

**PEMANFAATAN BUBUK MARMER HASIL OLAHAN INDUSTRI BATU  
MARMER UNTUK BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK*  
SEBAGAI UPAYA MINIMISASI LIMBAH**

**(Studi Kasus Di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan)**



**TESIS**

**FERRIYAL**

**L4K 003022**

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN**

**PROGRAM PASCA SARJANA**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG**

**2005**

Judul Tesis : **Pemanfaatan Bubuk Marmer Hasil Olahan Industri Batu Marmer Untuk Bahan Campuran Pembuatan *Paving Block* Sebagai Upaya Minimisasi Limbah (Studi Kasus Di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan)**

Nama : **Ferriyal**

Nomor Mahasiswa : **L4K003022**

Program Studi : **Magister Ilmu Lingkungan**

Kosentrasi : **Manajemen Lingkungan**

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 25 Juli 2005 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima**

**Menyetujui.**

**Pembimbing I**

  
**Ir. Danny Sutrisnanto, M.Eng**

**Pembimbing II**

  
**Ir. Wahyu Krisna Hidajat, MT**

**Penguji I**

  
**Ir. Agus Hadiyanto, MT**

**Penguji II**

  
**Ir. Syafrudin, CES, MT**

**Mengetahui  
Ketua Program  
Magister Ilmu Lingkungan**

  
**Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES**  
**NIP.130 810 134**



## **PERNYATAAN**

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya, bahwa Tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, materi yang ada didalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi atau Lembaga Pendidikan lainnya.

Pengetahuan serta informasi yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum/tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan didalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, Juli 2005

**Ferriyal**

## RIWAYAT HIDUP PENULIS



**Ferriyal** lahir pada 05 Nopember 1964 di Ujung Pandang. Pendidikan dasar di SD Negeri Mangkura Ujung Pandang diselesaikan tahun 1976, Pendidikan SLTP di SMP Negeri VI Ujung Pandang diselesaikan pada tahun 1980. Pendidikan SLTA diselesaikan tahun 1983 pada SMA Negeri I Ujung Pandang Jurusan IPA. Gelar Sarjana Teknik (ST) diperoleh dari Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Muslim Indonesia di Ujung Pandang pada tahun 1993. Bekerja pada Perusahaan Swasta pada tahun 1993 - 1997. Tahun 1997 hingga sekarang diangkat sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) sebagai staf Sub Dinas Bina Teknik Dinas Prasarana Wilayah.

**MARBLE POWDER UTILIZATION FROM THE RESULT OF  
MARBLE INDUSTRY AS MIXTURE MATERIAL OF PAVING BLOCK  
PRODUCTION FOR WASTE MINIMIZATION PURPOSE  
(Studi at Maros Regency, South Sulawesi)**

Ferriyal\*  
Master of Environment Science  
Post Graduate Program of Diponegoro University  
Regency Infrastructure Institution of South Sulawesi Province

**ABSTRACT**

Marble industry company which produce marble stone, resulted waste in the form of marble powder that generate environment problem. Waste minimization program is needed to handle the problem. One of its efforts is marble powder waste utilization as mixture material of paving block production.

Waste minimization process by the way of paving block production is to mix marble powder, cement, and sand in a certain composition.

The methodology in this research is case study at PT Bosowa Mining, Maros Regency, South Sulawesi Province, as one of marble producer and the secondary product in the form of marble powder waste. To detect the strength quality of paving block, pressure strength test is done. These variables are the composition and the paving block age. Laboratory test of marble powder waste revealed dominated composition of 53,90% of Calcium Oxide (CaO), 0,26% of Silicone Dioxide (SiO<sub>2</sub>), 0,19% of Magnesium Oxide (MgO).

