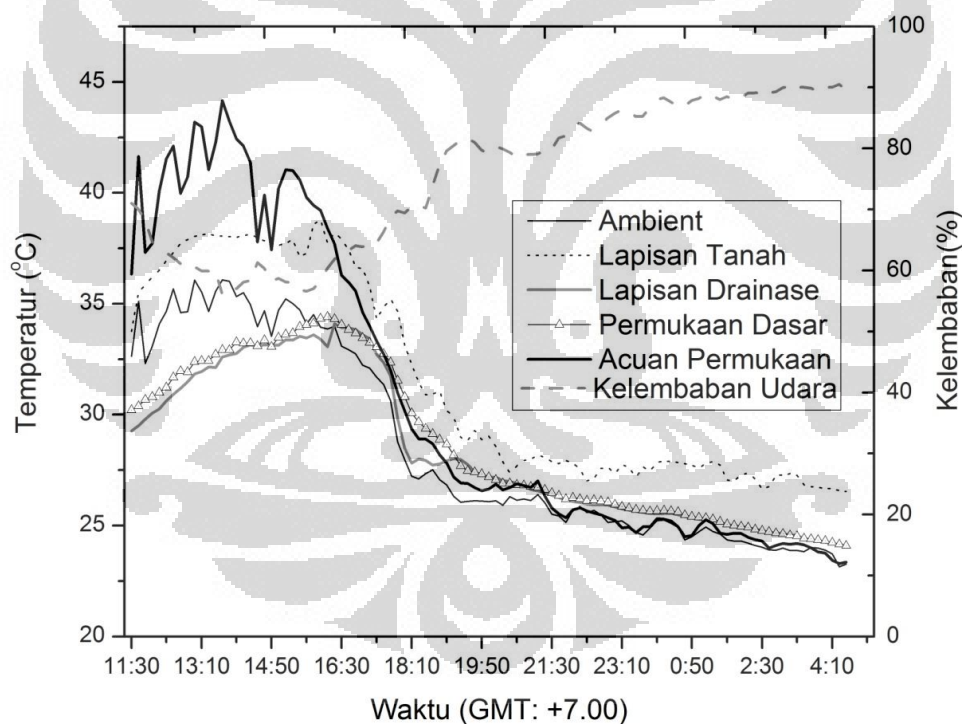
Gambar 4.4 menampilkan grafik profil temperatur pada *green roof* dengan jenis tanaman *chlorophytum sp.* Pada gambar terlihat lapisan permukaan dasar wadah mempunyai temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan acuan permukaan dasar wadah. Temperatur maksimumnya adalah 34,5 °C pada pukul 13.30. Sedangkan temperatur minimumnya adalah 25 °C pada pukul 4.30. Pada lapisan tanah, terlihat mempunyai temperatur yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan temperatur permukaan dasar wadah dengan selisih sekitar 2

°C. Namun saat malam hari, terlihat temperatur keduanya hampir sama meskipun lapisan tanah mempunyai temperatur sedikit lebih tinggi dengan selisih dibawah 1 °C. Jika membandingkan permukaan dasar wadah dengan acuan permukaan dasar wadah, model *green roof* dengan jenis tumbuhan *chlorophytum sp.* mempunyai kemampuan yang cukup baik sebagai isolator. Namun jika dibandingkan dengan lapisan tanah, lapisan permukaan dasar terlihat lebih tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena letak titik pengukuran dasar permukaan wadah dekat dengan rak besi. Rak besi yang mempunyai konduktivitas termal tinggi, mengakibatkan temperatur di antara rak dan titik pengukuran dasar permukaan wadah menjadi lebih tinggi. Kemungkinan kedua adalah tanah pada model *green roof* cenderung lebih lembab dibandingkan dengan model *green roof* yang lainnya sehingga temperatur tanah lebih rendah. Kemudian jika ditinjau dari karakteristik tumbuhan dan bentuk daun, *chlorophytum sp.* mempunyai daun yang panjang, ketebalan yang sedang, kepadatan daun sedang, dan cukup kuat jika tidak mendapatkan pengairan yang baik. Dengan karakteristik seperti ini, model *green roof* ini tidak mempunyai perilaku termal yang lebih baik dibandingkan dengan model atap tanah kosong.



Gambar 4. 5 Grafik profil temperatur *carex morrowii*

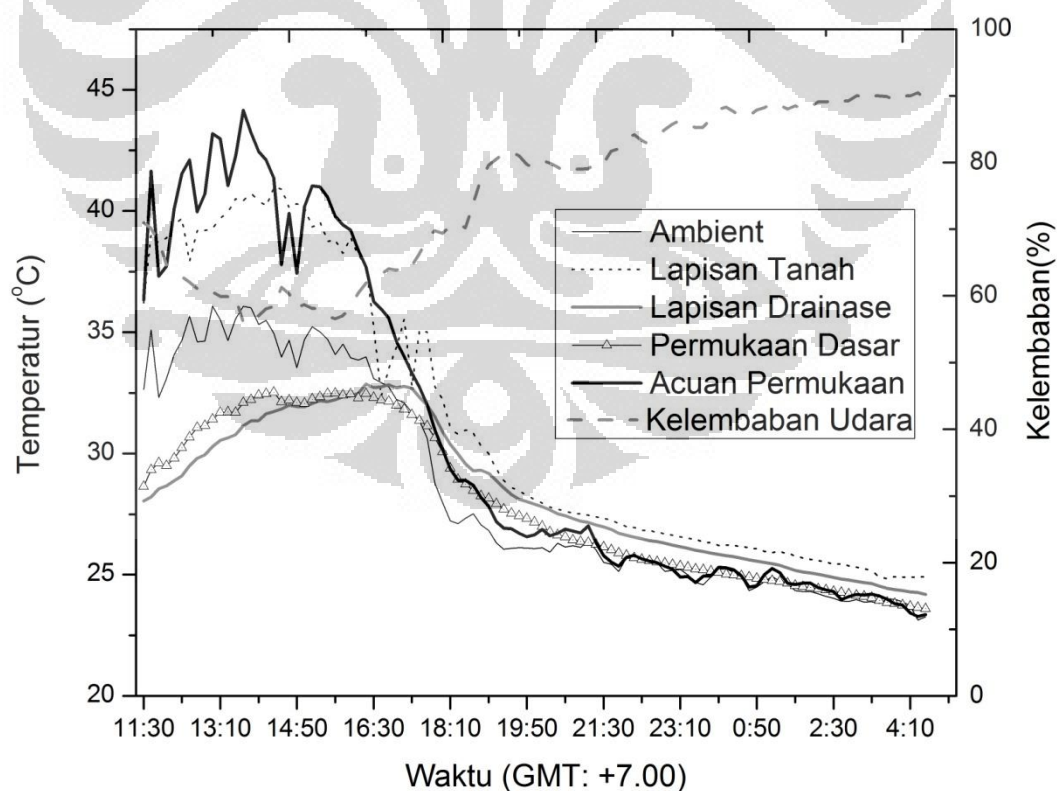
Gambar 4.5 menunjukkan profil temperatur pada *green roof* dengan jenis tumbuhan *Carex morrowii*. *Carex morrowii* mempunyai karakteristik kuat tanpa pengairan yang cukup, daun yang panjang, tidak lebar namun cukup tebal, dan kepadatan daun sedang. Temperatur permukaan dasar pada model *green roof* ini dibandingkan dengan temperatur permukaan dasar pada model *green roof* sebelumnya terlihat lebih rendah sekitar 2 °C. Temperatur maksimum permukaan dasar wadah adalah 33 °C pada pukul 16.30 dan temperatur terendahnya adalah 24,7 °C pada pukul 4.30. Pada lapisan tanah, terlihat temperturnya lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur data lainnya. Temperatur maksimum lapisan tanah adalah 37 °C pada pukul 14.00. Sedangkan temperatur terendahnya adalah 26 °C pada pukul 4.30 pagi. Hal ini dapat disebabkan oleh kepadatan daun yang tidak terlalu tinggi sehingga temperatur tanah menjadi lebih tinggi.



