

**DESAIN INSTALASI PEMANFAATAN AIR HUJAN UNTUK
SKALA RUMAH TANGGA DI KECAMATAN NATAR
LAMPUNG SELATAN**

(Skripsi)

Oleh

Khoiru Ni'mah



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

ABSTRACT

INSTALLATION DESIGN OF RAIN WATER UTILIZATION FOR HOUSEHOLD SCALE IN NATAR DISTRICT SOUTH LAMPUNG

By

KHOIRU NI'MAH

Rainfall in Indonesia, especially the western region of Indonesia, is included in high rainfall. This rainfall potential, especially in Natar District, South Lampung, is also high in Lampung Province. So far, overflowing rainwater is only channeled to drainage drains with unused water in vain. To prevent this from happening, water conservation needs to be done.

Rain water harvesting is one method of utilizing rainwater. Where rainwater that is caught by the roof of a building can be harvested so as to reduce the need for the use of clean water that has been using ground water taken by drilling.

By using this rainwater harvesting method, the captured rainwater will be accommodated in a fermented cement container with a capacity of 10 m³ with an estimated construction cost of Rp. 9,847,175.00.

The results of this study indicate the potential for water saving for a year or what is called supporting capacity rain water harvesting of 35.07 percent in wet years from the total need for clean water for a 4-person residence. In addition, the use of rainwater can be an added value in the water conservation program that is being promoted at this time.

Key words : Rain Water Harvesting, Water Demand, Natar District South Lampung, Supporting Capacity Rain Water Harvesting, Ferrocement.

ABSTRAK

DESAIN INSTALASI PEMANFAATAN AIR HUJAN UNTUK SKALA RUMAH TANGGA DI KECAMATAN NATAR LAMPUNG SELATAN

Oleh

KHOIRU NI'MAH

Curah hujan di Indonesia khususnya wilayah barat Indonesia termasuk dalam curah hujan tinggi. Potensi curah hujan ini khususnya di Kecamatan Natar Lampung juga termasuk tinggi di Provinsi Lampung. Selama ini air hujan yang melimpas hanya dialirkan ke saluran pembuangan drainase yang airnya tak terpakai sia-sia. Untuk mencegah hal ini terjadi, perlu dilakukan konservasi air.

Rain water harvesting merupakan salah satu metode upaya pemanfaatan air hujan. Dimana air hujan yang tertangkap oleh atap bangunan rumah dapat dipanen sehingga dapat mengurangi kebutuhan penggunaan air bersih yang selama ini menggunakan air tanah yang diambil dengan cara di bor

Dengan menggunakan metode panen air hujan ini, air hujan yang tertangkap akan ditampung dalam wadah bak penampung berbahan ferosemen dengan kapasitas 10 m³ dengan estimasi biaya pembangunan sebesar Rp. 9.847.175,00.

Hasil penelitian ini menunjukkan potensi penghematan air selama setahun atau yang disebut *supporting capacity rain water harvesting* sebesar 35,07 persen dari total kebutuhan air bersih untuk rumah tinggal berpenghuni 4 orang. Disamping itu, pemanfaatan air hujan ini dapat menjadi nilai tambah dalam program konservasi air yang sedang digalakkan saat ini.

Kata kunci : Panen Air Hujan, Kebutuhan Air, Kecamatan Natar Lampung, *Supporting Capacity Rain Water Harvesting*, Ferosemen.

**DESAIN INSTALASI PEMANFAATAN AIR HUJAN UNTUK
SKALA RUMAH TANGGA DI KECAMATAN NATAR
LAMPUNG SELATAN**

Oleh

KHOIRU NI'MAH

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **DESAIN INSTALASI PEMANFAATAN AIR HUJAN UNTUK SKALA RUMAH TANGGA DI KECAMATAN NATAR LAMPUNG SELATAN**

Nama Mahasiswa : **Khoiru Ni'mah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115011052

Jurusan : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006



Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001


2. Ketua Jurusan



Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

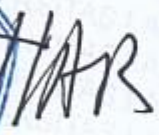
Ketua : Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D. 

Sekretaris : Ir. Laksmi Irianti, M.T. 

Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D. 



2. Dekan Fakultas Teknik


Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Agustus 2018

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula, bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Agustus 2018



Penulis,


Khoiru Ni'mah

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Khoiru Ni'mah lahir di Pringsewu, pada tanggal 14 Maret 1993, merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Nur Mu'arif dan Ibu Siti Khomsah.

Penulis memiliki dua saudara perempuan yang bernama Cahyaning Hani'ah dan Putri Tsalitsul Karimah.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 3 Kresnomulyo yang diselesaikan pada tahun 2005. Pendidikan tingkat pertama ditempuh di SMPN 1 Ambarawa yang diselesaikan pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan tingkat atas di SMAN 1 Ambarawa yang diselesaikan pada tahun 2011.

Penulis diterima menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2011. Kemudian diberi kepercayaan menjadi asisten dosen mata kuliah Mekanika Rekayasa I dan Mekanika Bahan Semester Ganjil Tahun Ajaran 2013/2014, Mekanika Rekayasa II dan Mekanika Fluida Semester Genap Tahun Ajaran 2013/2014, Hidrolika, Struktur Baja I, dan Analisa Struktur III Semester Ganjil Tahun Ajaran 2014/2015. Pada saat menjadi Mahasiswa Penulis mengikuti salah satu Tri Dharma Perguruan Tinggi yaitu pengabdian terhadap masyarakat di Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran serta mengikuti Kerja Praktik Lapangan dalam proyek Pembangunan Hotel Grand Mercure di Bandar Lampung pada tahun 2015.

Penulis mengambil tugas akhir dengan judul Desain Instalasi Pemanfaatan Air Hujan untuk Skala Rumah Tangga di Kecamatan Natar Lampung Selatan. Penulis terdaftar sebagai anggota bidang Protokoler Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (Himateks) masa jabatan 2013-2014 dan sebagai sekretaris Rayon Teknik Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia masa khidmat 2015-2016.

MOTTO

*“Belajar dari masa lalu, hidup untuk masa kini, dan berharap
untuk masa yang akan datang”
(Albert Einstein)*

*“Ayo segera bangun mimpimu atau orang lain akan memperkerjakan kamu
untuk membangun mimpi mereka”
(Farrag Gray)*

*“Barang siapa ingin mutiara, harus berani terjun dilautan
Yang dalam”
(Ir. Soekarno)*

*“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja
ia menyelesaikan dengan baik”
(H.R. Thabrani)*

*“Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak memanfaatkannya
Menggunakan untuk memotong, ia akan memotongmu”
(H.R. Muslim)*

Persembahan

Sebuah karya kecil buah pemikiran dan kerja keras untuk,

Ayahandaku tercinta Nur Mu'arif,

Ibundaku tercinta Siti Khomsah,

Adinda Cahyaning Hani'ah,

Adinda Putri Tsalitsul Karimah,

Serta saudara seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2011

Saudara seperjuangan 8 Component

JAYA TERUS ALMAMATERKU !!!!!

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Desain Instalasi Pemanfaatan Air Hujan Untuk Skala Rumah Tangga di Kecamatan Natar Lampung Selatan*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik.

Penulisan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, bimbingan, nasehat, saran, dan perhatian dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung atas bantuannya dalam proses penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing I atas kesediaannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, bantuan, saran, nasehat, dan masukan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing II atas kesediaannya

meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, bantuan, saran, nasehat, dan masukan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

4. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji atas segala masukan, kritik, dan saran yang bermanfaat bagi penulis sehingga skripsi ini menjadi lebih bermakna dan berarti.
5. Bapak Ir. Setyanto, M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memotivasi dan memberikan nasihat kepada penulis selama menjadi mahasiswa.
6. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan banyak pelajaran berharga baik akademik maupun moral selama menempuh pendidikan.
7. Bapak dan Ibu staf administrasi di Jurusan maupun di Dekanat yang telah memberikan bantuan demi terselesaikannya semua proses pembelajaran dan skripsi ini.
8. Kedua Orangtuaku, Bapak Nur Mu'arif dan Ibu Siti Khomsah yang telah membesarkan dan mendidik dengan penuh ketulusan dan kasih sayang. Terima kasih atas segala doa, nasehat, kesabaran, materi, dan kasih sayang yang telah diberikan dalam setiap proses kehidupan ku.
9. Puji Utomo dan kedua adikku Cahyaning Hani'ah dan Putri Tsalitsul Karimah yang telah memberikan nasihat, saran dan motivasi kepada penulis selama ini.
10. Pak Dani dan seluruh rekan kerja CV. Berkat Mu Ada yang telah memberikan nasihat, saran dan motivasi kepada penulis selama ini.
11. Sahabat-sahabatku selama menempuh pendidikan di jurusan ini: Jefri Agus Hidayat, Hari Barkah, Cindy Novalia, Tuti Alawiya, Novriyanti Purba Tanjung,

dan Agung Satri Kurniawan yang telah memberikan keceriaan, kenangan dan semangat kepada penulis.

12. Sahabat Kerja Praktik Yumna Cio dan Suhardi.
13. Seluruh masyarakat Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Pesawaran dan teman-teman sewaktu KKN Tematik Unila Agustus 2014. Terima kasih atas kerjasama, bantuan, dan pengajaran yang telah diberikan saat melakukan pengabdian kepada masyarakat.
14. Teman-teman angkatan 2011 serta kakak dan adik tingkat di Jurusan Teknik Sipil. Terima kasih atas seluruh bantuan dan kerjasamanya selama ini.
15. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, tetapi telah berjasa dalam membantu penulis menyelesaikan pendidikan.

Akhir kata semoga segala kebaikan dan bantuan yang diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, tetapi besar harapan penulis semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Agustus 2018

Penulis,

Khoiru Ni'mah

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Identifikasi Masalah | 2 |
| C. Rumusan Masalah | 3 |
| D. Tujuan Penelitian | 3 |
| E. Manfaat Penelitian | 4 |
| F. Batasan Masalah..... | 4 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| A. Air bersih..... | 5 |
| 1. Persyaratan Fisika | 5 |
| 2. Persyaratan Kimia | 6 |
| 3. Persyaratan Mikrobiologis | 9 |
| B. Panen Air Hujan (<i>Rain Water Harvesting</i>) | 10 |
| 1. Pemanenan Air Hujan Melalui Atap | 11 |
| 2. Komponen Panen Air Hujan | 14 |
| 3. Keseimbangan Bak dan Penentuan Ukuran Bak..... | 15 |
| 4. Kebutuhan Air | 16 |
| 5. Perkiraan Pemakaian Air..... | 21 |

| | |
|---|----|
| C. Siklus Hidrologi | 22 |
| D. Ferosemen | 24 |
| 1. Perbedaan antara Ferosemen dan Beton Bertulang..... | 27 |
| 2. Bahan Pembentuk Ferosemen | 29 |
| 3. Analisa..... | 40 |
| E. Dasar Perencanaan Ferosemen..... | 46 |
| 1. Besaran Rencana | 47 |
| F. Tekanan Air..... | 49 |
| III. METODOLOGI PENELITIAN..... | 51 |
| A. Umum..... | 51 |
| B. Metodologi Penelitian | 53 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 56 |
| A. Data | 56 |
| B. Penentuan Tahun Basah dan Tahun Kering | 58 |
| C. Komponen <i>Inflow</i> | 60 |
| 1. Daerah Tangkapan Hujan..... | 60 |
| 2. Volume Ketersediaan Air..... | 61 |
| D. Komponen <i>Outflow</i> | 62 |
| 1. Pemakaian Air | 62 |
| 2. Jumlah Penghuni | 63 |
| E. Simulasi..... | 64 |
| F. <i>Supporting Capacity Rain Water Harvesting</i> | 66 |
| G. Rencana Anggaran Biaya | 68 |
| H. Kontrol Desain Bak Ferosemen | 71 |
| V. PENUTUP..... | 76 |
| A. Kesimpulan..... | 76 |
| B. Saran..... | 77 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1. Salah Satu Contoh Sistem Penampungan Air Hujan | 11 |
| Gambar 2.2. Penampung Air Hujan di Atas Permukaan Tanah..... | 13 |
| Gambar 2.3. Siklus Hidrologi | 23 |
| Gambar 2.4. gerbang Utama Ragunan, Jakarta, diambil th 2001 | 24 |
| Gambar 2.5. Menara Siger Lampung..... | 25 |
| Gambar 2.6. Perahu Ganesa setelah diperbaiki, th 1990..... | 25 |
| Gambar 2.7. Grafik Gradasi Agregat Halus (Pasir)..... | 33 |
| Gambar 2.8 Kawat jala las segi empat | 35 |
| Gambar 2.9 Kawat anyaman segiempat | 36 |
| Gambar 2.10. Jenis – jenis jaringan kawat | 37 |
| Gambar 2.11. Kawat ayam | 38 |
| Gambar 2.12. Besi cor (Reinforce Mesh) ukuran diameter 6 mm | 39 |
| Gambar 2.13. Distribusi tekanan air dalam keadaan diam (<i>at rest</i>) pada dinding..... | 50 |
| Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian | 53 |
| Gambar 4.1. Curah Hujan Selama 10 Tahun | 57 |
| Gambar 4.2. Grafik Tahun Basah, Tahun Kering dan Tahun Normal | 60 |
| Gambar 4.3. Contoh Daerah Tangkapan | 61 |
| Gambar 4.4. Grafik Supporting Capacity Rain Water Harvesting | 66 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 4.1. Curah Hujan Harian Tahun 2008..... | 56 |
| Tabel 4.2. Klasifikasi Sifat Tahun | 59 |
| Tabel 4.3. Pemakaian Air Sesuai Penggunaan Gedung | 63 |
| Tabel 4.4. Hasil Simulasi 10 Hari Pertama..... | 65 |
| Tabel 4.5. Kebutuhan Bahan untuk Bak Penampung Air dari Fero semen | 68 |
| Tabel 4.6. Rencana Anggaran Biaya Kebutuhan Bahan Bak Fero semen 10 m ³ | 69 |
| Tabel 4.7. Upah Tenaga Pekerja Pekerjaan Bak Fero semen 10 m ³ | 70 |