Pressure strength test resulted the paving block in the age started from 3, 7, 12, 21 until 28 days tend to increasing strength. Based on paving block strength analysis, the more marble powder waste composition is added, the less its strength if it passed optimum limit. Totally, the pressure strength of paving block with additional marble waste blend is greater than customary paving block. Trial on the 28 days age of paving block, its pressure strength with marble powder waste blend is 172,90Kg/Cm<sup>2</sup> on composition 3 (K3) 1 : 4 : 1 : 0,9 (cement : sand : stone dust : marble powder waste), compared with customary paving block which have 119,10 Kg/Cm<sup>2</sup> pressure strength only. Based on material economic analysis and local pricing, paving block is recommended as green local income (PAD) for the inhabitants of Maros Regency, Leang-leang village particularly.

**Key Words:** Waste Minimization, Marble Powder Utilization, Paving Block.

**PEMANFAATAN BUBUK MARMER HASIL OLAHAN INDUSTRI BATU MARMER  
UNTUK BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN *PAVING BLOCK* SEBAGAI UPAYA  
MINIMISASI LIMBAH  
(Studi Kasus Di Kabupaten Maros Sulawesi Selatan)**

Ferriyal\*

Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro  
\* Dinas Prasarana Wilayah Propinsi Sulawesi Selatan

**Abstrak**

Perusahaan industri marmer yang memproduksi ubin marmer, dalam pengelolaannya menghasilkan limbah berupa bubuk marmer, sehingga menimbulkan masalah lingkungan. Guna mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan upaya penanganan melalui minimisasi limbah. Salah satu upaya adalah memanfaatkan limbah bubuk marmer tersebut sebagai bahan pencampur pembuatan *paving block*. Proses minimisasi limbah melalui pembuatan *paving block* adalah mencampur limbah bubuk marmer, semen, abu batu dan pasir berdasarkan komposisi tertentu. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus pada PT. Bosowa Mining Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan sebagai produsen marmer dan produk sampingan berupa limbah bubuk marmer. Untuk mengetahui kualitas kekuatan *paving block* tersebut, maka dilakukan pengujian kuat tekan. Variabel pengujian yang dipilih adalah komposisi dan umur *paving block*. Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium terhadap limbah bubuk marmer, menunjukkan komposisi yang didominasi oleh Kalsium Oksida (CaO) sebesar 53,90 %, Silikon Dioksida (SiO<sub>2</sub>) 0,26 %, Magnesium Oksida (MgO) 0,19 %.

Hasil uji kuat tekan umur *paving block* mulai dari 3,7,14,21 sampai 28 hari menunjukkan kecenderungan peningkatan kekuatan. Semakin banyak komposisi limbah bubuk marmer yang ditambahkan berdasar analisa kekuatan *paving block* menggambarkan kekuatan yang semakin menurun apabila melewati batas maksimum. Secara keseluruhan, kuat tekan *paving block* dengan campuran limbah bubuk marmer mempunyai kekuatan lebih besar dari *paving block* biasa. Hasil percobaan pada umur 28 hari, untuk *paving block* dengan campuran limbah bubuk marmer menunjukkan kuat tekan sebesar 172,90Kg/Cm<sup>2</sup> dengan komposisi 3 (K3) 1:4:1:0,9 (semen:pasir:abu batu:limbah bubuk marmer) yang bila dibandingkan *paving block* biasa yang dijual dipasaran hanya memiliki kekuatan tekan sebesar 119,10 Kg/Cm<sup>2</sup>. Berdasar analisis ekonomis bahan dan harga setempat, *paving block* direkomendasikan sebagai produk *PAD Hijau* bagi masyarakat Kabupaten Maros, khususnya Desa Leang-Leang.

Kata-kata kunci : **Minimisasi limbah, Pemanfaatan bubuk marmer, *Paving Block*.**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya dan tak lupa shalawat dan salam dihaturkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad Rasulullah sehingga selesainya Tesis ini, yang merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mencapai derajat Magister pada Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Adapun judul Tesis yang penulis angkat **"PEMANFAATAN BUBUK MARMER HASIL OLAHAN INDUSTRI BATU MARMER SEBAGAI UPAYA MINIMISASI LIMBAH UNTUK BAHAN CAMPURAN PEMBUATAN PAVING BLOCK"**.