Gambar 4. 6 Grafik profil temperatur *ipomoea batatas*

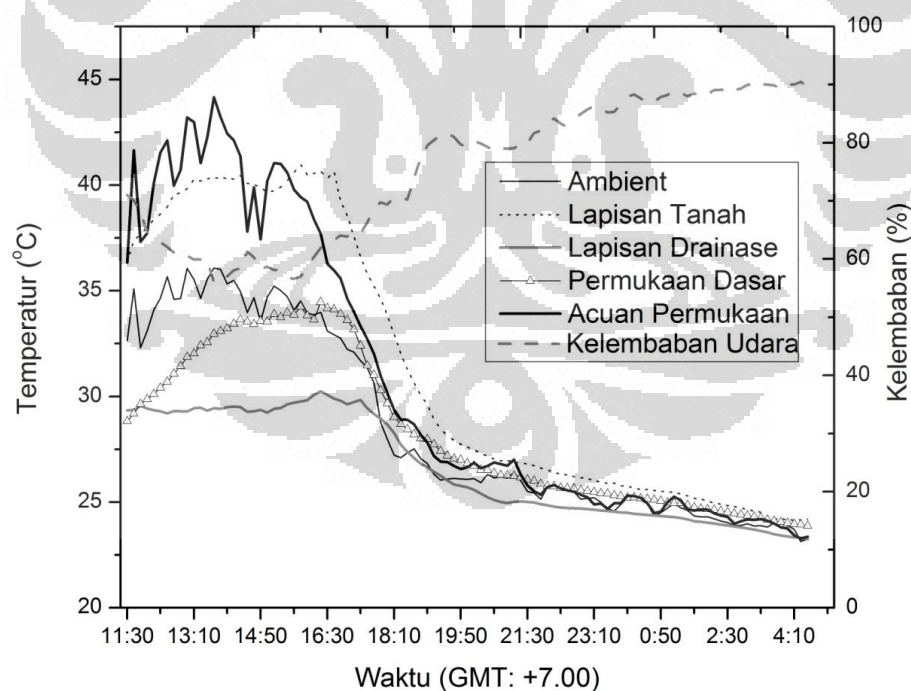
Gambar 4.6 menampilkan grafik profil temperatur pada model *green roof* *ipomoea batatas*. *Ipomoea batatas* mempunyai karakteristik tumbuhan yaitu daun yang besar dan lebar, tumbuh menjalar, dengan kepadatan daun sedang dan mudah kering apabila tidak mendapatkan pengairan yang cukup. Terlihat pada

lapisan permukaan dasar, temperturnya lebih tinggi dibandingkan dengan model *green roof* sebelumnya namun masih dibawah model atap tanah kosong. Temperatur maksimumnya adalah 34,3 °C pada pukul 16.30, sedangkan temperatur minimumnya adalah 25 °C pada pukul 4.30. Namun pada lapisan tanah, temperturnya cukup tinggi dengan temperatur maksimum 36 °C pada pukul 16.30 pada temperatur minumum 27 °C pada pukul 4.30 pagi. Pada malam hari, temperatur tanah terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan lainnya dengan selisih sekitar 1,5 °C bahkan sampai 2,5 °C pada pukul 0.50 pagi sampai pukul 4.30. Kondisi tanah yang kering menyebabkan lapisan tanah pada model *green roof* ini menjadi cukup tinggi. Kepadatan daun yang tidak terlalu tinggi juga dapat menyebabkan tingginya temperatur. Karakteristik tumbuhan yang digunakan pada model *green roof* ini sebenarnya hampir sama dengan karakteristik tumbuhan arachis pintoi. Perbedaannya hanya pada lebar dan panjang daun, dan kepadatan daun. Hal ini terbukti dari bentuk grafik profil temperatur yang mirip.