DAFTAR NOTASI

| | | |
|-----------------|---|---|
| V_f | = | volume fraksi tulangan (%) |
| N | = | jumlah lapisan jaringan kawat |
| d_w | = | diameter jaringan kawat (mm) |
| h | = | ketebalan elemen ferosemen (mm) |
| D_L | = | jarak pusat ke pusat kawat dalam arah longitudinal (mm) |
| D_T | = | jarak pusat ke pusat kawat dalam arah transversal (mm) |
| D | = | jarak pusat ke pusat kawat (mm) |
| M_n | = | momen nominal (Nmm) |
| C | = | gaya tekan pada blok tekan mortar (N) |
| T | = | gaya tarik pada masing – masing jaringan (N) |
| Y_C | = | jarak gaya tekan ke lengan tarik (c) (mm) |
| Y_T | = | jarak gaya tarik ke lengan tekan (c) (mm) |
| ϵ_{ti} | = | regangan dari tulangan jaringan pada lapisan i (mm) |
| ϵ_{ry} | = | regangan leleh nominal dari tulangan jaringan (mm) |
| ϵ_{mu} | = | regangan ultimit mortar tekan (biasanya diasumsikan 0,003 untuk mortar/beton) |
| δ_{ri} | = | tegangan dari tulangan jaringan pada lapisan i (MPa) |
| δ_{ry} | = | tegangan leleh dari tulangan jaringan (MPa) |
| E_r | = | modulus elastisitas jaringan kawat (MPa) |

- A = luas penampang kawat (mm^2)
- b = lebar penampang elemen (mm)
- A_{ri} = luas penampang dari tulangan jaringan kawat pada lapisan i (mm^2)
- d_i, d_j = jarak serat tekan terluar ke titik tengah tulangan pada lapisan i (blok tekan) dan j (blok tarik) (mm)
- β_1 = faktor reduksi 0,8
- c = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)
- f'_c = kuat tekan mortar (MPa)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dunia akan mengalami krisis sumber daya air di masa mendatang. Krisis sumber daya air disebabkan oleh kebutuhan air yang semakin besar akibat dari peningkatan jumlah penduduk dan perubahan fungsi lahan akan berdampak pada perubahan siklus hidrologi. Kebutuhan air bersih yang semakin meningkat saat ini harus diimbangi dengan jumlah air bersih yang tersedia. Terutama di daerah perkotaan, seiring banyaknya pembangunan gedung- gedung bertingkat dan perumahan, dapat mengurangi daerah lahan resapan air. Perubahan fungsi lahan tersebut menyebabkan peningkatan volume aliran limpasan air permukaan sehingga volume air yang mengalami infiltrasi dan menjadi air tanah menjadi berkurang, sementara ketersediaan air bersih tersebut semakin langka dan mahal.

Krisis air yang berkepanjangan akan memberi dampak yang berarti bagi kehidupan manusia yang sangat bergantung pada keberadaan air. Oleh karena itu perlu segera dilakukan konservasi sumber daya air untuk menjaga kelestarian sumber daya air. Peningkatan dan pengembangan

sumber daya air secara berkelanjutan diantaranya dapat melalui optimalisasi pemanfaatan sumber daya air, baik dari sisi penggunaan maupun penyediaannya sangat diperlukan.

B. Identifikasi Masalah

Air yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk konsumsi adalah hanya yang berupa air tawar. Sedangkan volume terbesar dari air tersedia di laut berupa air asin sehingga untuk memenuhi kebutuhan air manusia perlu dilakukan manipulasi daur hidrologi agar tersedia air tawar yang cukup banyak. Untuk itulah dibutuhkan manajemen air yang terpadu sehingga dapat tercipta keseimbangan dalam pemanfaatan air. Salah satu diantaranya adalah dengan menerapkan konsep panen air hujan (*rainwater harvesting*), yaitu konsep pengumpulan air hujan yang ditampung dalam suatu reservoir untuk kemudian air yang telah dikumpulkan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif sumber air sehingga dapat mengurangi penggunaan air tanah.

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Selama musim hujan berlangsung, beberapa daerah sering mengalami banjir. Pola curah hujan di wilayah Lampung termasuk tinggi sehingga potensi air hujan sebagai sumber daya air alternatif sangat besar. Sedangkan masih sedikit masyarakatnya yang sadar akan pemanfaatan air hujan tersebut.

Penelitian ini akan membahas tentang potensi curah hujan di suatu daerah di Indonesia sekaligus menghitung dimensi bangunan penampung air hujan yang cocok untuk memenuhi kebutuhan air pada skala bangunan rumah tinggal. Sehingga dapat diharapkan dapat membantu masyarakat dalam merencanakan sistem pemanen air hujan yang efisien. Penelitian ini berlokasi di Kecamatan Natar Provinsi Lampung.

C. Rumusan Masalah

Masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah potensi hujan sebagai alternatif sumber air bersih di Kecamatan Natar Provinsi Lampung?
2. Bagaimanakah bentuk instalasi air hujan yang baik?
3. Berapakah biaya investasi yang dikeluarkan untuk bangunan penampung air hujan tersebut?

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut :

1. Menghitung daya dukung pemanenan air hujan terhadap pemenuhan kebutuhan air domestik.
2. Merencanakan bangunan penampung air hujan.
3. Menghitung rencana anggaran biaya bangunan penampung air hujan yang direncanakan.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang potensi air hujan yang dapat dijadikan alternatif sumber air bersih.
2. Memberikan informasi tentang perencanaan bangunan penampung air hujan yang baik.
3. Memberikan informasi tentang biaya investasi pembangunan bangunan penampung air hujan di Kecamatan Natar Provinsi Lampung.

F. Batasan Masalah

Dalam penulisan skripsi ini penulis membatasi penelitian dengan hal– hal berikut, diantaranya :

1. Wilayah studi yang ditinjau adalah Kecamatan Natar Provinsi Lampung.
2. Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan dari stasiun hujan Radin Inten II.
3. Metode perhitungan pengolahan data.
4. Bangunan yang direncanakan menggunakan bahan Ferosemen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Air Bersih

Air bersih adalah air yang memenuhi persyaratan kesehatan untuk kebutuhan minum, masak, mandi, dan energi. Air sebagai salah satu faktor esensial bagi kehidupan sangat dibutuhkan dalam kriteria sebagai air bersih. Air dikatakan bersih bila memenuhi syarat sebagai berikut :

1. Persyaratan Fisika

Air yang berkualitas harus memenuhi persyaratan fisika sebagai berikut :

- Jernih atau tidak keruh. Air yang keruh disebabkan oleh adanya butiran-butiran koloid dari tanah liat. Semakin banyak kandungan koloid maka air semakin keruh.
- Tidak berwarna. Air untuk keperluan rumah tangga harus jernih. Air yang berwarna berarti mengandung bahan-bahan lain yang berbahaya bagi kesehatan.
- Rasanya tawar. Secara fisika, air bisa dirasakan oleh lidah. Air yang terasa asam, manis, pahit atau asin menunjukkan air tersebut tidak baik. Rasa asin disebabkan adanya garam-garam tertentu yang larut

dalam air, sedangkan rasa asam diakibatkan adanya asam organik maupun asam anorganik.

- Tidak berbau. Air yang baik memiliki ciri tidak berbau bila dicium dari jauh maupun dari dekat. Air yang berbau busuk mengandung bahan organik yang sedang mengalami dekomposisi (penguraian) oleh mikroorganisme air.
- Temperaturnya normal. Suhu air sebaiknya sejuk atau tidak panas terutama agar tidak terjadi pelarutan zat kimia yang ada pada saluran/pipa, yang dapat membahayakan kesehatan dan menghambat pertumbuhan mikro organisme.
- Tidak mengandung zat padatan. Air minum mengandung zat padatan yang terapung di dalam air.

2. Persyaratan Kimia

Kandungan zat atau mineral yang bermanfaat dan tidak mengandung zat beracun. Ada beberapa unsur kimia dalam air antara lain :

- pH (derajat keasaman)
Penting dalam proses penjernihan air karena keasaman air pada umumnya disebabkan gas Oksida yang larut dalam air terutama karbondioksida. Pengaruh yang menyangkut aspek kesehatan dari pada penyimpangan standar kualitas air minum dalam hal pH yang lebih kecil 6,5 dan lebih besar dari 9,2 akan tetapi dapat menyebabkan beberapa senyawa kimia berubah menjadi racun yang sangat mengganggu kesehatan.

- Kesadahan

Kesadahan ada dua macam yaitu kesadahan sementara dan kesadahan non karbonat (permanen). Kesadahan sementara akibat keberadaan Kalsium dan Magnesium bikarbonat yang dihilangkan dengan memanaskan air hingga mendidih atau menambahkan kapur dalam air. Kesadahan non karbonat (permanen) disebabkan oleh sulfat dan karbonat, Chlorida dan Nitrat dari Magnesium dan Kalsium disamping Besi dan Alumunium. Konsentrasi kalsium dalam air minum yang lebih rendah dari 75 mg/l dapat menyebabkan penyakit tulang rapuh, sedangkan konsentrasi yang lebih tinggi dari 200 mg/l dapat menyebabkan korosifitas pada pipa-pipa air. Dalam jumlah yang lebih kecil magnesium dibutuhkan oleh tubuh untuk pertumbuhan tulang, akan tetapi dalam jumlah yang lebih besar 150 mg/l dapat menyebabkan rasa mual.

- Besi

Air yang mengandung banyak besi akan berwarna kuning dan menyebabkan rasa logam besi dalam air, serta menimbulkan korosi pada bahan yang terbuat dari metal. Besi merupakan salah satu unsur yang merupakan hasil pelapukan batuan induk yang banyak ditemukan diperairan umum. Batas maksimal yang terkandung didalam air adalah 1,0 mg/l

- Aluminium

Batas maksimal yang terkandung didalam air menurut Peraturan Menteri Kesehatan No 82 / 2001 yaitu 0,2 mg/l. Air yang

mengandung banyak aluminium menyebabkan rasa yang tidak enak apabila dikonsumsi.

- Zat organik

Larutan zat organik yang bersifat kompleks ini dapat berupa unsur hara makanan maupun sumber energi lainnya bagi flora dan fauna yang hidup diperairan.

- Sulfat

Kandungan sulfat yang berlebihan dalam air dapat mengakibatkan kerak air yang keras pada alat merebus air (panci / ketel) selain mengakibatkan bau dan korosi pada pipa. Sering dihubungkan dengan penanganan dan pengolahan air bekas.

- Nitrat dan nitrit

Pencemaran air dari nitrat dan nitrit bersumber dari tanah dan tanaman. Nitrat dapat terjadi baik dari NO_2 atmosfer maupun dari pupuk-pupuk yang digunakan dan dari oksidasi NO_2 oleh bakteri dari kelompok Nitrobacter. Jumlah Nitrat yang lebih besar dalam usus cenderung untuk berubah menjadi Nitrit yang dapat bereaksi langsung dengan hemoglobine dalam darah membentuk methaemoglobine yang dapat menghalang perjalanan oksigen didalam tubuh.

- Chlorida

Dalam konsentrasi yang layak, tidak berbahaya bagi manusia. Chlorida dalam jumlah kecil dibutuhkan untuk desinfektan namun

apabila berlebihan dan berinteraksi dengan ion Na^+ dapat menyebabkan rasa asin dan korosi pada pipa air.

- Zink atau Zn

Batas maksimal Zink yang terkandung dalam air adalah 15 mg/l. penyimpangan terhadap standar kualitas ini menimbulkan rasa pahit, sepet, dan rasa mual. Dalam jumlah kecil, Zink merupakan unsur yang penting untuk metabolisme, karena kekurangan Zink dapat menyebabkan hambatan pada pertumbuhan anak.