Dalam menyelesaikan tesis ini penulis telah banyak mendapat bantuan, motivasi serta pertolongan. Untuk itu penulis menghaturkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Sudharto P Hadi, MES, sebagai Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
2. Ir. Agus Hadiyanto, MT, sebagai Sekretaris Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
3. Ir. Danny Sutrisnantō, M.Eng, sebagai pembimbing I.
4. Ir. Wahyu Krisna Hidajat, MT, sebagai pembimbing II.
5. Ir. Agus Hadiyanto, MT, sebagai penguji I.
6. Ir. Syafrudin, CES, MT, sebagai penguji II.
7. Sekretaris Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, yang telah memberikan kesempatan penyusun untuk mengikuti Program Pascasarjana, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro dan atas bantuannya baik materiil maupun moril dalam penyelesaian tugas belajar.
8. Kepala Dinas Prasarana Wilayah Propinsi Sulawesi Selatan, yang telah memberikan izin tugas belajar di Program Pascasarjana, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro.

9. Ibu dan saudariku yang saya cintai yang telah memberikan dukungan materil dan moril, sehingga penulis terus maju dan tegar dirantau orang dengan segala bimbingan, dorongan dan doa yang tak hentinya.
10. Teman-teman Kelas Kimpraswil-GTZ (khususnya Fathoni Ikhsan, Rini, Ana dan Yuli) serta teman-teman lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
11. Teman-teman di Sub Dinas Bina Teknik Dinas Prasarana Wilayah.
12. Staf Program Pascasarjana, Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro (Hastomo, Sulis, mba Grace, mba Fitri dan Doni).
13. Semua pihak yang telah membantu penyusunan penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata penulis berkeyakinan bahwa banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan tesis ini, sehingga bermanfaat oleh semua pihak yang berkepentingan khususnya.

Semarang, Juli 2005

Penulis

**Ferriyal**



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Kegunaan dan Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II : TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1. Produksi Bersih .....	7
2.2. Batugamping.....	9
2.3. Marmer .....	11
2.4. Limbah Marmer .....	12
2.5. Mortar .....	14
2.6. <i>Paving Block</i> .....	16
2.7. Bata Beton.....	17
2.8. Semen Portland .....	19
2.9. <i>Agregat</i> .....	24
2.10. Perawatan Beton .....	25
2.11. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> .....	25
<b>BAB III : METODE PENELITIAN</b> .....	<b>27</b>
3.1. Rancangan Penelitian .....	27
3.1.1. Pengambilan Data Awal Penelitian .....	27

3.1.2. Penelitian .....	27
3.2. Ruang Lingkup / Fokus Penelitian .....	28
3.3. Lokasi Penelitian .....	29
3.4. Variabel Penelitian .....	29
3.4.1. Perbandingan Bahan Baku <i>Paving Block</i> .....	29
3.4.2. Umur <i>Paving Block</i> .....	29
3.5. Jenis dan Sumber Data .....	29
3.6. Instrumen Penelitian .....	30
3.6.1. Pembuatan <i>Paving Block</i> .....	30
3.6.2. Uji Kuat Tekan .....	30
3.7. Prosedur Penelitian .....	30
3.7.1. Pembuatan <i>Paving Block</i> .....	30
3.7.2. Perlakuan Uji Kuat Tekan .....	30
3.8. Analisa Data .....	31
3.9. Diagram Alir Penelitian .....	32
<b>BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
4.1. Gambaran Umum Industri Marmer .....	35
4.2. Data Awal Penelitian .....	35
4.3. Uji Kuat Tekan .....	35
4.3.1. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Biasa .....	35
4.3.2. Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Limbah Bubuk Marmer .....	36
4.3.3. Hubungan Kuat Tekan dan Umur <i>Paving Block</i> Limbah .....	38
4.3.4. Hubungan Kuat Tekan dengan komposisi Bahan <i>Paving Block</i> .....	41
4.4. Perhitungan Analisis Biaya .....	43
<b>BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>46</b>
5.1. Kesimpulan .....	46
5.2. S a r a n .....	46

## DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Hasil Analisa Kimia Contoh Batugamping di kab. Maros .....	10
Tabel 2.2.	Spesifikasi <i>Paving Block</i> atau sejenisnya .....	17
Tabel 2.3.	Syarat fisis Bata Beton Berlubang .....	18
Tabel 2.4.	Syarat fisis Bata Beton Pejal.....	20
Tabel 2.5.	Unsur-unsur semen <i>Portland</i> .....	21
Tabel 4.1.	Unsur-unsur Limbah Bubuk Marmer .....	35
Tabel 4.2.	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Biasa .....	36
Tabel 4.3.	Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Paving Block</i> Limbah Bubuk Marmer .....	37
Tabel 4.4.	Hubungan Kuat Tekan Terhadap Umur <i>Paving Block</i> .....	38
Tabel 4.5.	Hubungan Kuat Tekan Terhadap Komposisi Bahan <i>Paving Block</i> .....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Kegiatan Industri Batuan Marmer .....	2
Gambar 1.2. Limbah Bubuk Marmer .....	4
Gambar 2.1. Skema Pengolahan Marmer .....	13
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian .....	32
Gambar 4.1. Peta Lokasi Pabrik Marmer .....	34
Gambar 4.2. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Umur <i>Paving Block</i> .....	39
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Komposisi bahan <i>Paving Block</i> Limbah bubuk marmer .....	42

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran A. Perhitungan Jumlah Sampel Paving Block
- Lampiran B. Uji statistik dengan menggunakan program SPSS
- Lampiran C. Foto – foto Dokumentasi Penelitian
- Lampiran D. Hasil Data pengujian Laboratorium

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang Masalah**

Kabupaten Maros, Propinsi Sulawesi Selatan, memiliki berbagai potensi sumberdaya alam, salah satunya adalah komoditi batuan. Komoditi ini potensinya cukup besar dan dihasilkan dari proses olahan bahan galian.

Bahan galian merupakan salah satu sumberdaya alam yang cukup besar peranannya terhadap kelangsungan pembangunan, sehingga potensinya perlu dimanfaatkan seoptimal mungkin (Margawijaya, 1991).

Saat ini salah satu komoditi dari proses olahan bahan galian yang telah dikembangkan di Kabupaten Maros adalah Marmer. Marmer merupakan salah satu komoditi yang mempunyai peluang pasar yang cukup banyak, baik di dalam maupun di luar negeri karena makin meningkatnya permintaan masyarakat. Sementara itu, kandungan marmer yang diperkirakan di wilayah ini terdapat cadangan batuan marmer  $\pm 2.609.062.500$  Ton (*Potret Maros*, 1997).

Marmer dari Maros sangat digemari konsumen, sebagai interior ruangan (lantai dan dinding) dan lain-lain. Untuk mendapatkan hasil marmer yang halus, putih atau bercorak warna tertentu dilakukan beberapa tahap proses pengolahan marmer.

Proses pengolahan marmer yang dilakukan oleh salah satu pabrik industri marmer yang berlokasi di Kabupaten Maros adalah PT. Bosowa Mining yang mulai berdiri sejak tahun 1996. Perusahaan pengolahan marmer ini yang memproduksi ubin marmer sebagai lantai gedung atau perumahan semakin meningkat baik dari jumlah maupun mutu produksinya (Gambar 1.1).