Gambar 4. 7 Grafik profil temperatur *portulaca grandiflora*

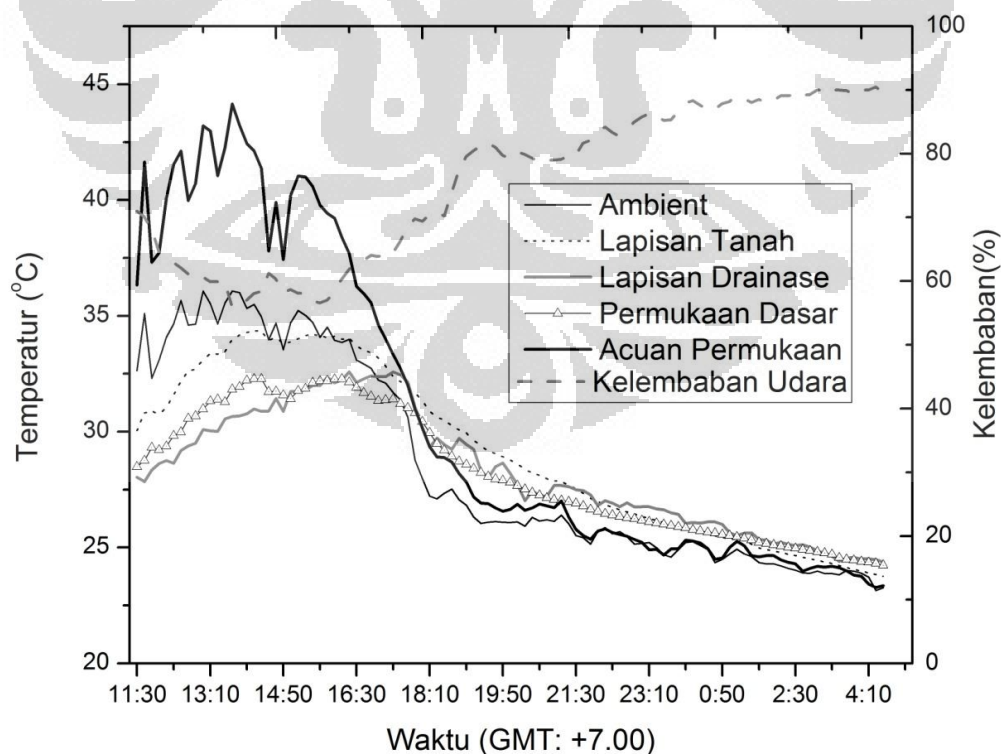
Gambar 4.7 menampilkan grafik profil temperatur model *green roof* portulaca grandiflora. Karakteristik tumbuhan portulaca grandiflora adalah tumbuhan ini tidak mempunyai daun yang besar yang dipunyai oleh tumbuhan lain pada model *green roof* lainnya, hanya berbentuk runcing dan pendek, namun kepadatan daunnya cukup tinggi. Temperatur permukaan dasar terlihat cukup rendah dengan temperatur maksimum 32,4 °C pada pukul 16.30 dan temperatur minimum pada pukul 4.30 adalah 24 °C. Temperatur permukaan dasar wadah pada model *green roof* ini lebih rendah sekitar 1,5 sampai 2 °C dibandingkan dengan temperatur permukaan dasar wadah pada model atap tanah kosong di siang hari. Sedangkan pada lapisan tanah, temperaturnya cukup tinggi dimana temperatur maksimumnya sebesar 41,5 °C pada pukul 15.00, dan temperatur minimumnya adalah 25 °C pada pukul 4.30. Temperatur yang tinggi ini dapat terjadi akibat adanya efek bayangan dari tanaman di atasnya yang cenderung tipis dan membuat rongga antara daun dan tanah sehingga tanah masih menerima radiasi matahari secara langsung dan tidak dapat melepaskan panas dengan baik.



Gambar 4. 8 Grafik profil temperatur *althenantera ficoidea*

Gambar 4.8 menunjukkan grafik profil temperatur pada model *green roof* althenantera ficoidea. Karakteristik tumbuhan althenantera focolidea adalah

mempunyai daun yang berwarna merah, kepadatan daun yang cukup tinggi, tumbuh ke atas (tidak menjalar), dan cukup kuat apabila tidak mendapatkan pengairan yang cukup. Pada grafik terlihat di awal pengujian temperatur permukaan dasar wadah mempunyai temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan temperatur permukaan dasar wadah pada model atap tanah kosong dengan selisih 4 °C. Namun kenaikan temperatur di siang hari cukup tinggi dengan temperatur maksimum yang hampir sama dengan temperatur permukaan dasar wadah pada model atap tanah kosong yaitu 34,5 °C pada pukul 16.30. Sedangkan temperatur minimumnya adalah 23,5 °C pada pukul 4.30. Pada lapisan tanah, terlihat temperaturnya cukup tinggi dibandingkan dengan struktur lapisan pada model *green roof* ini. Temperatur maksimumnya adalah 41 °C pada pukul 16.30, sedangkan temperatur minimumnya adalah 24 °C pada pukul 4.30. Dengan adanya tumbuhan *althenantera ficoidea*, temperatur lapisan tanah menjadi tinggi di siang hari dan rendah di malam hari. Hal ini dapat terjadi karena cara tumbuh tumbuhan yang tidak menjalar dan membuat rongga sehingga tanah menjadi lebih panas.



Gambar 4. 9 Grafik profil temperatur *pennisetum purpureum schamach*

Gambar 4.9 menampilkan grafik profil temperatur model *green roof* dengan tumbuhan pennisetum purpureum schamach. Karakteristik tumbuhan pennisetum purpureum schamach adalah mempunyai daun yang panjang, cukup lebar, tumbuh di atas lapisan tanah, dengan keadaan tanah yang cenderung lembab dan kuat tanpa pengairan yang cukup. Temperatur permukaan dasar pada model *green roof* ini terlihat cukup rendah dan stabil. Pada awal pengujian, temperatur permukaan dasar wadah sebesar 26 °C pada pukul 11.30, dengan temperatur tertinggi sebesar 32 °C pada pukul 14.30 dan pukul 16.30, dan temperatur terendah pada pukul 4.30 sebesar 25 °C. Untuk lapisan tanah, temperatur maksimumnya sebesar 34 °C pada pukul 14.30 dan pukul 16.30. Temperatur tanah yang tidak terlalu tinggi dan cukup stabil dapat terjadi karena tanah yang cenderung lembab dan daun yang menutupi hampir semua bagian dari tanah.

Diantara semua jenis model *green roof* yang digunakan pada pengujian, model *green roof* yang paling stabil dari sisi fluktuasi temperaturnya adalah model *green roof* dengan tumbuhan pennisetum purpureum schamach. Hal ini terjadi karena faktor bayangan seperti LAI dengan bentuk daun yang tebal dan menutupi seluruh permukaan tanah sehingga temperatur dibawah tumbuhan tersebut menjadi rendah [29]. Penurunan temperatur permukaan dasar wadah pada semua model *green roof* terjadi karena adanya hambatan termal dari lapisan-lapisan yang ada di atasnya. Pada lapisan tumbuhan itu sendiri secara khusus, penurunan temperatur akibat penyerapan panas terjadi karena adanya evapotranspirasi dan adanya pemantulan radiasi cahaya matahari [18]. Menurut Feng, et al. evapotranspirasi berpengaruh sekitar 58,4 % sedangkan pemantulan radiasi cahaya matahari sebesar 30,9 % di Cina [30]. Sedangkan Schmidt juga mempunyai nilai yang sama di Jerman yaitu 58 % untuk evapotranspirasi dan 39 % untuk pemantulan cahaya matahari [31].