3. Persyaratan mikrobiologis

Persyaratan mikrobiologis yang harus dipenuhi oleh air adalah sebagai berikut :

- Tidak mengandung bakteri patogen, misalnya bakteri golongan coli; *Salmonella typhi*, *Vibrio cholera* dan lain-lain. Kuman-kuman ini mudah tersebar melalui air.
- Tidak mengandung bakteri non patogen seperti *Actinomycetes*, *Phytoplankton coliform*, *Cladocera* dan lain-lain. (Sujudi,1995)
- COD (Chemical Oxygen Demand), yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan misalnya kalium dikromat untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat dalam air (Nurdijanto, 2000 : 15). Kandungan COD dalam air bersih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No 82/2001 mengenai baku mutu air minum golongan B maksimum yang dianjurkan adalah 12 mg/l. apabila

nilai COD melebihi batas dianjurkan, maka kualitas air tersebut buruk.

- BOD (Biochemical Oxygen Demand), BOD adalah jumlah zat terlarut yang dibutuhkan oleh organisme hidup untuk memecah bahan-bahan buangan didalam air (Nurdijanto, 2000 : 15). Nilai BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang dibutuhkan. Penggunaan oksigen yang rendah menunjukkan kemungkinan air jernih, mikro organisme tidak tertarik menggunakan bahan organik, makin rendah BOD maka kualitas air minum tersebut semakin baik. Kandungan BOD dalam air bersih menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No 82 / 2001 mengenai baku mutu air dan air minum golongan B maksimum yang dianjurkan adalah 6 mg/l

Adanya penyebab penyakit didalam air dapat menyebabkan efek langsung dalam kesehatan. Penyakit-penyakit ini hanya dapat menyebar apabila mikro penyebabnya dapat masuk ke dalam air yang dipakai masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari.

B. Panen Air Hujan (*Rainwater Harvesting*)

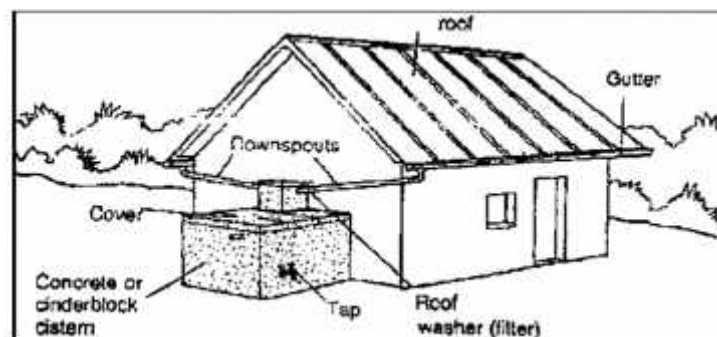
Rain water harvesting adalah kegiatan menampung air hujan lokal dan menyimpannya melalui berbagai teknologi, untuk memenuhi tuntutan konsumsi manusia. Memanen air hujan merupakan alternatif sumber air yang sudah dipraktekkan selama berabad-abad di berbagai negara yang sering

mengalami kekurangan air. Air hujan yang dipanen dapat digunakan untuk multi tujuan seperti menyiram tanaman, mencuci, mandi dan bahkan dapat digunakan untuk memasak jika kualitas air tersebut memenuhi standar kesehatan.

1. Pemanenan air hujan melalui Atap

Sebuah sistem pemanenan air hujan terdiri dari tiga elemen dasar : area koleksi, sistem alat angkut, dan fasilitas penyimpanan. Tempat penampungan dalam banyak kasus adalah atap rumah atau bangunan. Luas efektif atap dan bahan yang digunakan dalam membangun atap mempengaruhi efisiensi pengumpulan dan kualitas air.

Air akhirnya disimpan dalam tangki penyimpanan atau tadah, yang juga harus terbuat dari bahan *inert*. beton bertulang, *fiberglass*, atau stainless steel adalah bahan yang cocok. Tangki Penyimpanan dapat dibangun sebagai bagian dari bangunan, atau mungkin dibangun sebagai unit terpisah letaknya agak jauh dari gedung. Salah satu contoh sistem pemanenan atau penampungan air hujan yang berasal dari atap rumah dapat dilihat seperti pada Gambar berikut.



Gambar 2.1 Salah Satu Contoh Sistem Penampungan Air Hujan Yang Berasal Dari Atap

Sumber: www.rainharvesting.com

Konsep pemanenan air hujan dengan atap bangunan (*roof top rain water harvesting*) pada prinsipnya dilakukan dengan memanfaatkan atap bangunan (rumah, gedung perkantoran, atau industri) sebagai daerah tangkapan airnya (*catchment area*) dimana air hujan yang jatuh di atas atap kemudian disalurkan melalui talang untuk selanjutnya dikumpulkan dan ditampung ke dalam tangki atau bak penampungan air hujan. Selain berbentuk tangki atau bak, tempat penampungan air hujan juga dapat berupa tong air biasa ataupun dalam suatu kolam/taman di dalam rumah. Teknik pemanenan air hujan yang memanfaatkan atap bangunan ini umumnya dilakukan di daerah permukiman / perkotaan.

Keuntungan-keuntungan dari panen air hujan adalah sebagai berikut :

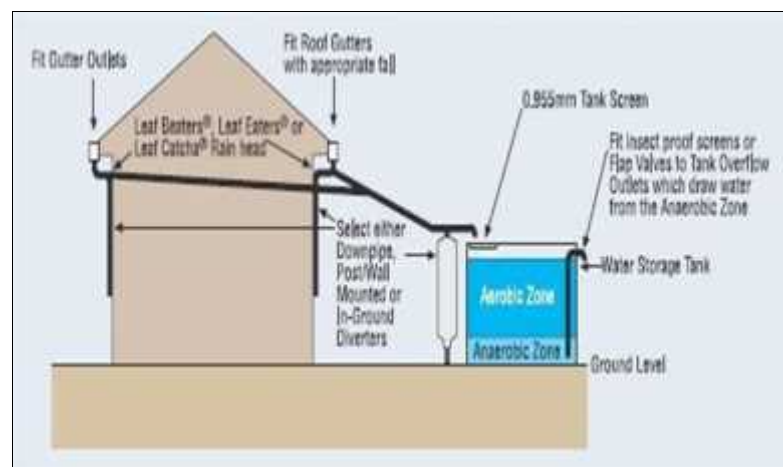
- Air merupakan benda bebas; satu-satunya biaya adalah hanya untuk pengumpulan dan penggunaan.
- Tidak dibutuhkan sistem distribusi yang rumit dan mahal.
- Air hujan dapat menjadi sumber air alternatif ketika air tanah tidak tersedia atau tidak dapat digunakan.
- Panen air hujan mengurangi arus ke aliran limpasan permukaan dan juga mengurangi sumber polusi.
- Panen air hujan mengurangi permintaan kebutuhan air puncak musim kemarau.
- Panen air hujan mengurangi biaya penggunaan listrik dan PAM.

Ada berbagai teknik penerapan pemanenan air hujan yang dapat dipilih disesuaikan dengan kondisi setempat. Penampung air hujan (PAH) merupakan wadah yang dipergunakan untuk menampung air hujan yang jatuh

di atas bangunan (rumah, gedung perkantoran, atau industri) yang disalurkan melalui talang. PAH sudah banyak dipakai masyarakat secara tradisional sebagai cadangan air bersih. PAH dapat dibangun atau diletakkan di atas permukaan tanah atau di bawah permukaan tanah atau di bawah bangunan rumah yang disesuaikan dengan ketersediaan lahan.

PAH yang diletakkan di atas permukaan tanah mempunyai berbagai keuntungan seperti mudah dalam mengambil/ memanfaatkan airnya (pengalirannya dapat dengan metode gravitasi) dan mudah perawatannya. Volume penampungan air hujan yang digunakan disesuaikan dengan luas atap serta curah hujan setempat.

Di beberapa tempat di Indonesia dimana sumber daya air tawarnya terbatas misalnya untuk wilayah pesisir serta pulau pulau kecil, daerah Kalimantan serta wilayah lain, penampungan atau pemanenan air hujan merupakan hal yang sudah biasa dilakukan untuk memenuhi kebutuhan air minum. Penampungan dilakukan dari mulai skala yang kecil (rumah tangga) sampai dengan volume yang besar. Beberapa contoh penampungan air hujan di beberapa tempat di Indonesia dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 2.2. Penampung Air Hujan di Atas Permukaan Tanah
 Sumber: www.rainharvesting.com

2. Komponen Panen Air Hujan

Panen air hujan merupakan proses penangkapan, diversifikasi, dan penyimpanan air hujan untuk beragam tujuan, irigasi, sumber air minum, kebutuhan rumahtangga, dan pengisian kembali akifer.

Pada aplikasi dengan skala kecil, panen air hujan dapat dibuat sederhana dengan menyalurkan aliran air hujan dari atap yang tidak menggunakan talang langsung menuju sebuah daerah lansekap dengan memanfaatkan kontur pada daerah lansekap tersebut sistem yang lebih kompleks meliputi talang, saluran pengelontor air hujan pertama (*first flush diverters*), pipa, penampung, penyaring, pompa dan unit pengolahan air.

Komponen dasar dari sistem ini tergantung dengan kerumitan dari sistem tersebut. Namun, secara umum, sistem panen air hujan domestik memiliki enam komponen dasar, yaitu :

1) Permukaan daerah tangkapan air hujan

Atap bangunan merupakan pilihan sebagai area penangkapan hujan. Jumlah air yang dapat ditampung dari sebuah atap tergantung dari material atap tersebut, dimana semakin baik jika permukaan semakin halus.

2) Talang dan pipa *downspout* : menangkap dan menyalurkan air hujan yang melimpas dari atap menuju penampungan. Material yang biasanya digunakan pada unit ini adalah PVC, *vinyl*, dan *galvanized steel*.

3) Saringan daun, saluran pengelontor air hujan pertama (*first flush diverters*), dan pencuci atap : komponen penghilang kotoran dari air

yang ditangkap oleh permukaan penangkap sebelum menuju penampungan. Umumnya sebelum air hujan masuk kedalam penampung air hujan yang pertama turun dialirkan terlebih dahulu melalui saluran pengelontor air hujan pertama (*first flush diverters*). Karena air hujan yang pertama kali jatuh membasahi atap membawa berbagai kotoran, zat kimia berbahaya, dan beberapa jenis bakteri yang berasal dari sisa-sisa organisme.

4) Bak/ unit penampungan

Bagian ini merupakan bagian termahal dalam sistem panen air hujan. Ukuran dari unit penampungan ditentukan oleh berbagai faktor, antara lain : persediaan air hujan, permintaan kebutuhan air, lama musim kemarau, penampung area penangkap dan dana yang tersedia.

5) Pemurnian dan penyaringan air

Komponen ini hanya dipakai pada sistem panen air hujan sebagai sumber air minum.

3. Keseimbangan Air dan Penentuan Ukuran Bak Penampung Air Hujan

Aturan utama dalam penentuan ukuran bak penampung air hujan adalah volume hujan yang ditangkap harus sama dengan atau melebihi permintaan kebutuhan air. Variabel dari air hujan dan kebutuhan air menggambarkan hubungan antara daerah tangkapan yang dibutuhkan dengan kapasitas penyimpanan. Pada beberapa kasus, diperlukan perluasan daerah tangkapan air seiring dengan penambahan kapasitas penampung untuk memenuhi permintaan kebutuhan air. Sistem

penampungan harus mampu menampung air lebih sebagai antisipasi pemenuhan kebutuhan air pada saat air hujan tidak turun dalam jangka waktu yang cukup lama. Hal ini menunjukkan cara untuk menghitung jumlah air hujan, estimasi permintaan kebutuhan air, dan besar kapasitas penyimpanan air yang dibutuhkan sebagai persediaan air,

Secara teori, diperkirakan air yang dapat ditampung adalah sebesar 0,62 galon per kaki persegi area penangkapan (1 galon = 0,003785 m³, 1 kaki = 0,3048 m). Tetapi pada praktiknya, sejumlah air hujan hilang menuju saluran pengelontor air hujan pertama (*first flush diverters*), melimpas dari talang saat hujan deras atau kemungkinan mengalami kebocoran. Hal ini berdampak bahwa penampungan air hujan tidak dapat mencapai efisiensi yang maksimal dalam menangkap semua air pada saat hujan puncak, apalagi pada saat penampungan sudah penuh maka air hujan akan hilang sebagai air limpasan. Untuk keperluan perencanaan, inefisiensi yang terjadi dalam sistem ini harus diperhitungkan.