Gambar 1.1. Kegiatan industri batuan marmer

Industri pengolahan marmer tersebut sekaligus juga memberikan kontribusi bagi degradasi lingkungan di Kabupaten Maros, berupa limbah bubuk marmer hingga saat ini telah menghasilkan limbah  $\pm 22.000 \text{ M}^3$  (diperkirakan tiap hari dibuang  $\pm 5 \text{ M}^3$ ). Lokasi penimbunan limbah yang letaknya disekitar lahan terbuka milik perusahaan seluas  $\pm 2 \text{ Ha}$  nampak jelas belum ada pengaturan yang sistematis terhadap produk limbah hasil olahan marmer.

Pembuangan limbah bubuk marmer dilakukan pada lahan milik perusahaan belum mempertimbangkan aspek konservasi lahan yakni berupa lahan yang dapat digunakan bagi persawahan produktif. Penggunaan air sungai dilakukan dengan penyedotan menggunakan mesin sedot dan sirkulasi air belum ada upaya dengan melakukan *re-use* terhadap sebagian air yang dapat dimurnikan kembali.

Proses *reuse*, *recycle*, dan *recovery* terhadap limbah marmer sampai saat ini belum ada dilakukan oleh perusahaan tersebut. Apabila limbah bubuk marmer tidak segera dilakukan upaya pengolahan, maka dipastikan akan

menimbulkan dampak lingkungan akibat menumpuknya limbah bubuk marmer tersebut.

Masalah lingkungan akibat dari menumpuknya limbah bubuk marmer tersebut, apabila ditinjau dari beberapa aspek seperti aspek kerusakan lingkungan, aspek kesehatan lingkungan, dan aspek ekonomi lingkungan ditengarai dapat menimbulkan permasalahan antara lain dapat dirinci sebagai berikut :

1. *Aspek kerusakan lingkungan*

- ❖ Menyebabkan berkurangnya lahan produktif.
- ❖ Menyebabkan pendangkalan di sungai, serta potensi menimbulkan banjir.
- ❖ Meningkatkan Kesadahan air sungai, Air yang mengandung garam alkali tanah, terutama garam *kalsium* dan *magnesium*.
- ❖ Menimbulkan polusi udara berupa debu yang beterbangan.

2. *Aspek kesehatan lingkungan*

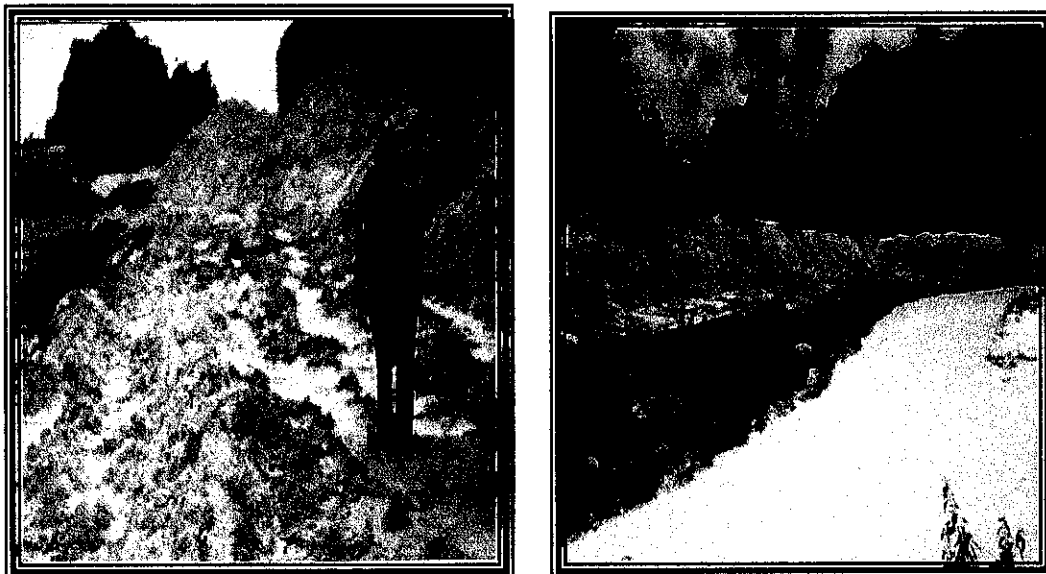
- ❖ Ancaman kesulitan memperoleh air bersih, akan dapat mengakibatkan dehidrasi pada tubuh manusia atau makhluk hidup lainnya.
- ❖ Berkurangnya lahan produktif dapat menyebabkan menurunnya ketahanan pangan yang akan menimbulkan ancaman kelaparan terhadap sebagian penduduk.
- ❖ Ancaman penyakit batu ginjal, karena air sadah dikonsumsi sebagai air minum.
- ❖ Ancaman penyakit ISPA, karena udara kotor atau tercemar oleh partikel debu.