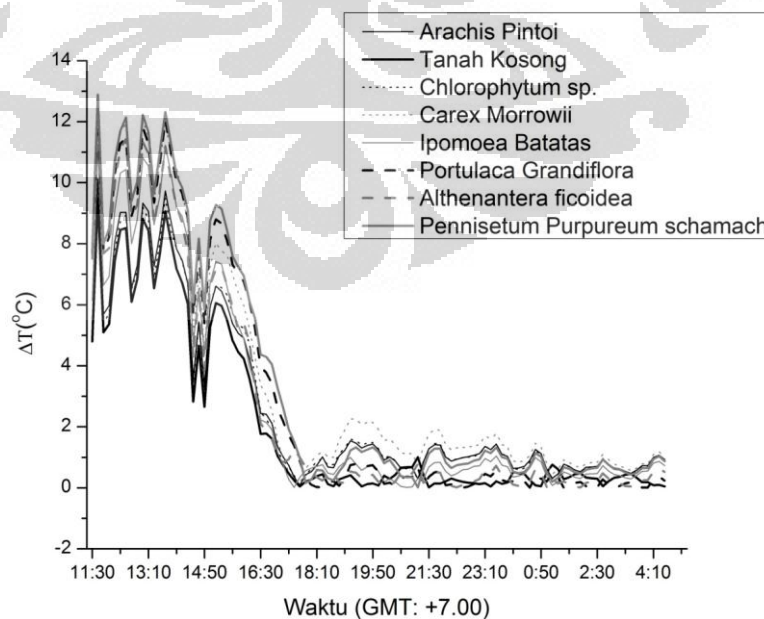
Dari gambar-gambar yang ada di atas, juga dapat dilihat bahwa *green roof* mampu menunda atap mencapai temperatur maksimumnya. Hal ini membuktikan *green roof* mempunyai difusivitas termal yang rendah. Temperatur acuan permukaan dasar wadah mencapai temperatur tertingginya pada pukul 13.30 sebesar 44,1 °C. Dengan menggunakan *green roof*, permukaan dasar wadah

mencapai temperatur tertinggi pada pukul 16.30 dengan temperatur maksimum tidak melebihi 35 °C pada semua model *green roof* yang digunakan.

4.2 DATA PERBEDAAN TEMPERATUR PERMUKAAN DASAR WADAH

Pada bagian ini, akan dibahas perbedaan temperatur permukaan dasar wadah pada setiap model *green roof* dengan temperatur acuan permukaan dasar wadah seperti yang terlihat pada gambar 4.10. Pada gambar dibawah terlihat, grafik setiap data temperatur yang mempunyai karakteristik yang hampir sama di siang hari. Kemudian di malam hari terdapat sedikit perbedaan karakteristik meskipun tidak terlalu signifikan. Terlihat pada gambar, perbedaan temperatur terendah dengan temperatur acuan permukaan dasar adalah tanah kosong. Perbedaan temperatur tertinggi sebesar 9,4 °C terjadi pada pukul 11.40. Untuk perbedaan temperatur yang tertinggi, terdapat pada model *green roof* dengan tumbuhan *pennisetum purpureum schamach*. Perbedaan temperatur terbesar adalah 13 °C juga pada pukul 11.40.

Hal ini membuktikan bahwa dengan adanya lapisan tumbuhan, hambatan termal menjadi semakin bertambah. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, bahwa dengan adanya tumbuhan, maka terdapat perpaduan antara evaporasi dari tanah dan transpirasi dari tumbuhan.



Gambar 4. 10 Grafik perbedaan temperatur setiap permukaan dasar dengan acuan permukaan

4.3 HAMBATAN TERMAL TANAMAN

Pada bagian akan, akan dibahas hambatan termal pada tanaman. Pada hambatan termal dihitung dengan menggunakan persamaan 2 yang ada pada bab II .

$$Q = k \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Dengan mensubstitusi posisi k menjadi pembagi Δx , maka didapatkan persamaan baru yaitu

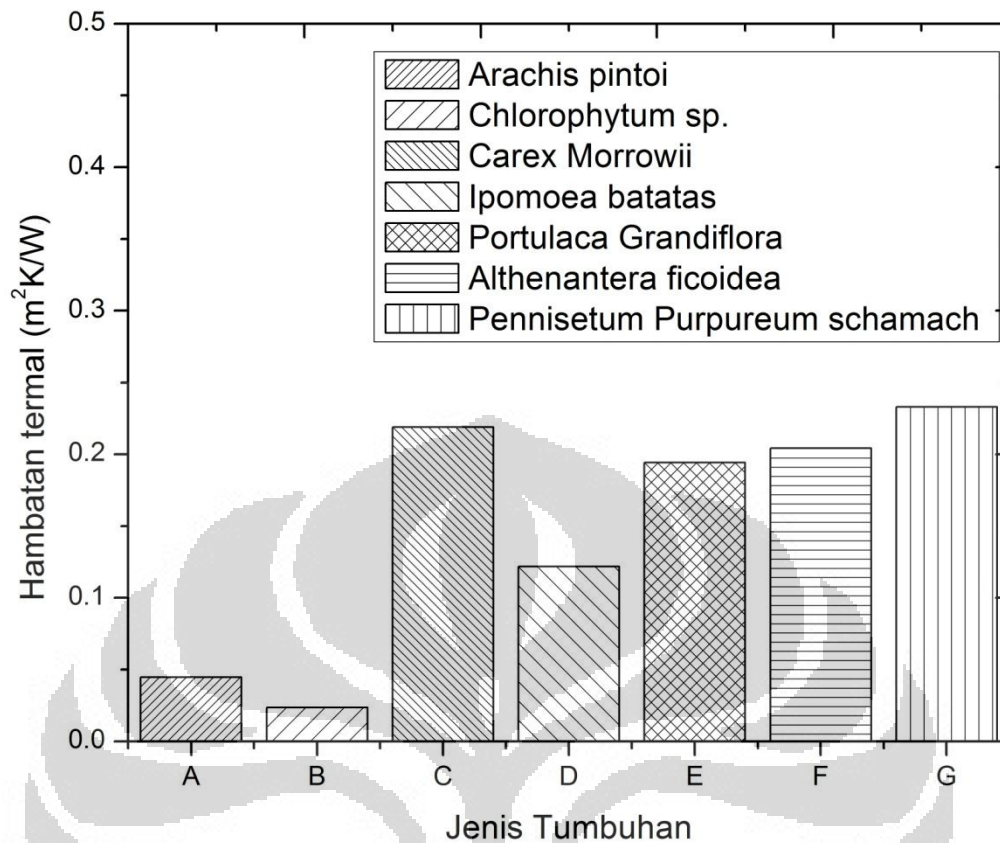
$$Q = \frac{\Delta T}{\Delta x/k} = \frac{\Delta T}{R}$$

Hambatan termal pada setiap struktur lapisan ditampilkan pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1Tabel Konduktivitas Termal Material [32]

Material	Konduktivitas Termal (W/mK)
Tanah	0,15
Kerikil	1,3
Plastik	0,13

Kemudian didapatkan masing-masing hambatan termalnya untuk tanah, kerikil, dan plastik adalah $0,6 \text{ m}^2\text{K/W}$, $0,031 \text{ m}^2\text{K/W}$, dan $0,015 \text{ m}^2\text{K/W}$. Gambar 4.11 menampilkan hambatan termal pada setiap tumbuhan yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 4. 11 Grafik hambatan termal tumbuhan

Pada grafik terlihat bahwa pennisetum purpureum schamach mempunyai hambatan termal yang paling tinggi dibandingkan yang lainnya yaitu 0,023 m^2K/W . Sedangkan yang terendah adalah chlorophytum sp. dengan besar hambatan termal sebesar 0,24 m^2K/W . Dengan demikian, tumbuhan pada *green roof* menjadi hambatan termal terbesar kedua setelah tanah. Namun untuk hambatan termal ini masih merupakan *bulk*, karena pada beberapa variabelnya masih tidak diteliti secara khusus dan spesifik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelian yang telah dilakukan beberapa hal dapat disimpulkan dari pengujian *green roof* dengan 7 jenis tumbuhan kali ini adalah:

1. Penggunaan *green roof* di Indonesia dengan iklim tropis terbukti efektif dalam mengurangi kalor yang masuk, sehingga temperatur di dasar permukaan wadah menjadi lebih rendah. Beda temperatur yang terjadi dengan menggunakan *green roof* pada permukaan dasar wadah yang tertinggi adalah 13 °C dengan menggunakan tumbuhan *pennisetum purpureum schamach*.
2. *Green roof* mempunyai difusivitas termal yang rendah sehingga dapat menunda kenaikan temperatur permukaan wadah, dimana tanpa menggunakan *green roof* temperatur maksimum terjadi pada pukul 13.30. Sedangkan saat menggunakan *green roof*, temperatur maksimum terjadi pada pukul 16.30.
3. Kelembaban udara mempunyai peran dalam penurunan profil temperatur *green roof*. Hubungan antara kelembaban udara dan temperatur adalah berbanding terbalik.

5.2 SARAN

Penelitian *green roof* merupakan penelitian baru yang ada di Indonesia, sehingga penelitian ini masih sangat membutuhkan pengembangan baru. Fokus pada satu jenis *green roof* dan membandingkan dengan jenis atap insulasi lain merupakan salah satu hal yang dapat dikembangkan kedepannya di Indonesia. Selain itu, menganalisa lebih dalam tentang perilaku perpindahan panas pada *green roof* juga merupakan gagasan yang baik untuk dipakai pada penelitian *green roof* di Indonesia pada masa yang akan datang.

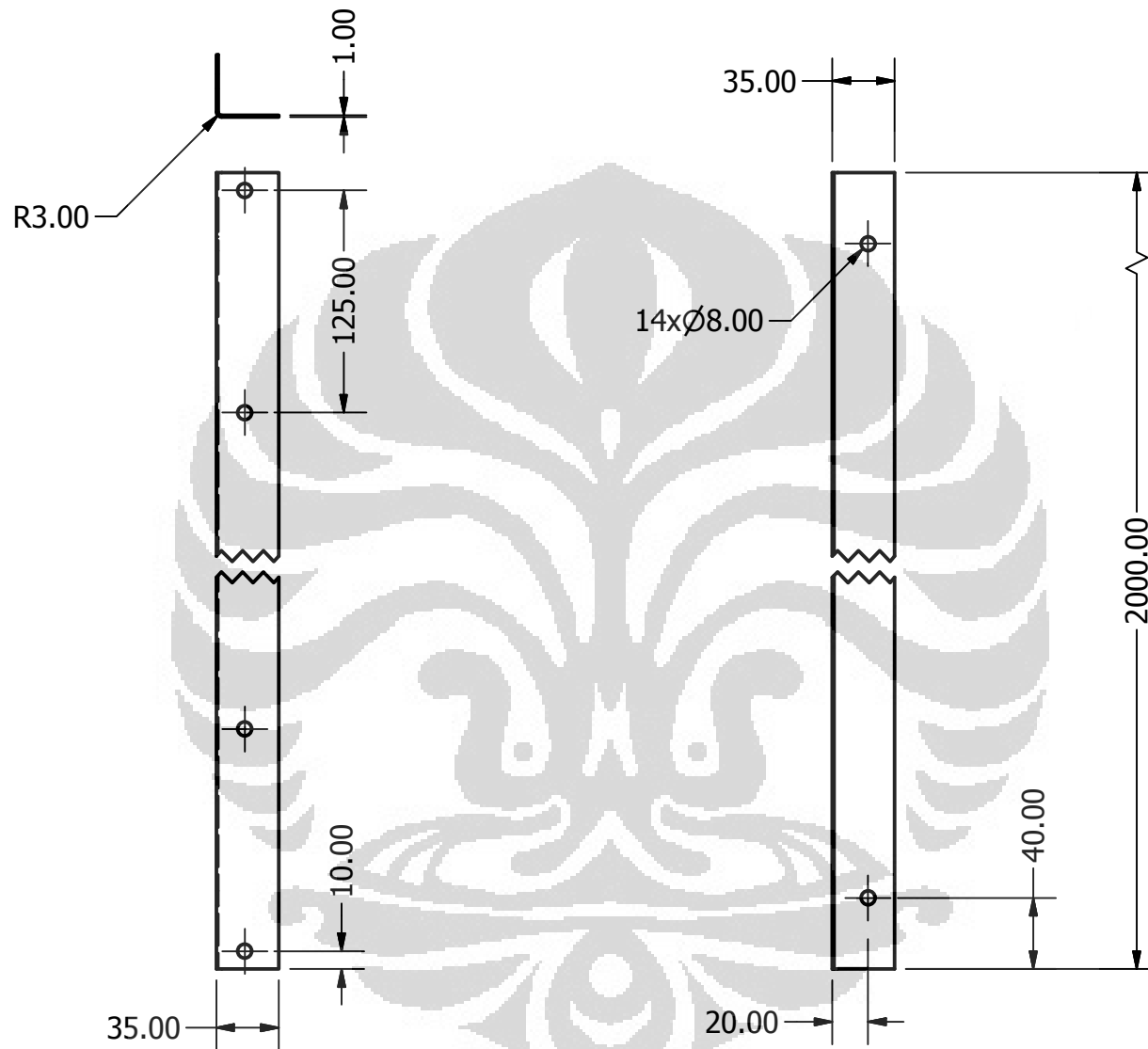
DAFTAR PUSTAKA

- [1] New York Times. (2012, April) Global Warming & Climate Change.
- [2] Ph.D James A. Voogt. (2012) actionbioscience.org. [Online].
<http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html#fullbio>
- [3] NASA. (2003, August) NASA. [Online].
<http://www.nasa.gov/centers/marshall/news/news/releases/2003/03-140.html>
- [4] Theodore Theodosiou, "Green Roofs in Building: Thermal and Environmental Behaviour," in *Advances in Building Energy Research*: Earthscan, 2009, p. 273.
- [5] CNN Technology. (2008, June) Green Roofs Cool Cities, Combat Climate Change, Say Germans. [Online].
<http://edition.cnn.com/2008/TECH/science/06/26/green.roofs/index.html>
- [6] Chicago Office of Tourism and Culture. (2010, May) Explore Chicago. [Online].
http://explorechicago.org/city/en/about_the_city/green_chicago/Green_Roofs.html
- [7] NASA. (2009, December) NASA. [Online].
http://www.nasa.gov/mission_pages/terra/news/heat-islands.html
- [8] Skyscrapercity forum. (2011, November) Skyscraper City. [Online].
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1405222&page=27>
- [9] FFL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau), *Guidelines for the Planning, Execution and Upkeep of Green Roof Sites*. Bonn, German, 1995.
- [10] The Council of the City of Sydney. (2012) City of Sydney. [Online].
<http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/Environment/documents/Chapter2.AdvantagesofGreenRoofs.pdf>
- [11] British Columbia Institute of Technology. (2010) Centre for Architectural Ecology. [Online]. <http://commons.bcit.ca/greenroof/faq/why-green-roofs->