4. Kebutuhan Air

Air adalah sumber kehidupan, tanpa ada air maka kehidupan akan berakhir. Semua makhluk hidup memerlukan air agar dapat bertahan hidup dengan jumlah dan kualitas air yang dibutuhkan oleh tiap makhluk hidup tersebut berbeda-beda. Pemenuhan kebutuhan air akan sangat penting sehingga segala cara dilakukan untuk mendapatkan air agar dapat bertahan hidup. Diperkirakan bahwa beberapa puluh tahun kedepan peperangan yang terjadi adalah akibat dari perebutan sumber daya air,

Kebutuhan air yang utama bagi manusia adalah untuk minum agar tubuh selalu mendapatkan cairan untuk menjaga metabolisme tubuh. Selain untuk minum air juga diperlukan pada hampir seluruh kegiatan manusia terutama untuk kebersihan dan kesehatan, pemakaian air secara tidak langsung juga dilakukan, misalnya untuk irigasi lahan pertanian bagi sumber makanan manusia dan pada proses produksi yang menghasilkan barang-barang pemenuh kebutuhan hidup manusia.

1) Pemakaian Air Untuk Beragam Keperluan

Pemakaian air bersih biasanya digolongkan sesuai dengan lingkungan penggunaannya. Secara umum kebutuhan air bersih digolongkan sebagai :

a. Rumah Tangga (*Domestic*)

Yaitu air yang digunakan di dalam rumah, hotel dan lain-lain untuk keperluan pribadi sehari-hari seperti minum, mandi, mencuci serta kegiatan dengan tujuan kebersihan dan kesehatan, sanitasi, memasak dan penggunaan lainnya. Pemakaian air pada jenis ini bervariasi sesuai dengan tingkat ekonomi pengguna, yakni berkisar 50 liter sampai 250 liter per orang per hari. Besar pemakaian ini sudah termasuk untuk menyiram rumput dan tanaman. Pemakaian rumah tangga ini sekitar 50% dari pemakaian total, dan menjadi lebih besar jika pemakaian totalnya kecil.

b. Industri dan Perdagangan (*Commercial And Industrial*)

Air yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan kegiatan industri dan perdagangan seperti pabrik, kantor dan pusat perbelanjaan.

Kebutuhan ini berbeda-beda pada tiap tempat sesuai dengan ukuran dan jenis industri serta tingkat ketergantungannya dari sitem air kota yang ada. Jumlah air yang dibutuhkan untuk keperluan industri dan perdagangan berhubungan dengan beberapa faktor, seperti unit produksi, jumlah tenaga kerja, atau luas lantai yang dibangun. Pada kota dengan jumlah penduduk lebih dari 25.000 orang, pemakaian industri dan perdagangan adalah sekitar 15% dari pemakaian total.

c. Penggunaan Umum (*Public Use*)

Air yang digunakan untuk bangunan umum dan digunakan untuk pelayanan masyarakat. Termasuk dalam jenis ini adalah air untuk bangunan-bangunan kota, sekolah, penggelontoran, dan perlindungan terhadap kebakaran. Air yang digunakan untuk keperluan ini adalah sekitar 50 sampai 75 liter per orang tiap hari.

d. Hilang dan Terbuang (*Loss And Waste*)

Adalah air untuk pemakaian yang tidak spesifik dan tidak terduga serta bukan untuk pemakaian tertentu. Pemakaian ini dapat ditimbulkan oleh karena kesalahan dalam pembacaan meteran, sambungan yang tak tercatat pemakaiannya atau sambungan yang tidak resmi serta kebocoran pada sistem distribusi.

2) Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pemakaian Air

Besarnya pemakaian air untuk berbagai keperluan berbeda-beda di tiap daerah. Hal ini tergantung dari karakteristik lokal daerah yang bersangkutan, yang terdiri dari beberapa faktor seperti luas kota/daerah dan jumlah penduduk, keberadaan industri, kualitas air,

iklim karakteristik penduduk, perhitungan pemakaian dan efisiensi dari pengelolaan sistem.

Luas daerah tidak berpengaruh langsung terhadap pemakaian air pada masyarakat dengan jumlah warga sedikit yang cenderung lebih sedikit menggunakan air. Pada sisi lain, keberadaan industri yang sangat berkepentingan dengan pemakaian air akan menyebabkan naiknya pemakaian air perkapita. Masyarakat dengan jumlah warga yang sedikit biasanya menempati wilayah yang tidak sepenuhnya dilengkapi dengan sistem jaringan air bersih dan sistem pembuangan limbah, sedangkan penambahah/pemakaian sistem pembuangan limbah dapat menyebabkan meningkatnya pemakaian air.

Industri dan perdagangan mempunyai efek nyata terhadap pemakaian total. Pemakaian pada industri tidak berhubungan langsung dengan jumlah penduduk. Seringkali industri menggunakan suplai air tambahan untuk beberapa keperluan, sehingga dapat menjadi salah satu faktor yang mengurangi pemakaian mereka dari suplai jaringan kota. Pemakaian komersial/perdagangan sangat tergantung dari jumlah karyawan yang bekerja pada suatu kawasan bisnis dan tidak dapat diperkirakan berdasarkan jumlah rumah tinggal. Pemakaian air untuk sanitasi pada fasilitas bisnis adalah sekitar 55 liter per orang untuk 8 jam kerja tiap hari. Perkiraan kadang-kadang dilakukan berdasarkan luas lantai kerja atau berdasarkan luas tanah.

Karakteristik penduduk, terutama tingkat ekonomi dapat menciptakan keragaman mendasar dari pemakaian rata-rata per orang setiap hari. Pada kawasan pemukiman mewah di tengah kota maupun di pinggir kota, pemakaian per orang akan tinggi hanya untuk keperluan rumah tangga. Penyiraman rumput dan tanaman juga mempertinggi pemakaian pada daerah ini. Pada kawasan pemukiman mewah di tengah kota maupun di pinggir kota, pemakaian per orang akan tinggi hanya untuk keperluan rumah tangga. Pada kawasan pemukiman yang tergolong kumuh, pemakaian air akan sangat rendah. Pemakaian yang rendah juga terjadi pada kawasan menengah yang tidak memiliki sistem pembuangan limbah dan pasokan air bersih yang tidak mencukupi.

Tanpa keberadaan meteran pengukur, para pemakai tidak terdorong untuk menghemat pemakaian air dan pembuangan limbah menjadi sangat banyak. Pengukuran juga dapat dipakai sebagai analisa pemakaian berdasarkan kelas pemakaian serta untuk analisa kehilangan akibat kebocoran pada sistem distribusi.

Program penghematan pemakaian dapat dilakukan untuk jangka pendek (selama musim kering dan kurang hujan) maupun untuk jangka panjang dan permanen. Program tersebut dapat berupa pembatasan atau pearangan menyiram rumput; menggalakan penanaman tumbuhan yang tahan kondisi kurang hujan; membiasakan pemakaian pancuran air yang dapat diatur, toilet hemat air, dan peralatan lain yang hemat air. Cara lain adalah dengan

menetapkan harga satuan air yang lebih mahal untuk pemakaian yang lebih besar.

5. Perkiraan Pemakaian Air

Dalam perhitungan perkiraan kebutuhan air, populasi penduduk merupakan faktor yang sangat penting. Sudah jelas bahwa jumlah penduduk yang besar akan memakai air lebih banyak daripada jumlah penduduk yang kecil. Perhitungan perkiraan pemakaian air juga mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti luas daerah, industri dan perdagangan, karakteristik masyarakat, iklim, biaya, dan kualitas pasokan air.

Perhitungan kebutuhan air diperlukan untuk merencanakan sistem pasokan air. Perhitungan dilakukan untuk perencanaan pelayanan masa yang akan datang. Analisa kebutuhan masa depan suatu wilayah dimulai dengan memperhatikan kondisi masyarakat yang ada sekarang. Pemakaian sekarang dapat diperoleh berdasarkan data pencatatan pada stasiun pemompaan dan dengan melakukan survei. Dari data pencatatan dan survei ini kita dapat menentukan besarnya kebutuhan per kapita untuk perencanaan.

Setelah perhitungan kebutuhan rata-rata perkapita, maka kita harus menghitung jumlah penduduk pada masa yang akan datang sesuai dengan waktu rencana, untuk menentukan kebutuhan total. Aspek ekonomi dalam permasalahan ini adalah dalam mempertimbangkan jangka waktu proyeksi jumlah penduduk. Karena adanya ketidakpastian dalam perkiraan jumlah penduduk, suatu perkiraan yang dapat diperluas perlu

disiapkan, dan rencana awal harus dikembangkan utnuk dapat disesuaikan dengan berbagai kemungkinan. Rencana terbaik adalah menawarkan kemudahan untuk disesuaikan dengan perkembangan masa uang akan datang dan pada saat yang bersamaan tetap cocok dengan permasalahan yang tengah dihadapi.

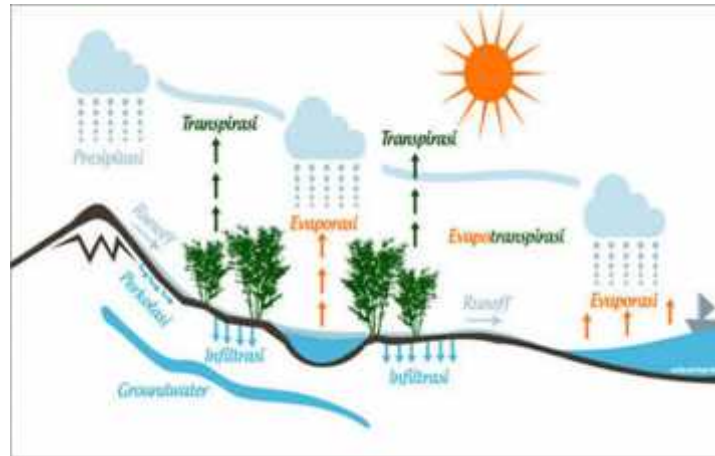
Di Indonesia perhitungan kebutuhan air dilakukan berdasarkan metode yang terdapat dalam petunjuk teknis yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jendral Cipta Karya, termasuk di dalamnya adalah tata cara survey dan pengkajian kebutuhan dan pelayanan air minum.

C. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan bagian penting dari alam yang sangat berpengaruh terhadap kelangsungan hidup manusia. Siklus ini merupakan suatu proses perpindahan air dari suatu tempat ke tempat lain, yang mana mempengaruhi ketersediaan air pada suatu daerah. Meskipun jumlah air di bumi ini relatif tidak berubah dari tahun ke tahun, tetapi ketersediaan air pada suatu area merupakan bagian dari pendistribusian air pada siklus hidrologi ini, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor dan komponen yang mempengaruhi terjadinya siklus hidrologi.

Dalam siklus hidrologi, matahari terus menerus menguapkan air ke atmosfer. Sebagian dari air yang diuapkan itu kembali ke bumi sebagai hujan dan salju. Sebagian dari hujan ini diuapkan kembali ke atmosfer ada juga yang mengalir ke danau dan sungai sebelum kembali ke laut. Selain itu, air juga meresap

kedalam tanah menjadi air tanah. Secara alami, perlahan-lahan air tanah akan muncul kembali menjadi air permukaan dan menjadi sumber utama dari aliran sungai. Tumbuhan menyatukan sebagian dari air tanah di dalam jaringannya kemudian melepaskan sebagian dari air tersebut ke atmosfer dalam proses transpirasi.



Gambar 2.3. Siklus Hidrologi

Sumber: www.ebiologi.com diakses 13 September 2017

Pada gambar 2.3 siklus hidrologi terus bergerak secara kontinu dalam tiga cara yang berbeda :

- Evaporasi/transpirasi – Air yang ada di laut, di daratan, di sungai, di tanaman, dsb. Kemudian akan menguap ke atmosfer dan kemudian akan menjadi awan. Pada keadaan jenuh uap air (awan) itu akan menjadi bintik-bintik air yang selanjutnya akan turun (presipitasi) dalam bentuk hujan, salju dan es.
- Infiltrasi / perkolasi kedalam tanah – Air bergerak kedalam tanah melalui celah-celah dan pori-pori tanah dan batuan menuju muka air tanah. Air dapat bergerak akibat aksi kapiler atau air dapat bergerak secara vertikal atau horizontal dibawah permukaan tanah hingga air tersebut memasuki kembali sistem air permukaan.

- Air permukaan – Air bergerak diatas permukaan tanah dekat dengan aliran utama dan danau; makin landai lahan dan makin sedikit pori-pori tanah, maka aliran permukaan semakin besar. Aliran permukaan tanah dapat dilihat biasanya pada daerah urban. Sungai-sungai bergabung satu sama lain yang kemudian membentuk sungai utama yang membawa seluruh aliran permukaan disekitar daerah aliran sungai menuju laut.

D. Ferosemen

Pada konstruksi bangunan kita akan menemukan keberadaan struktur beton misalnya pada kolom, balok, dan pelat. Struktur tersebut terbuat dari beton konvensional pada umumnya. Di sisi lain, sebenarnya ada material substitusi untuk struktur beton yang lebih efisien dan ekonomis yaitu ferosemen.

Di Indonesia aplikasi ferosemen telah dikenal lebih dari 35 tahun silam, beberapa proyek monumental yang masih ada sampai dengan sekarang, antara lain gerbang masuk kebun binatang Ragunan Jakarta, menara Siger Bakaheuni-Lampung.