### 3. *Aspek ekonomi lingkungan*

Meningkatnya PAD hanya bersifat sesaat, dan tidak mendukung pelaksanaan pembangunan yang berkelanjutan.

Dari dampak terhadap ketiga aspek lingkungan tersebut diatas, maka perlu dilakukan upaya pengendalian dampak terhadap lingkungan dan upaya pengelolaan lingkungan oleh Pemerintah Kabupaten Maros, masyarakat, dan para *Stakeholders* lainnya.



Gambar 1.2. Limbah bubuk marmer

Minimisasi Limbah merupakan aspek yang perlu diperhitungkan pada masa sekarang dengan diberlakukannya ISO 14000. Produksi Bersih (*cleaner production*) adalah upaya dalam rangka mewujudkan Pembangunan berkelanjutan berwawasan lingkungan (*sustainable development*) dengan beberapa prinsip yaitu; *Reuse, Reduce, recycling* dan *recovery*. Prinsip-prinsip tersebut disamping ramah lingkungan juga dapat memberikan keuntungan bagi perusahaan dengan menekan biaya pengelolaan limbah hasil produksi yang dihasilkan dari proses industri tersebut.

Selanjutnya, untuk meningkatkan upaya pengendalian dampak terhadap lingkungan dan upaya pengelolaan lingkungan, perlu dilakukan langkah terobosan yang tepat, guna meminimalisasi limbah bubuk marmer yang dibuang ke lingkungan. Langkah terobosan ini salah satunya adalah memanfaatkan limbah bubuk marmer sebagai bahan baku pembuatan produk *paving block*. Fungsi bubuk marmer tersebut sebagai bahan pengisi dan pengikat. *Paving block* sebagai bahan bangunan dapat digunakan untuk konstruksi jalan lingkungan, trotoar, dinding bangunan dan sebagainya. *Paving block* dengan campuran limbah bubuk marmer dapat dijadikan kegiatan yang memiliki nilai ekonomi bagi masyarakat Kabupaten Maros, serta diharapkan dapat meningkatkan kualitas hidupnya sekaligus meningkatkan kualitas lingkungannya.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Apakah pemanfaatan limbah industri marmer sebagai bahan pencampuran *paving block* dapat mengurangi terbentuknya limbah ?
2. Bagaimana kualitas bahan bangunan (*paving block*) dengan menggunakan campuran bubuk limbah industri marmer ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun Tujuan dari Penelitian ini adalah :

1. Untuk memanfaatkan limbah industri marmer sebagai bahan pencampuran *paving block* sehingga dapat mengurangi terbentuknya limbah.

2. Mengetahui kualitas bahan bangunan (*paving block*) yang menggunakan campuran bubuk limbah industri marmer dengan melakukan uji kuat tekan.