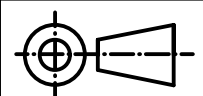
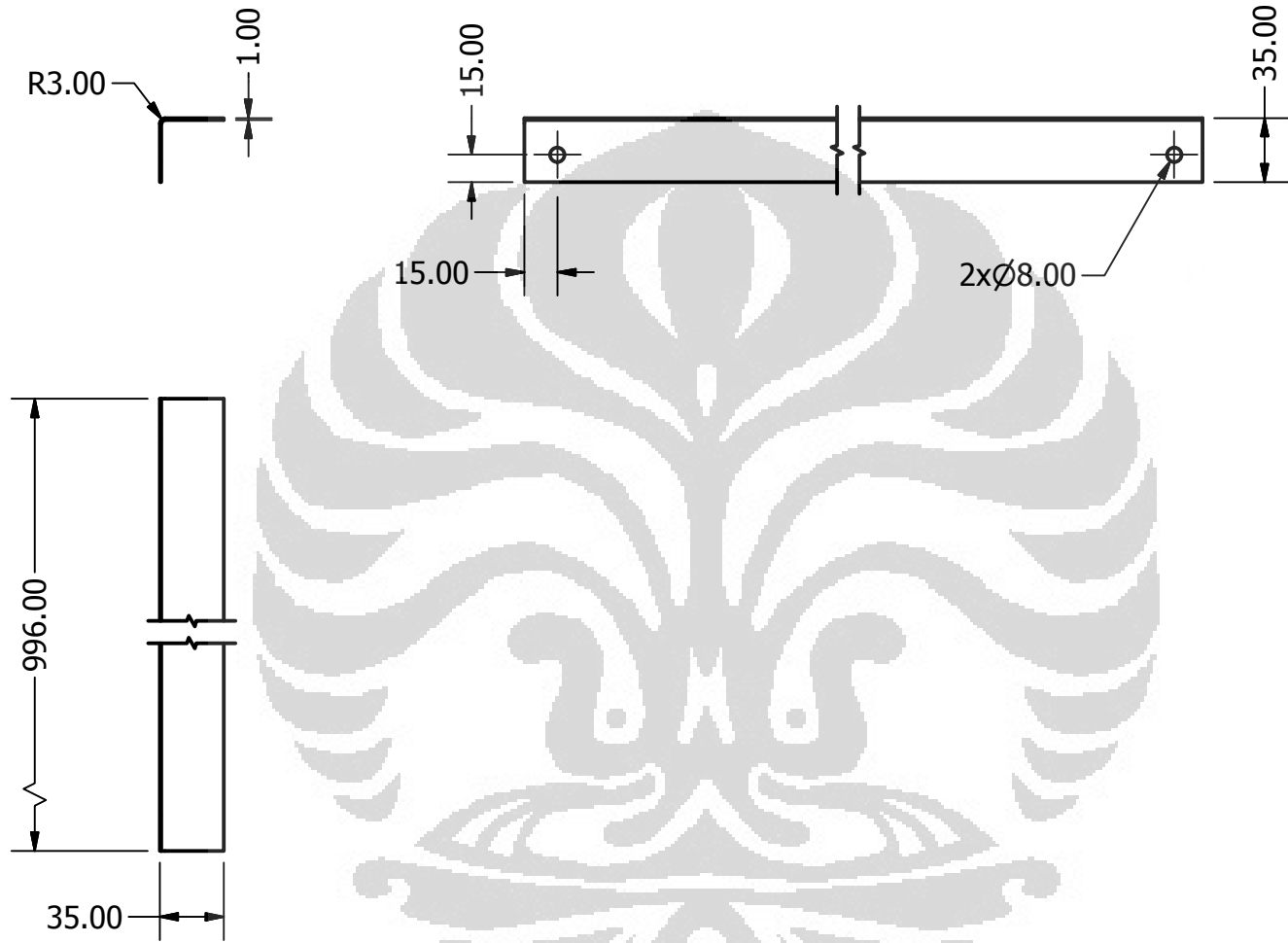
[benefits/](#)

- [12] T. Day M. Ratcliffe. (2007, January) Improving office staff productivity while reducing carbon dioxide emissions. [Online].
<http://www.cibse.org/pdfs/>
- [13] FibRE - Findings in Built and Rural Environments, "Can Greenery Make Commercial Buildings More Green?," Cambridge University, 2007.
- [14] et al. N.H. Wong, "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment," *Building and Environment*, pp. 261-270, February 2003.
- [15] J. Minor K. Lui, *Performance evaluation of an extensive green roof, in: Greening Rooftops for Sustainable Communities*. Washington DC, USA, 2005.
- [16] et al. N.H. Wong, "The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore," *Energy and Buildings*, pp. 353-364, April 2003.
- [17] et al A. Niachou, "Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance," *Energy and Buildings*, vol. 7, pp. 719-729, 2001.
- [18] S. Parizotto, "Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil," *Energy and Buildings*, March 2011.
- [19] Theodore G Theodosiou, "Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique," *Energy and Buildings*, vol. 35, pp. 909-917, October 2003.
- [20] Samah Hodo-Abalo, "Performance analysis of a planted roof as a passive cooling technique in hot-humid tropics," *Renewable Energy*, vol. 39, pp. 140-148, March 2012.
- [21] Issa Jafal et al., "A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance," *Renewable Energy*, vol. 43, pp. 157-164, December 2012.

- [22] Nathalie J. J. Breda, "Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instrument and current controversies," *Journal of Experimental Botany*, vol. 54, pp. 2403-2417, November 2003.
- [23] Grace J., "Theoretical ratio between 'one-sided' and total surface area for pine needles," *Forest Science*, vol. 17, pp. 292-296, 1987.
- [24] Sellin A, "Estimating the needle area from geometric measurements; application of different calculation methods to Norway spruce," *Trees*, vol. 14, pp. 215-222, 2000.
- [25] Tahir Ayata, "An investigation of sensible heat fluxes at a green roof in a laboratory setup," *Building and Environment*, vol. 46, pp. 1851-1861, March 2011.
- [26] J.Q. Zhang, "A heat balance model for partially vegetated surfaces," *Infrared Physics & Technology*, vol. 38, pp. 287-294, 1997.
- [27] George Burba. (2011, October) The encyclopedia of earth. [Online]. <http://www.eoearth.org/article/Evapotranspiration>
- [28] Frank P. Incopera and David P. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [29] Nyuk Hien Wong, "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment," *Building and Environment*, vol. 38, pp. 261-270, December 2003.
- [30] Q. Meng C. Feng, "Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs," *Energy and buildings*, vol. 42, pp. 959-965, June 2010.
- [31] M. Schmidt, "Energy savings through the greening of buildings: the example of the institute of physics the Humboldt University in Berlin," *World climater & energy event*, vol. 1, December 2003.