Gambar 2.4. gerbang Utama Ragunan, Jakarta, diambil th 2001
Sumber: Anshori, Pengantar Ferosemen, 2004



Gambar 2.5. Menara Siger Lampung
 Sumber: www.youtube.com



Gambar 2.6. Perahu Ganesa setelah diperbaiki, th 1990
 Sumber: Anshori, *Pengantar Ferosemen*, 2004

Keberadaan ferosemen saat ini kurang populer dibandingkan beton maupun semen lainnya. Padahal ferosemen merupakan teknologi alternatif yang ekonomis dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan maupun bahan untuk membuat pesawat luar angkasa sekalipun. Demikian terungkap dalam *Symposium On Ferocement And Thin Reinforced Cement Composites ke-9* (1999).

Menurut Ir. Anshori Djausal, M.T. (1999), penggunaan ferosemen sebenarnya sudah ada sejak abad ke-18 namun penggunaan ferosemen kurang populer karena pada saat itu teknologi untuk menghasilkan bahan-bahan pencampur ferosemen belum berkembang dengan baik. Akibatnya, beton

yang memiliki usia relatif sama berkembang pesat dan populer. Dilihat dari ketahanannya terhadap pukulan yang mendadak, fero semen dapat digunakan untuk berbagai macam proyek, mulai pembuatan vas bunga sampai robot yang menggunakan teknologi tinggi.

Secara ekonomi, fero semen 45% lebih murah dibanding dengan beton bertulang konvensional. Hal tersebut tentunya dipengaruhi oleh dimensi fisik fero semen yang jauh lebih tipis dan ringan dibanding material beton, selain itu untuk membuat fero semen tidaklah membutuhkan SDM dengan keahlian khusus, sehingga fero semen dapat dengan mudah diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan konstruksi pada umumnya. Dari sifat mekaniknya fero semen juga memiliki keunggulan antara lain kuat tekan dan kuat tarik (dapat mencapai 35 MPa » 350 kg/cm²) maupun kuat lentur (dapat mencapai 70 MPa » 700 kg/cm²) yang relatif tinggi, selain itu fero semen juga memiliki lebar retak 100 kali jauh lebih kecil dari retak yang sering terjadi pada beton bertulang.

Pada umumnya susunan struktur fero semen terdiri dari lapis mortar, jaringan kawat, dan tulangan rangka (Djausal, 2004: 12). Material ini ditemukan oleh Joseph Louis Lambot yang dipatenkan pada tahun 1852 di Prancis (Naaman, 2000: 1).

Menurut Naaman (2000: 38) secara umum, semen komposit terdiri dari 2 komponen dasar material: semen matriks dan tulangan. Campuran kedua komponen material menghasilkan 2 kelompok semen komposit, yaitu kelompok tulangan bersambung dan tulangan tidak bersambung. Berdasarkan pengelompokkannya fero semen termasuk kelompok tulangan bersambung.

1. Perbedaan antara Fero semen dan Beton Bertulang

Fero semen pada dasarnya adalah tidak jauh berbeda dengan beton bertulang yang dibuat dari susunan semen, air, agregat, dan tulangan. Perbedaan yang paling mendasar adalah fero semen digunakan hanya agregat halus tanpa agregat kasar dan penulangan kawat yang lebih halus (0,0005 m – 0,025 m) dengan bukaan rapat. Dari beberapa percobaan menunjukkan bahwa fero semen dengan penulangan lapisan kawat jala yang halus dan bukaan kecil menghasilkan bahan yang lebih menyatu (homogen) dan ketahanan yang lebih tinggi dibandingkan beton bertulang. Perbedaan lainnya dapat dilihat dari berbagai aspek, yaitu ketahanan retak, ketahanan tarik, ketahanan lentur, ketahanan tekan, dan sifat kedap air.

a. Ketahanan Retak

Fero semen yang dibuat dari susunan kawat jala dan adukan mortar memiliki kemampuan menahan retak dan modulus elastisitas yang tinggi. Keruntuhan suatu bahan pada pembebanan tarik umumnya terjadi melalui penyebaran retak tegak lurus pada arah pembebanan. Retak akan menyebar bila tingkat elastisitas energi yang dilepaskan sama, atau lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk memperlebar retak. Dari berbagai percobaan terbukti bahwa ketahanan bahan terhadap retak dapat ditingkatkan dengan mengurangi panjang retak dan memperbesar modulus elastisitas. Keberadaan kawat jala dalam fero semen yang halus dan rapat dapat mengurangi retak sekaligus meningkatkan nilai modulus elastisitas. Dengan demikian fero semen lebih tahan terhadap retak dibandingkan beton bertulang biasa dalam kondisi penulangan normal.

b. Ketahanan Tarik

Kemampuan ferosemen dalam menahan beban tarik berbeda dengan sifat beton bertulang. Adanya penulangan yang rapat, tersebar merata, dan halus pada ferosemen menyebabkan permukaan spesifik tulangan (rasio tulangan) lebih kurang 10 kali lipat dibandingkan tulangan pada beton-beton bertulang sehingga retak yang terjadi akibat gaya tarik lebih halus dan lebih merata. Selain itu dengan adanya tulangan melintang pada kawat jala maka dapat mengurangi proses terjadinya pelebaran retak.

c. Ketahanan Lentur

Sifat ferosemen dalam menahan beban lentur juga berbeda dengan beton bertulang. Ferosemen yang disusun dari beberapa lapis kawat jala cenderung terjadi penulangan berlebih (*over reinforced*) sehingga ketahanan terhadap lentur juga meningkat. Namun kondisi penulangan berlebih ini tidak mengakibatkan terjadinya keruntuhan seketika (*sudden failure*). Pada saat beban lentur bertambah, lendutan yang terjadi tidak signifikan terhadap momen retaknya (*cracking moment*). Selain itu lebar retak yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan beton bertulang biasa yang juga diberi beban lentur.

d. Ketahanan Tekan

Kekuatan ferosemen dalam menahan beban tekan/desak sangat ditentukan oleh kekuatan mortar (campuran semen, pasir dan air). Komposisi mortar ferosemen memiliki kandungan semen yang lebih banyak dibandingkan beton bertulang biasa dengan perbandingan berat semen terhadap pasir antara 1 - 2,5 dan perbandingan berat air terhadap

semen antara 0,35 – 0,6. Dengan kandungan semen yang banyak dan faktor air semen yang kecil akan menghasilkan mortar yang memiliki kekuatan tinggi berkisar 280-705 kg/cm² jauh lebih tinggi dibandingkan kuat tekan standar untuk beton bertulang yaitu 225-500 kg/cm².

e. Sifat Kedap Air

Dengan kandungan semen banyak yang dicampur dengan butiran agregat halus tanpa agregat kasar maka ferosemen memiliki susunan partikel yang lebih rapat/padat sehingga sifat kedap airnya juga lebih baik dibandingkan dengan beton bertulang. Adanya kawat jala sebagai tulangan yang tersebar merata sangat membantu sifat kedap air tersebut sebab mampu melokalisir retak yang terjadi. Retak yang terjadi akibat sifat susut mortar maupun akibat beban-beban lain akan ditahan agar tidak menyebar atau membesar sehingga lebar retak di permukaan akan tetap kecil. Berbeda dengan beton bertulang yang jarak antara tulangannya cukup besar sehingga cenderung tidak dapat melokalisir retak. Retak yang terus memanjang berakibat lebar retak semakin membesar sehingga dapat menurunkan sifat kedap airnya.

2. Bahan Pembentuk Ferosemen

a. Mortar

Menurut Naaman (2000: 15), campuran semen hidraulik untuk ferosemen harus direncanakan menurut standar prosedur *mix design* untuk mortar dan beton. Pada umumnya mortar terdiri dari semen *portland*, agregat halus (pasir), air dan *admixture* tambahan lainnya. Berdasarkan ACI Committee (1999: 4) mortar biasanya mengandung 95% dari total

volume ferosemen dan mempunyai pengaruh yang besar pada perilaku terhadap produk akhir. Oleh karena itu, dalam pemilihan material-material seharusnya diberi perhatian ekstra pada semen, *mineral admixtures*, agregat halus, dan dalam pencampuran serta penempatan mortar.

ACI Committee 549 (1999: 5) menyatakan interval perbandingan campuran berdasarkan berat untuk ferosemen yang dianjurkan adalah rasio pasir-semen berada pada (S/C) 1,5 – 2,5 dan untuk rasio air-semen (W/C) berada pada 0,3 – 0,5.

b. Semen

Semen adalah bahan ikat hidrolis yang digunakan untuk mengikat bahan-bahan menjadi satu kesatuan yang kuat. Bahan hidrolis adalah bahan yang akan mengeras bila bercampur dengan air (H₂O) atau udara bebas atau lembab dan tidak dapat didaur ulang.

Menurut ASTM C-150-07, semen portland terbagi dalam 8 jenis sebagai berikut :

- Jenis I : digunakan untuk konstruksi pada umumnya tanpa persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lainnya
- Jenis IA : semen air-entraining untuk penggunaan yang sama seperti jenis I, ketika air-entrainment diperlukan
- Jenis II : untuk penggunaan umum, terutama sekali bila diisyaratkan agar tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang

- Jenis IIA : semen air-entraining untuk penggunaan yang sama seperti jenis II, ketika air-entrainment diperlukan
- Jenis III : digunakan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi
- Jenis IIIA : semen air-entraining untuk penggunaan yang sama seperti jenis III, ketika air-entrainment diperlukan
- Jenis IV : digunakan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
- Jenis V : digunakan untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

Menurut ACI Committee 549 (1999: 4), semen pembentuk mortar ferosemen harus bersih, seragam, bebas dari gumpalan dan benda asing. Semen harus disimpan pada kondisi yang kering untuk durasi waktu yang sependek mungkin. Pada umumnya semen yang digunakan adalah tipe/jenis I. Pemilihan terhadap tipe semen harus bergantung kepada kondisi pelayanan. Faktor penggunaan semen umumnya lebih tinggi di ferosemen dibandingkan pada beton bertulang.

c. Agregat

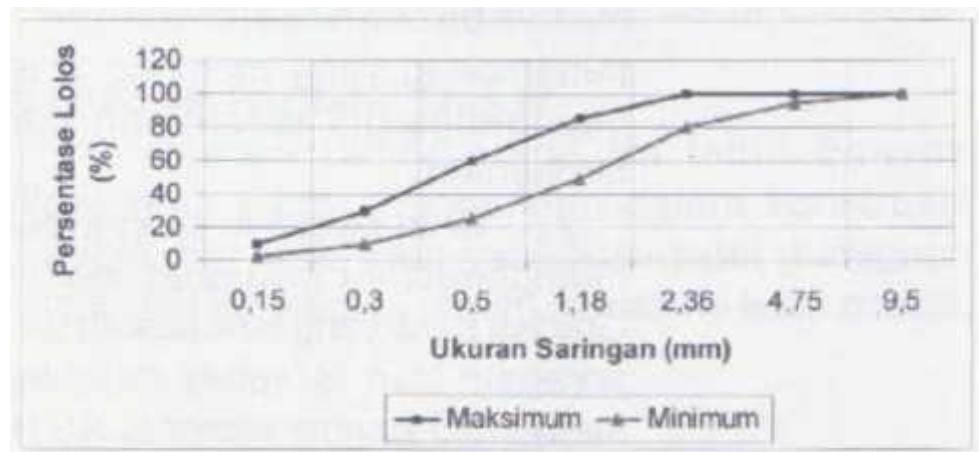
Agregat adalah butiran mineral yang merupakan hasil disintegrasi dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari pemecahan batu. Adapun jenis bahan agregat ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Dalam penelitian ini penulis hanya akan menggunakan agregat halus karena salah satu bahan dasar ferosemen adalah agregat

halus. Oleh karena itu, ferosemen tergolong struktur yang lebih ringan dibandingkan dengan beton bertulang pada umumnya.

Pasir halus atau agregat halus adalah batuan yang ukurannya 4,75 mm (Ir. Tri Mulyono, M.T., 2004, 2005: 65). Menurut ACI Committee 549 (1999: 4), pada keadaan normal agregat terdiri dari agregat halus (pasir) bergradasi baik yang melewati saringan standar ASTM No.8 (2,36 mm). Jika dimungkinkan oleh ukuran jaringan bukaan dan jarak antar lapisan jaringan, agregat kasar yang kecil dapat ditambahkan ke dalam pasir.

Agregat halus (pasir) adalah agregat biasa yang umumnya digunakan pada ferosemen dan harus mengikuti standar ASTM C-33 (untuk agregat halus) atau standar yang setara. Agregat halusnya harus bersih, lembam, bebas dari bahan organik, dan substansi pengganggu serta secara relatif bebas dari lumpur dan tanah. Agregat yang dapat bereaksi dengan alkali dalam semen harus dihindari (ACI Committee 549, 1999: 5).