#### **1.4. Kegunaan dan Manfaat Penelitian**

Kegunaan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Memberikan alternatif pemecahan masalah dalam hal ini penanganan limbah bagi perusahaan industri batuan marmer.
2. Limbah industri marmer dapat digunakan sebagai material pengganti bahan baku bangunan (*Paving Block*) untuk digunakan pada proyek-proyek pembangunan fisik (perkerasan jalan, trotoar, dan lain sebagainya).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Produksi Bersih**

Beberapa istilah yang dipakai untuk menyatakan kegiatan produksi bersih yaitu *Pollution Prevention* (Pencegahan Pencemaran), *Waste Minimization* (Minimisasi Limbah), *Waste Reduction* (Pengurangan Timbulan limbah), UNEP (United Nations Environmental Program) dan negara-negara Eropa menggunakan istilah *Cleaner Production*, Amerika dan Kanada memakai istilah *Pollution Prevention*, sedangkan negara-negara lainnya mengikuti UNEP.

Menurut UNEP, Produksi Bersih adalah strategi pencegahan dampak lingkungan terpadu yang diterapkan secara terus menerus pada proses, produk, jasa untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan dan mengurangi resiko terhadap manusia maupun lingkungan.

Pencegahan Pencemaran menurut US EPA (Environmental Protection Agency), adalah teknologi produksi dan strategi yang menghasilkan pencegahan atau pengurangan terbentuknya limbah. Pencegahan pencemaran didefinisikan sebagai pemakaian bahan, proses, praktek yang dapat mengurangi atau menghilangkan timbulan pencemaran atau limbah pada sumbernya. Termasuk praktek yang dapat mengurangi pemakaian bahan-bahan berbahaya, energi, air, dan sumber daya lainnya dan praktek yang melindungi sumber daya alam melalui konservasi atau penggunaan yang lebih efisien.

Produksi Bersih, menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2003), didefinisikan sebagai strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif, terpadu dan diterapkan secara terus menerus pada setiap kegiatan mulai dari

hulu ke hilir yang terkait dengan proses produksi. Produk dan jasa untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya alam, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan dan mengurangi terbentuknya limbah pada sumbernya, sehingga dapat meminimisasi resiko terhadap kesehatan dan keselamatan manusia serta kerusakan lingkungan.

Dari ketiga pengertian mengenai Produksi Bersih maka dapat kata kunci yang dipakai untuk mengelola lingkungan yaitu ; Pencegahan, proses, produk dan jasa, peningkatan efisiensi, minimisasi resiko. Dengan demikian maka perlu perubahan sikap manajemen yang bertanggung jawab pada lingkungan dan evaluasi teknologi yang diterapkan.

Penerapan produksi bersih berarti :

- ❖ Proses produksi, produksi bersih ditekankan pada konservasi bahan dan energi, pencegahan bahan-bahan berbahaya, pengurangan jumlah dan tingkat racun semua emisi dan limbah sebelum meninggalkan proses.
- ❖ Produk, produksi bersih bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan selama siklus suatu produk, mulai dari ekstraksi bahan baku sampai penimbunan.
- ❖ Bidang jasa, produksi bersih dipadukan dengan masalah-masalah lingkungan ke dalam perancangan dan layanan jasa.

### **Prinsip-prinsip Produksi Bersih**

Pola pendekatan produksi bersih dalam melakukan pencegahan dan minimisasi limbah yaitu dengan strategi **1E4R (Elimination, Reduce, Reuse, Recycle, Recovery/Reclaim)**. Prinsip-prinsip pokok dalam strategi produksi bersih dalam Kebijakan Nasional Produksi Bersih dituangkan dalam **5R (Re-think, Reduction, Reuse, Recovery and Recycle)**.

- ❖ **Recycle** (daur ulang) adalah upaya mendaur ulang limbah untuk memanfaatkan limbah dengan memprosesnya kembali ke proses semula melalui perlakuan fisika, kimia dan biologi.
- ❖ **Recovery/Reclaim** (pungut ulang, ambil ulang) adalah upaya mengambil bahan-bahan yang masih mempunyai nilai ekonomi tinggi dari suatu limbah, kemudian di kembalikan kedalam proses produksi dengan atau perlakuan fisika, kimia dan biologi.