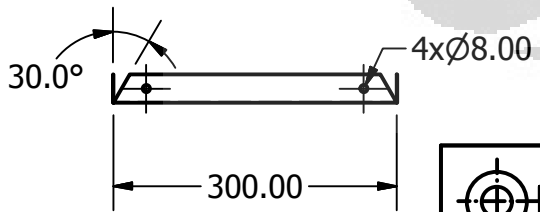
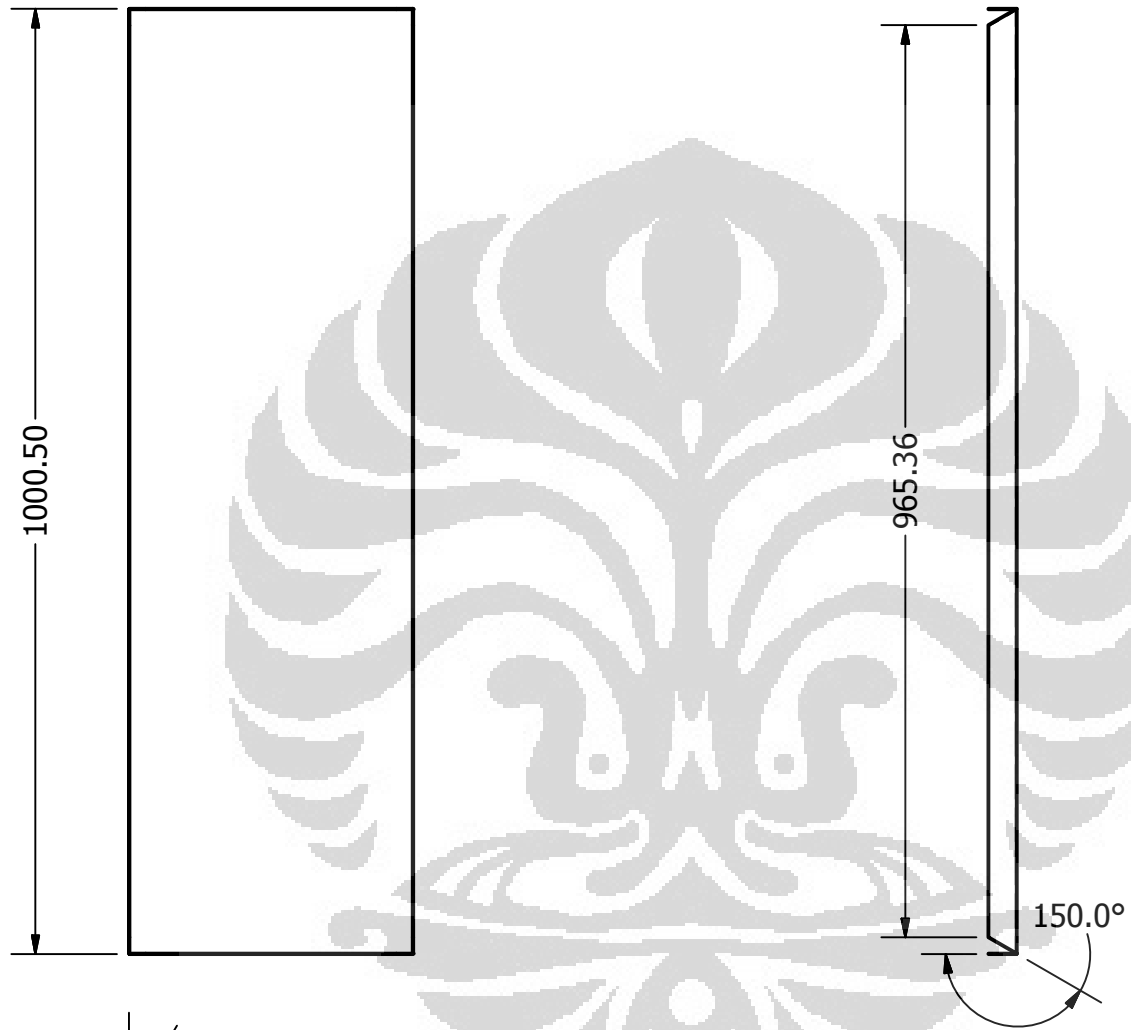


	SKALA : 1:4	DIGAMBAR: RETSA A. M.	PERINGATAN
	SATUAN : mm	NPM : 0806454916	
	TANGGAL:	DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.	
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA	BATANG PENOPANG PANJANG		A4