Menurut ACI Committee 549 (1999: 5), gradasi agregat halus harus memenuhi kriteria petunjuk dari gambar 2.7 yang disesuaikan dengan ASTM C-33. Akan tetapi, ukuran partikel maksimum harus disesuaikan oleh pembatas konstruksi seperti ukuran jaringan dan jarak antar lapisan.



Gambar 2.7. Grafik Gradasi Agregat Halus (Pasir)

Sumber: Djausal, Anshori. 2004. *Pengantar Ferosemen. Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia. Bandar Lampung.*

Penggunaan bahan batuan sampai batas tertentu dalam adukan beton/mortar adalah untuk :

- Penghematan penggunaan semen portland
- Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton/mortar
- Mengurangi susut pengerasan pada beton/mortar
- Mencapai susuan padat beton/mortarnya dengan gradasi yang baik dari bahan batuan
- Mengontrol sifat dapat dikerjakan (workability) adukan beton/mortar plastis dengan gradasi yang baik

d. Air

Air merupakan salah satu bahan dasar pembuatan mortar yang penting namun harganya paling murah. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen serta untuk menjadi bahan pelumas antara butir – butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan.

Air yang digunakan dapat berupa air tawar (dari sungai, danau, telaga kolam, dan lainnya), air laut maupun air limbah, asalkan memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan. Air tawar yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton/mortar (Ir. Tri Mulyono, M.T., 2004, 2005: 51).

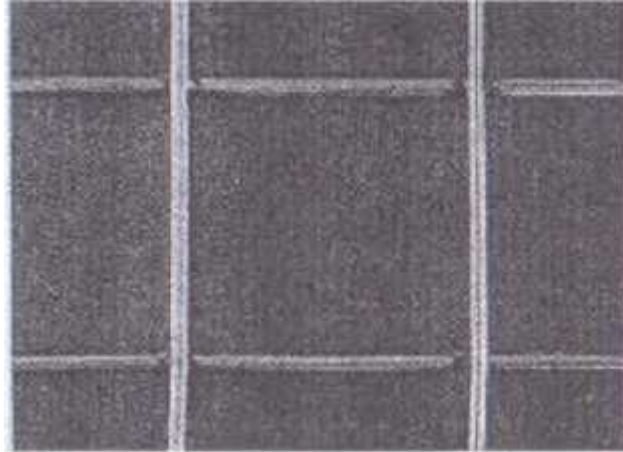
Menurut ACI Committee 549 (1999: 5) air yang digunakan haruslah segar, bersih, dan dapat diminum. Airnya harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida, dan bahan berifat asam. Jika dites, airnya harus mempunyai pH ≥ 7 untuk meminimalkan penurunan pH dalam adukan mortar. Air garam tidak diperbolehkan, tetapi air minum yang berklorinasi dapat digunakan. Berdasarkan ACI 318-08 (2008: 42), jika memungkinkan, air dengan konsentrasi tinggi dari zat terlarut harus dihindari.

e. Tulangan

Tulangan untuk ferosemen biasanya beberapa lapis kawat jala dan besi beton biasa. Berbagai macam kawat jala ukuran dan sifatnya, ada yang digalvanisir (diberi lapisan tahan karat) sebelum dianyam dan ada yang sesudah dianyam. Sifat dan kekuatan ferosemen yang terbentuk akan dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan, kelakuan, cara pembuatan, dan pengolahannya.

Tulangan untuk ferosemen biasanya beberapa lapis kawat jala dan besi beton biasa. Berbagai macam kawat jala ukuran dan sifatnya, ada yang digalvanisir (diberi lapisan tahan karat) sebelum dianyam dan ada yang sesudah dianyam. Sifat dan kekuatan ferosemen yang terbentuk akan

dipengaruhi oleh ukuran tulangan, kekuatan, kelakuan, cara pembuatan, dan pengolahannya.



Gambar 2.8 Kawat jala las segi empat

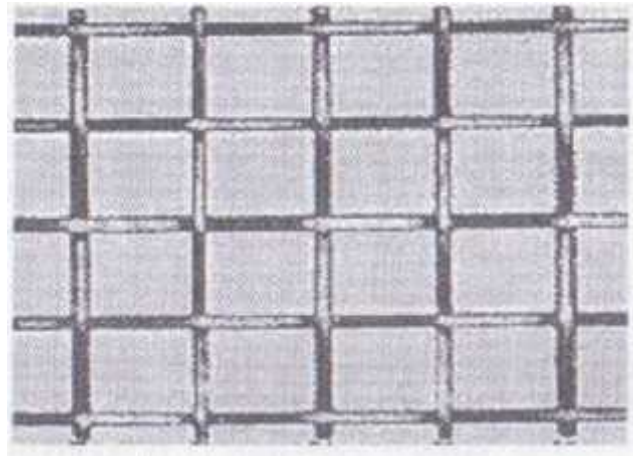
Sumber : Djausal, Anshori. 2004. *Pengantar Ferosemen. Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia. Bandar Lampung.*

1. Tulangan Kawat Jala

Salah satu bagian yang terpenting dari ferosemen adalah kawat jala. Macam macam kawat jala bisa didapatkan di pasaran, kawat jala ini terdiri dari kawat halus, garis tengah tidak lebih dari (0,0015 m) baik dianyam ataupun dilas dalam bentuk jala. Syarat utama adalah mudah dibentuk, cukup lentur untuk ditekuk pada sudut konstruksi lengkung atau tajam.

Umumnya jaringan kawat memiliki bentuk heksagonal atau persegi (lihat gambar 2.10). secara struktural jaringan yang berbentuk heksagonal tidak seefisien jaringan yang berbentuk persegi karena jaringannya tidak selalu mengorientasi dalam arah dari tegangan pokok (maksimum). Akan tetapi, jaringan heksagonal sangat fleksibel dan dapat digunakan dalam elemen kurva ganda. Jaringan dengan bentuk persegi tersedia dalam bentuk yang dilas atau bergelombang. Kecuali untuk jaringan expanded metal, semua

jaringan yang digunakan adalah yang berbahan galvanis (ACI Committee 549, 1999: 6)



Gambar 2.9 Kawat anyaman segiempat

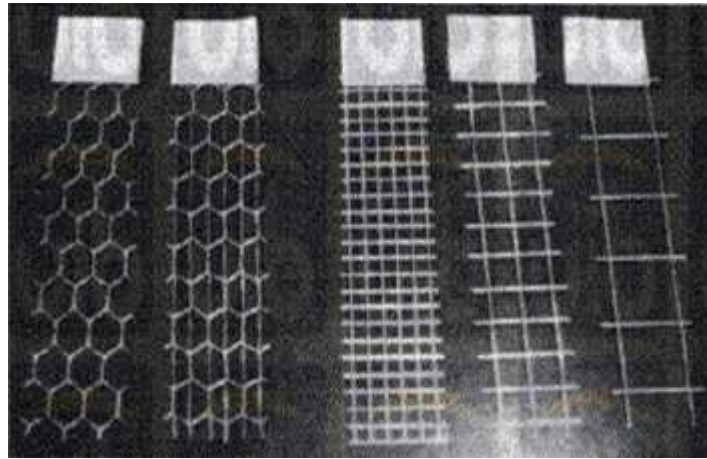
Sumber : Djausal, Anshori. 2004. Pengantar Ferosemen. Pusat Pengembangan Ferosemen Indonesia. Bandar Lampung.

Kegunaan kawat jala atau tulangan baja pertama-pertama adalah sebagai pepupuh yang membentuk rangka dan menahan mortar pada saat basah. Pada keadaan setelah mengeras gunanya untuk menerima tegangan tarik dimana mortar sendiri tidak bisa menerimanya. Sifat mekanika ferosemen sangat bergantung pada tipe, jumlah, arah dan kekuatan daripada kawat jala dan baja tulangan. Beberapa tipe utama kawat jala yang sering digunakan adalah :

a) Kawat jala segi enam (kawat ayam)

Kawat ini lebih populer digunakan dan mudah didapat di pasaran negara-negara berkembang. Dikenal sebagai kawat ayam, murah dan mudah dikerjakan. Kawat jala ini dibuat dari kawat halus ke dalam bentuk segi enam. Kawat yang digunakan dalam ferosemen biasanya bergaris tengah 0,0005 m sampai 0,0015 m, dan jarak bukaan antara kawat antara 0,010 m sampai 0,025 m. Dapat digalvanisir sebelum ataupun sesudah

dianyam. Kawat yang tidak digalvanisir juga digunakan tetapi masalah karat yang timbul ketika ditempatkan pada tempat terbuka menyebabkan pengurangan kekuatan. Contoh macam kawat jala ini dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.10. Jenis – jenis jaringan kawat

Sumber: ACI Committee 549 (1999: 6)

b) Kawat jala las

Kawat jala ini terbuat dari kawat berkekuatan rendah sampai sedang dan lebih kaku daripada kawat jala segienam. Kawat jala ini mudah dibentuk, tetapi pertemuan antara dua kawat yang bersilangan merupakan bagian yang lemah akibat las yang tidak baik pada waktu pembuatan kawat jala. Beberapa percobaan menunjukkan bahwa kawat jala yang dibuat dari kawat berkekuatan tinggi lebih cenderung luluh daripada jenis kawat lain, ketika sambungan mendapat beban. Untuk kontur konstruksi yang lengkung, kawat jala ini lebih sukar untuk digunakan. Kecenderungan tertekuk atau patah lebih banyak daripada kawat lain.

Contoh macam kawat jala ini pada gambar 2.8.

c) Kawat anyam persegi

Macam kawat jala ini, dimana kawat dianyam sederhana untuk mendapat lebar bukaan tertentu dan tidak menggunakan las pada pertemuan kawat. Kawat tidak sepenuhnya lurus, tetapi bergelombang. Beberapa percobaan menunjukkan kekuatan yang sama ataupun lebih baik daripada jenis kawat jala lain. Hanya kesukaran pada penggunaan kawat jala ini adalah susah mengikuti bentuk yang diinginkan. Contoh macam kawat jala ini pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Kawat ayam

Sumber: Anshori, *Pengantar Ferosemen*, 2004

d) Kawat jala bentuk wajik

Kawat jala ini lebih dikenal sebagai *expanded metal mesh*. Yang dibuat dari plat baja yang tipis dikembangkan untuk mendapat bukaan yang berbentuk wajik (diamond shape). Tidak sekuat kawat persegi ataupun segienam. Salah satu kelemahannya adalah timbulnya kecenderungan untuk lepas dari mortar akibat efek “gunting” dari bentuk wajik tersebut.

2. Rangka Tulangan Baja

Rangka tulangan baja selain sebagai penulangan, juga berfungsi sebagai rangka untuk memperoleh bentuk yang diinginkan dan tempat pemasangan tulang kawat jala. Jarak penulangan selebar mungkin tanpa melewati jarak bukaan 0,3 m dimana rangka ini tidak berfungsi sebagai tulangan struktur, hanya sebagai pembentuk konstruksi. Sedangkan rangka baja dengan jarak bukaan lebih kecil dari 10 kali ketebalan struktur dapat dianggap sebagai tulangan struktur. Untuk struktur yang bertegangan tinggi, seperti kapal jarak penulangan antara 0,05 sampai 0,075 m.

Umumnya yang digunakan untuk penulangan rangka, baik untuk tulangan memanjang maupun melintang adalah besi beton biasa. Untuk kebutuhan tertentu dapat juga digunakan besi berkekuatan tinggi atau besi beton pratekan. Ukuran tulangan rangka bervariasi antara 0,0042 m sampai 0,0095 m dalam garis tengah dan yang lebih umum digunakan adalah garis tengah 0,00625 m, namun demikian tidak menutup kemungkinan menggunakan diameter yang lebih kecil bersamaan.



Gambar 2.12. Besi cor (*Reinforce Mesh*) ukuran diameter 6 mm
Sumber: Anshori, Pengantar Ferosemen, 2004

3. Analisa

Analisa kapasitas momen nominal yang dilakukan berupa analisis secara regangan dan transformasi area. Sesuai ketentuan ACI Committee 549 (1999: 21), dimensi yang digunakan untuk perhitungan kapasitas momen direkomendasikan bahwa rasio rentang panjang terhadap tebal sampel balok tidak kurang dari 20 mm dan untuk dimensi lebarnya tidak kurang dari 6 kali lebar spasi jaringan kawat yang diukur secara normal terhadap arah rentangnya.

a. Analisa Metode Regangan

1) Volume Fraksi

Untuk melakukan analisa momen nominal, sebelumnya dilakukan perhitungan volume fraksi. Menurut Naaman (2000: 25), untuk menghitung volume fraksi adalah sebagai berikut :

$$V_r = \frac{N \times \pi \times d_w^2}{4 \times h} \times \left(\frac{1}{D_L} \times \frac{1}{D_T} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$V_s = \frac{\pi \times d_s^2}{4 \times h \times s_s} \dots \dots \dots (2.2)$$

Untuk volume fraksi dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$V_{fr} = V_f + V_s \cdot \frac{f_{ys}}{f_{yw}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Untuk jaringan kawat yang berbentuk persegi di mana $D_L = D_T = D$, jadi:

$$V_r = \frac{N \times \pi \times d_w^2}{4 \times h \times D} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

V_r = volume fraksi tulangan (%)

N = jumlah lapisan jaringan kawat

d_w = diameter jaringan kawat (mm)

h = ketebalan elemen ferosemen (mm)

D_L = jarak pusat ke pusat kawat dalam arah longitudinal (mm)

D_T = jarak pusat ke pusat kawat dalam arah transversal (mm)

D = jarak pusat ke pusat kawat (mm)

Menurut Naaman (2000: 137), metode perhitungan momen nominal dapat digunakan untuk memprediksi momen tahanan.

2) Momen Nominal

Menurut Naaman (2000: 138), untuk menghitung momen nominal tahanan (M_n) dengan analisa metode regangan dapat dilihat dari persamaan berikut

$$M_n = (C \text{ atau } T) \times (Y_c + Y_T) \dots \dots \dots (2.5)$$

Atau

$$M_n = (C_l \text{ atau } T_l) \times \left(d_l + \frac{\beta_1 \cdot c}{D_L} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Beberapa persamaan digunakan untuk menghitung momen nominalnya :

1. Menentukan volume fraksi mortar

$$V_m = 1 - V_{fr} \dots \dots \dots (2.7)$$

2. Menentukan Young modulus komposit

$$Ec = E_m \cdot V_m + E_w \cdot V_{fr} \cdot \eta_w \dots \dots \dots (2.8)$$

3. Menentukan nilai regangan dan tegangan (Naaman, 2000: 139)

$$\varepsilon_{ri} = \left(\frac{d_i - c}{c} \right) \varepsilon_{mu} \dots \dots \dots (2.9)$$

Jika $\varepsilon_{ri} \leq \varepsilon_{ry}$ gunakan ε_{ri} dan $\delta_{ri} = E_r \cdot \varepsilon_{ri}$

Jika $\varepsilon_{ri} \geq \varepsilon_{ry}$ gunakan ε_{ry} dan $\delta_{ri} = \delta_{ry} = E_r \cdot \varepsilon_{ry}$

4. Perhitungan A_{ri} menggunakan rumus berikut (Naaman, 2000: 130)

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d_w^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

$$N = \left(\frac{b}{D} \right) + 1 \dots \dots \dots (2.11)$$

$$A_{ri} = A \cdot N \dots \dots \dots (2.12)$$

5. Rumus – rumus perhitungan gaya dan jarak gaya (Naaman, 2000: 140)

$$\text{Tarik} \quad : \quad T = \delta_{ry} \cdot A_{ri} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$Y_T = d_j - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\text{Tekan} \quad : \quad C = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot c \dots \dots \dots (2.15)$$

$$Y_C = d_i - \frac{\beta_1 \cdot c}{2} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan :

Mn = momen nominal (Nmm)

C = gaya tekan pada blok tekan mortar (N)

T = gaya tarik pada masing – masing jaringan (N)

Y_C = jarak gaya tekan ke lengan tarik (c) (mm)

Y_T = jarak gaya tarik ke lengan tekan (c) (mm)

ε_{ri} = regangan dari tulangan jaringan pada lapisan i (mm)

| | | |
|-----------------|---|--|
| ϵ_{ry} | = | regangan leleh nominal dari tulangan jaringan (mm) |
| ϵ_{mu} | = | regangan ultimit mortar tekan (biasanya diasumsikan 0,003 untuk mortar/beton) |
| δ_{ri} | = | tegangan dari tulangan jaringan pada lapisan i (MPa) |
| δ_{ry} | = | tegangan leleh dari tulangan jaringan (MPa) |
| E_r | = | modulus elastisitas jaringan kawat (MPa) |
| A | = | luas penampang kawat (mm ²) |
| d_w | = | diameter jaringan kawat (mm) |
| N | = | jumlah lapisan jaringan kawat |
| b | = | lebar penampang elemen (mm) |
| D | = | jarak pusat ke pusat kawat (mm) |
| A_{ri} | = | luas penampang dari tulangan jaringan kawat pada lapisan i (mm ²) |
| d_i, d_j | = | jarak serat tekan terluar ke titik tengah tulangan pada lapisan i (blok tekan) dan j (blok tarik) (mm) |
| β_1 | = | faktor reduksi 0,8 |
| c | = | jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm) |
| f'_c | = | kuat tekan mortar (MPa) |

b. Analisa Metode Transformasi Area

1) Tegangan Izin

Perhitungan kapasitas momen lentur dengan metode transformasi area memerlukan batasan – batasan dalam perhitungan tegangannya. Menurut Naaman (2000: 165), perhitungan untuk tegangan izin adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{ri} = 0,6 \cdot \sigma_{ry} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\sigma_m = 0,45 \cdot f'c \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

σ_{ri} = tegangan izin kuat leleh dari tulangan jaringan lapisan i
tegangan leleh dari tulangan jaringan (MPa)

σ_{ry} = tegangan leleh dari tulangan jaringan (MPa)

$f'c$ = kuat tekan mortar (MPa)

σ_{ry} = tegangan izin kuat tekan mortar (MPa)

2) Kapasitas Momen Lentur

Menurut Naaman (2000: 129), formula untuk menghitung kapasitas momen lentur dengan metode transformasi area diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$\bar{\sigma}_m = \frac{M \cdot c}{I_{tr}} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$\bar{\sigma}_{ri} = \frac{n \cdot M \cdot (d_i - c)}{I_{tr}} \dots \dots \dots (2.20)$$

Beberapa persamaan digunakan untuk menghitung kapasitas momennya :

1. Menentukan nilai rasio elastis moduli

$$n = \frac{E_r}{E_m} \dots \dots \dots (2.21)$$

2. Menentukan garis netral (c), dengan cara statis momen terhadap garis netral

$$\frac{1}{2} \cdot b \cdot c^2 + \sum_{i=1}^n (n-1) \cdot A_{ri} (c - d_i) = \sum_{i=1}^n (n-1) \cdot A_{rj} \cdot (d_j - c)$$

3. Menentukan momen inersia transformasi

$$I_{tr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot c^3 + \sum_{i=1}^n (n-1) \cdot A_{ri} (c - d_i)^2 + \sum_{i=1}^n (n-1) \cdot A_{rj} \cdot (d_j - c)^2$$

Keterangan :

$\bar{\sigma}_m$ = tegangan izin kuat tekan mortar (MPa)

M = kapasitas momen (Nmm)

c = jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)

I_{tr} = momen inersia transformasi (mm⁴)

$\bar{\sigma}_{ri}$ = tegangan izin kuat leleh dari tulangan jaringan pada lapis i (MPa)

n = nilai rasio elastis moduli

d_i, d_j = jarak serat tekan terluar ke titik tengah tulangan pada lapisan i (blok tekan) dan j (blok tarik) (mm)

E_r = modulus elastisitas jaringan kawat (MPa)

E_m = modulus elastisitas mortar (MPa)

b = lebar penampang elemen (mm)

A_{ri}, A_{rj} = luas penampang dari tulangan jaringan kawat pada lapisan i (blok tekan) dan j (blok tarik) (mm).

Sehingga dapat dihitung momen nominal dengan rumus berikut :

$$M_n = \left[0,005 + 0,422 \cdot V_{fr} \cdot \frac{f_{yw}}{f_{cn}} - 0,0772 \cdot \left(V_{fr} \cdot \frac{f_{yw}}{f_{cn}} \right)^2 \right] \cdot f_{cm} \cdot b \cdot h \cdot \eta_w \cdot \dots (2.22)$$

E. Dasar Perencanaan Ferosemen

Untuk menghitung kekuatan dan sifat ferosemen pada pembebanan, dapat digunakan analisis elastis yang serupa dengan beton bertulang dengan memperhatikan pembebanan modulus kawat dan besi baja. Kekuatan batas juga dapat dihitung untuk bagian lentur dengan menganalisis ferosemen sebagai beton bertulang menurut metode kekuatan batas. Untuk bagian yang menerima tarik beban batas dapat diperhitungkan dengan kekuatan batas tulangan saja pada arah pembebanan.

Dua parameter penulangan yang selalu digunakan dalam menghitung kekuatan dan sifat ferosemen adalah :

V_r = Volume fraksi tulangan, yaitu total volume tulangan per satuan volume komposit pada arah pembebanan.

S_L = Permukaan spesifik tulangan, yaitu total luas bidang sentuh tulangan per satuan volume komposit pada arah pembebanan.

Dengan rumus S_L adalah berikut

$$S_L = \frac{4 V_f}{D} \dots \dots \dots (2.23)$$

1. Besaran Rencana

a. Tegangan tarik izin

Tegangan tarik izin terhadap tulangan kawat dan besi baja selalu diambil sebesar $0.6 f_y$, dimana f_y adalah tegangan leleh tulangan diukur pada 0.0035 regangan. Untuk konstruksi kedap air tegangan izin adalah 2000 kg/cm^2 , kecuali bila pengukuran lebar retak pada uji model dengan tegangan yang lebih tinggi tidak membayakan. Berikut rumus tegangan retak

$$\delta_{cr} = 24,5 \cdot S_L + f_{tm} \dots \dots \dots (2.24)$$

b. Tegangan tekan izin

Tegangan tekan izin dapat diambil sebesar $0,45 f_c'$, dimana f_c' adalah kuat tekan mortar diukur dari benda uji silinder $7,5 \times 15 \text{ cm}$.

c. Volume fraksi dan permukaan spesifik tulangan

Total volume fraksi tulangan, V_r , pada dua arah tak boleh kurang dari 1,8%. Total permukaan spesifik, S_L , pada dua arah pembebanan tidak boleh kurang dari $0,08 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$. Dua kali besaran ini dianjurkan pada struktur kedap air.

Dalam menghitung permukaan spesifik tulangan, tulangan rangka besi (bukan kawat jala) diabaikan, tetapi diperhitungkan dalam menentukan V_f .

d. Lapisan tulangan

Pada setiap ferosemen tanpa tulangan rangka setebal t , maka bukan kawat jala, S_f , tidak lebih besar dari t . Banyaknya lapis kawat jala:

$N_e \geq 0,16 t$, dimana t dalam mm.

Jika tulangan rangka digunakan, tulangan rangka tidak menempati lebih dari 50% tebal. Dengan menyebut t' sebagai tebal komposit tanpa tulangan rangka, maka banyaknya lapis kawat jala:

$N_e \geq 0,16 t'$, dimana t' dalam mm.

e. Penutup tulangan

Penutup tulangan besi digunakan 2 mm. Penutup tulangan kurang dari 2 mm dapat diizinkan bila tulangan digalvanisir, permukaannya dilapisi dengan cat pelapis, lebar retak dibatasi. Untuk tebal ferosemen lebih besar dari 12 mm, maka penutup tulangan tidak lebih dari $1/5 t$ atau 5 mm, untuk menjamin penyebaran tulangan yang merata.

f. Lebar retak izin

Besar lebar retak izin adalah kurang dari 0.1 mm untuk lingkungan non korosif dan 0,05 mm untuk lingkungan korosif dan struktur kedap air. Lebar retak maksimum pada pembebanan dapat digunakan rumus berikut :

$$W_{max} = (1,194 \cdot f_s - 111) \frac{15,85}{E_R} \dots\dots\dots(2.25)$$

g. Daerah tegangan

Untuk struktur yang menerima beban ulang dua juta kali, tegangan izin tulangan adalah $f_{sr} = 2000 \text{ kg/cm}^2$, 3400 kg/cm^2 untuk satu juta kali, dan 3700 untuk setengah juta kali.

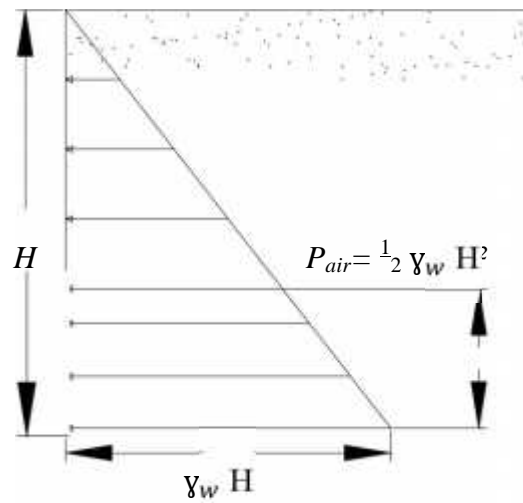
h. Keandalan

Untuk mencapai keandalan yang tinggi dan tahan korosi jangka lama, beberapa hal harus dipenuhi:

1. Pada penggunaan di lingkungan yang dingin (beku), mortar harus terdiri dari 9% udara (*entrained air*).
2. Bila digunakan cat pelapis, kedayagunaannya harus ditunjukkan dari hasil uji dalam keadaan serupa.
3. Jika digunakan adukan tambahan, pengaruhnya terhadap korosi bahan yang digunakan harus diperhatikan. Tidak dianjurkan menggunakan *calcium chlorida* dan pasir bergaram.
4. Kecuali hasil uji menunjukkan hal lain, struktur pada lingkungan korosif harus menggunakan tulangan galvanis dan harus diberi cat pelapis yang memadai.