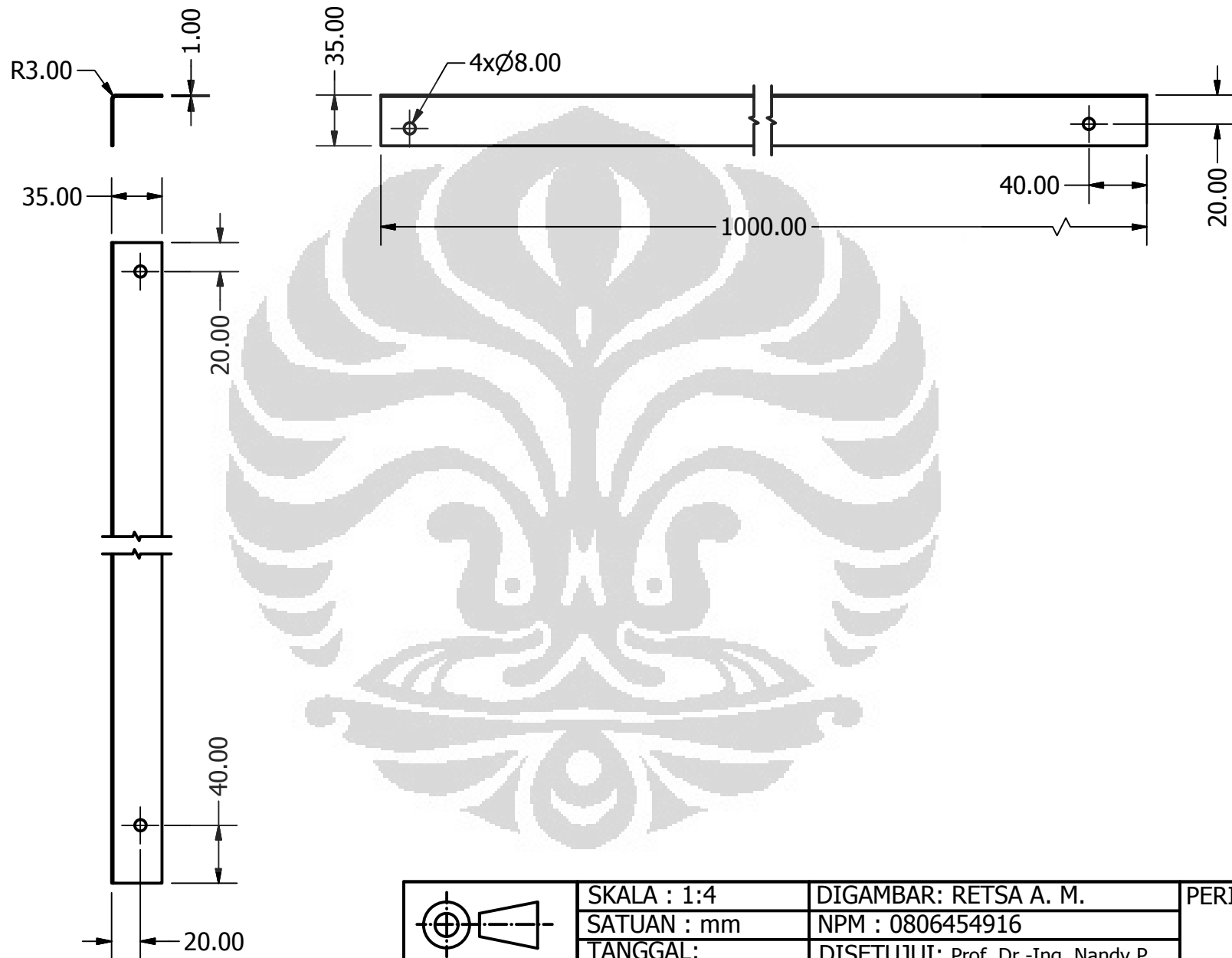


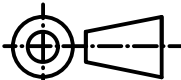
SKALA : 1:4	DIGAMBAR: RETSA A. M.	PERINGATAN
SATUAN : mm	NPM : 0806454916	
TANGGAL:	DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.	

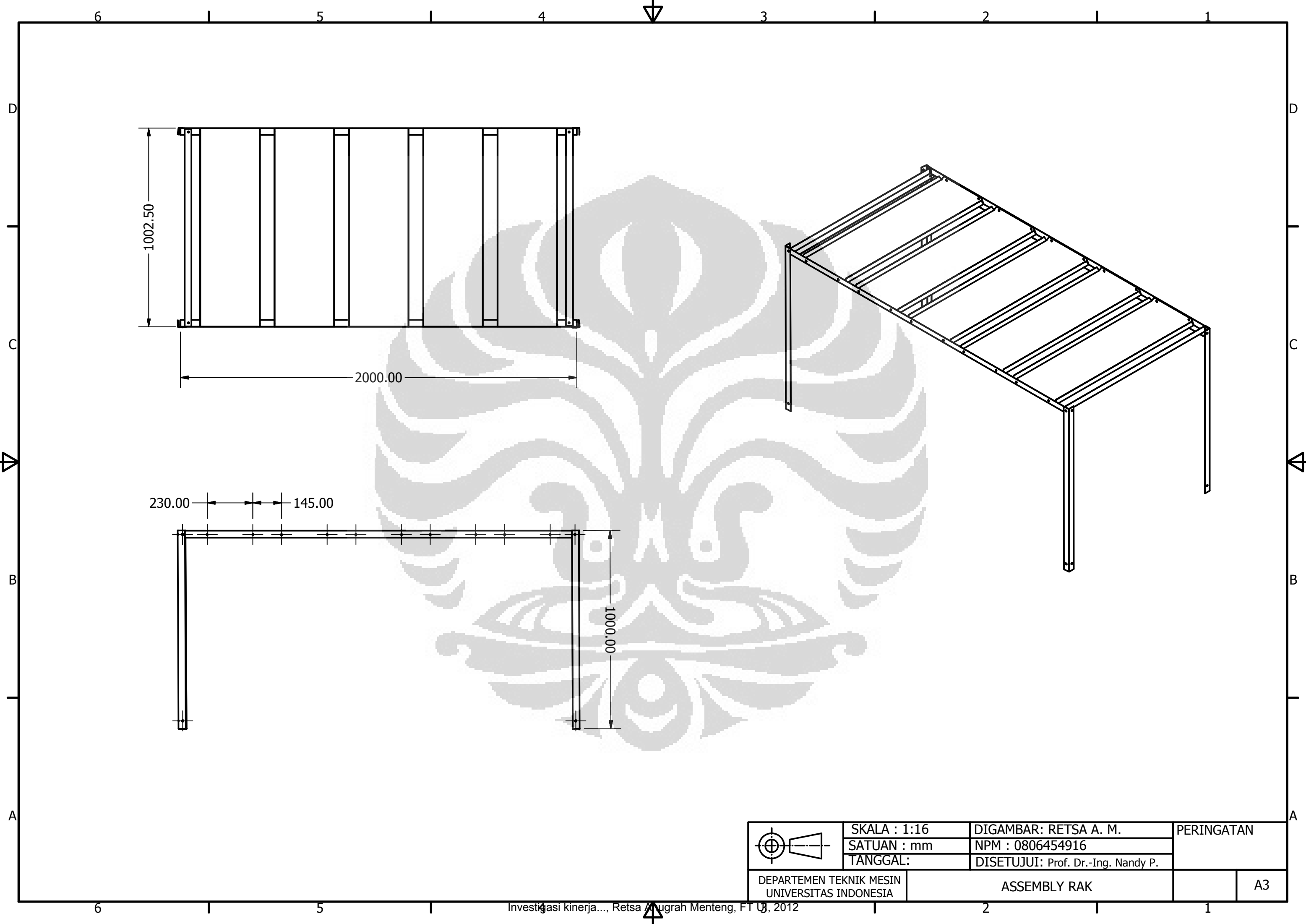
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA	BATANG PENOPANG KECIL	A4
--	-----------------------	----



	SKALA : 1:8	DIGAMBAR: RETSA A. M.	PERINGATAN
	SATUAN : mm	NPM : 0806454916	
	TANGGAL:	DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.	
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA	MEJA RAK		A4



	SKALA : 1:4	DIGAMBAR: RETSA A. M.	PERINGATAN
	SATUAN : mm	NPM : 0806454916	
	TANGGAL:	DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.	
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA	KAKI MEJA		A4



	SKALA : 1:16	DIGAMBAR: RETSA A. M.	PERINGATAN
	SATUAN : mm	NPM : 0806454916	
	TANGGAL:	DISETUJUI: Prof. Dr.-Ing. Nandy P.	
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS INDONESIA	ASSEMBLY RAK		A3