F. Tekanan Air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah. Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah.



Gambar 2.13 Distribusi tekanan air dalam keadaan diam (*at rest*) pada dinding

Sumber : Das, 1993

Gaya tekan ke atas bangunan mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan ke atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

$$P_{air} = 0,5 \cdot H^2 \cdot \gamma_w \dots \dots \dots (2.26)$$

$$M_{air} = P_{air} \cdot \frac{H}{3} \dots \dots \dots (2.27)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Umum

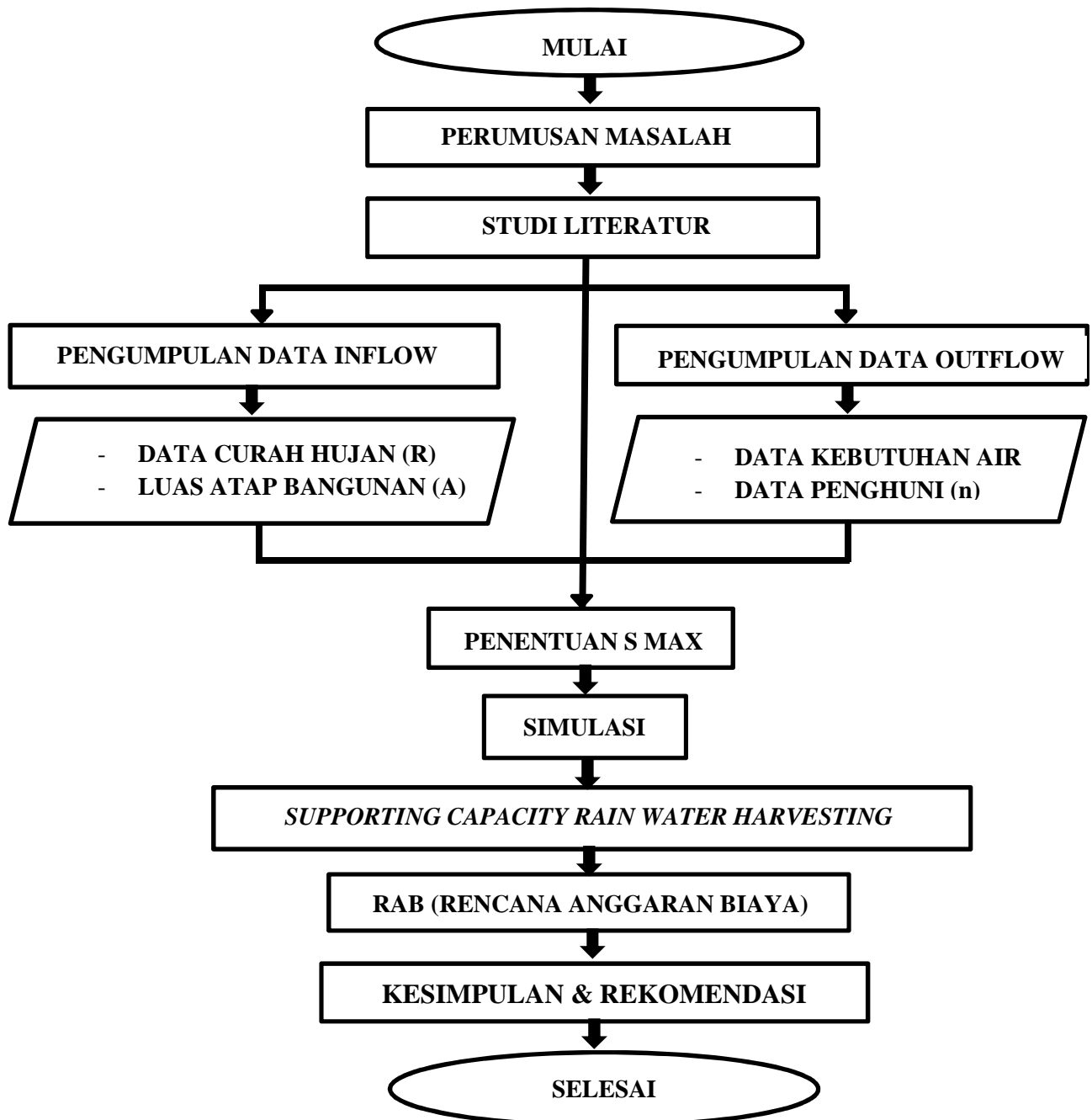
Pengembangan sumber daya air secara berkelanjutan dalam mengatasi kelangkaan air untuk keperluan sehari – hari sangat diperlukan, selama ini konsep konservasi air dipahami sebagai kegiatan penanaman pohon atau upaya vegetatif lainnya agar meningkatkan jumlah air hujan masuk ke dalam tanah. Mekanisme konservasi air dengan cara ini sangat alamiah dan sangat dikehendaki. Tapi, ketika kerusakan alam makin tidak terkendali hingga ke kawasan lindung/*konservasi*, maka harus ada upaya lain agar air hujan yang jatuh di kawasan tersebut tidak “hilang” begitu saja. Upaya lain konservasi lain yang dimaksud adalah pembuatan sumur resapan dan pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*). Sumur resapan yang sangat efektif dalam upaya konservasi air, tapi seperti halnya penanaman pohon, tingkat keberhasilannya rendah. Kemungkinan karena mereka yang membuat sumur resapan tidak secara langsung memperoleh manfaat dari kegiatan itu. Sebaliknya, sistem pemanen air hujan akan memberikan manfaat langsung, yaitu air.

Panen hujan merupakan suatu cara menampung air pada musim hujan untuk dipergunakan pada saat musim kemarau. Dalam hal ini sistem panen hujan untuk memenuhi kebutuhan domestik secara sederhana prinsip panen hujan terdiri atas penampung air hujan, penyalur, dan penyimpanan. Untuk pertanian, sarana penampungnya merupakan lahan pertanian itu sendiri (atau lahan lain yang dirancang secara khusus) dengan dilengkapi alat penyalur air dari penampung ke penyimpanan. Pada skala rumah tangga, hotel, gelanggang olah raga, dan perkantoran, atap dari bangunan-bangunan tersebut berfungsi sebagai penampung air hujan untuk kemudian dialirkan ke bak penampung dan siap untuk digunakan.

Salah satu contoh penerapan *rainwater harvesting* (pemanen air hujan) adalah dengan sistem penampungan air hujan berbahan *ferrocement*. Dengan adanya metode *rainwater harvesting* ini diharapkan menjadi alternatif solusi ketika konservasi air dengan kegiatan penanaman pohon dan pembuatan sumur resapan tidak berhasil karena kerusakan alam makin tidak terkendali hingga ke kawasan lindung/konservasi dan para pembuat sumur resapan tidak mendapatkan manfaat secara langsung dari sumur resapan yaitu air itu sendiri.

B. Metodologi Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, secara garis besar tahapan yang akan dilakukan pada diagram alir dibawah ini.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian
Sumber : Data Pribadi

1. PERUMUSAN MASALAH

Dalam hal ini dipaparkan permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini.

2. STUDI LITERATUR DAN PENGUMPULAN DATA

Dalam bagian ini dilakukan studi literatur dan pencarian data-data dari berbagai sumber yang berkaitan dengan penulisan skripsi ini, seperti :

- Metode panen air hujan dengan sistem penampungan air hujan
- Data curah hujan wilayah studi
- Peta/denah lay-out wilayah studi

3. METODE PANEN AIR HUJAN

Dalam bagian ini dilakukan deskripsi mengenai sistem panen air hujan yang dapat digunakan untuk mengumpulkan dan menyimpan volume limpasan air hujan tersebut untuk kemudian digunakan kembali.

4. PERHITUNGAN HIDROLOGI, VOLUME LIMPASAN, DAN LUAS ATAP

Dalam bagian ini dilakukan pengolahan data curah hujan untuk memperoleh volume limpasan air hujan yang jatuh di atap-atap bangunan tempat tinggal di daerah Natar. Dengan menggunakan data curahan hujan dan luasan atap-atap bangunan tempat tinggal tersebut didapat volume limpasan air hujan yang jatuh di atap-atap bangunan tersebut.

5. NERACA AIR PADA BANGUNAN TEMPAT TINGGAL WILAYAH STUDI

Dalam bagian ini dilakukan Pengolahan data curah hujan untuk memperoleh volume limpasan air hujan yang jatuh di atap bangunan tempat tinggal di daerah Natar. Sehingga selanjutnya dapat dihitung hubungan antara ketersediaan air yang diperoleh dari air hujan yang ditampung dengan kebutuhan air yang diperlukan pada bangunan tempat tinggal di daerah Natar, Lampung.

6. PERHITUNGAN VOLUME LIMPASAN TERTAMPUNG

Pada bagian ini dilakukan pengolahan data untuk memperoleh volume limpasan air hujan jatuh di atap sebagai daerah tangkapan (*catchment area*) untuk mengetahui seberapa banyak dari volume limpasan air hujan yang akan ditampung pada sistem instalansi panen air hujan yang akan digunakan.

7. PERHITUNGAN BIAYA PENGADAAN BANGUNAN PENAMPUNG AIR HUJAN

Pada bagian ini dilakukan pengolahan data untuk menentukan biaya dalam pengadaan fasilitas bangunan penampung air hujan.

8. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Pada bagian ini disimpulkan dan diberikan rekomendasi dari semua pokok permasalahan yang telah dianalisa dalam penelitian ini, sebagai pedoman penelitian di masa yang akan datang yang berkaitan dengan pokok permasalahan ini.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa potensial air hujan yang ada di kecamatan Natar Lampung adalah sebagai berikut :

1. Volume air hujan yang dapat dipanen dari atap luasan 50 m^2 yaitu pada tahun basah maksimum yaitu pada tahun 2010 sebesar $119,85 \text{ m}^3/\text{tahun}$ atau sekitar $0,33 \text{ m}^3/\text{hari}$.
2. Kebutuhan rata – rata harian adalah sebesar $0,48 \text{ m}^3/\text{hari}$ atau sekitar $175,20 \text{ m}^3/\text{tahun}$.
3. Kebutuhan air yang dilayani dari penelitian ini berupa kebutuhan air domestik untuk kebutuhan rumah tangga bukan air minum.
4. Desain bak penampung air hujan dirancang menggunakan bahan utama ferosemen berbentuk silinder dengan tebal dinding 40 mm menggunakan 2 lapis kawat jala, diameter 290 mm dan tinggi 160 mm .

5. Biaya total yang dikeluarkan untuk membangun bak penampung air hujan kapasitas 10 m^3 sesuai dengan perhitungan rencana anggaran biaya adalah sebesar Rp. 9.847.175,00
6. Daya dukung pemanenan air hujan atau yang sering disebut dengan *supporting capacity rain water harvesting* pada penelitian ini mencapai lebih dari 30% yaitu pada tahun basah tahun 2010 sebesar 35,07%.

B. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis menyarankan masih diperlukan beberapa perbaikan pada penelitian untuk masa yang akan datang guna memperoleh hasil yang lebih baik, antara lain :

1. Melengkapi data hujan terbaru dengan rentang waktu lebih panjang dan mendekati wilayah studi agar sebaran curah hujan harian yang digunakan lebih akurat sehingga mampu mewakili keadaan kondisi hujan untuk perencanaan penelitian selanjutnya.
2. Melakukan survei lebih lanjut untuk mengetahui kebutuhan air aktual.
3. Melakukan penelitian dengan trial luas atap yang lebih bervariasi.
4. Untuk pemanfaatan lebih lanjut dari air hujan yang dipanen kiranya diperlukan penelitian yang lebih mendalam lagi tentang kualitas air hujan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-7065-2005 tentang Tata Cara Perencanaan Sistem Plumbing*, Indonesia

Permen PU, 2009, *Modul Penampungan Air Hujan*, Kementerian Pekerjaan Umum, Indonesia

Sri Harto Br, 1993, *Analisis Hidrologi*, PT. Gramedia, Jakarta.

Tri Yayuk susana, 2012, *Analisa Pemanfaatan Potensi Air Hujan dengan Menggunakan Cistern sebagai Alternatif Sumber Air pertamanan pada Gedung Perkantoran Bank Indonesia*, Skripsi, FT. UI, Depok.

Djausal, Anshori. 2004. *Pengantar Fero semen*. Pusat Pengembangan Fero semen Indonesia, Bandar Lampung.

Djausal, Anshori. 2004. *Struktur dan Aplikasi Fero semen*. Pusat Pengembangan Fero semen Indonesia, Bandar Lampung.