Meskipun prinsip produksi bersih dengan strategi **1E4R** atau **5R**, namun perlu diingat bahwa strategi utama perlu ditekankan pada pencegahan dan pengurangan (**1E1R**) atau **2R** pertama. Bila strategi **1E1R** atau **2R** pertama masih menimbulkan pencemar atau limbah, baru kemudian melakukan strategi 3R berikutnya (*reuse, recycle dan recovery*) sebagai suatu strategi tingkatan pengolahan limbah.

Tingkatan pengolahan limbah dilakukan berdasarkan konsep produksi bersih. Pengolahan limbah sampai dengan penimbunan. Pengolahan dan penimbunan merupakan upaya terakhir yang dilakukan bila upaya dengan pendekatan produksi bersih tidak mungkin diterapkan.

Ditinjau dari biaya yang dikeluarkan untuk pengelolaan limbah, maka tindakan produksi bersih memerlukan biaya yang paling kecil sedangkan pada tingkatan pengolahan dan penimbunan memerlukan biaya yang tinggi. Biaya untuk pengolahan limbah mencapai 30% biaya produksi total berbagai industri.

## **2.2. Batugamping**

Batugamping karbonat termasuk dalam kelompok batuan sedimen, dapat ditentukan dari komposisi unsur-unsur kimia mineral, tekstur, struktur batuan diagenesa pembentukannya (*Sam Boggs, 1987*).

Bahan galian batugamping yang ditemukan di daerah penyelidikan merupakan bagian dari batugamping Formasi Tonasa. Penyebarannya cukup luas, menempati wilayah morfologi perbukitan karst, tersingkap di Wilayah Kecamatan Bantimurung dan sebagian di Kecamatan Tanralili, Camba (Kecamatan Camba), dan di daerah Mallawa (Kecamatan Mallawa).

Kenampakan fisik bahan galian batugamping berwarna putih hingga abu-abu, lapuk membentuk tanah berwarna hitam, terdiri dari batugamping klastik dari jenis kalkarenit dan setempat berupa batugamping terumbu. Struktur batuan sebagian kompak dan bersisik dan sebagian berlapis dengan ketebalan perlapisan antara (10 - 65)cm, secara keseluruhan bahan galian ini terlipat lemah dengan kemiringan bervariasi. Hasil analisa kimia contoh batugamping di Kabupaten Maros dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1. Hasil Analisa Kimia Contoh Batugamping di Kabupaten Maros

No.	Contoh	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	H <sub>2</sub> O (%)	LOI (%)
1	MR-24	0,96	0,66	0,15	0,06	0,02	0,01	51,18	0,67	0,71	41,22
2	MR-24	0,98	2,13	0,21	0,08	0,03	0,03	56,64	0,63	0,30	39,06
3	MR-24	4,95	1,40	0,03	0,08	0,01	0,01	51,83	1,56	0,13	39,49
4	MR-24	1,61	0,98	0,07	0,15	0,06	0,06	56,83	0,69	0,17	45,16
5	MR-24	0,16	0,99	0,02	0,12	0,02	0,02	54,77	1,31	0,16	43,89
6	MR-24	1,01	2,04	0,16	0,07	0,03	0,03	55,05	0,86	0,37	41,93

Sumber : *Laboratorium Sub Dinas Geologi dan Sumberdaya Mineral Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Selatan 2003*

Berdasarkan hasil analisa kimia contoh batugamping tersebut diatas menunjukkan rata-rata kandungan CaO > 50% dan MgO maksimum 1,56%, maka dengan demikian bahan galian batugamping di Kabupaten Maros, dapat digunakan sebagai bahan baku dalam industri semen "Portland", kapur putih, kapur ringan, karbit, dan gas CO<sub>2</sub>.

### 2.3. Marmer

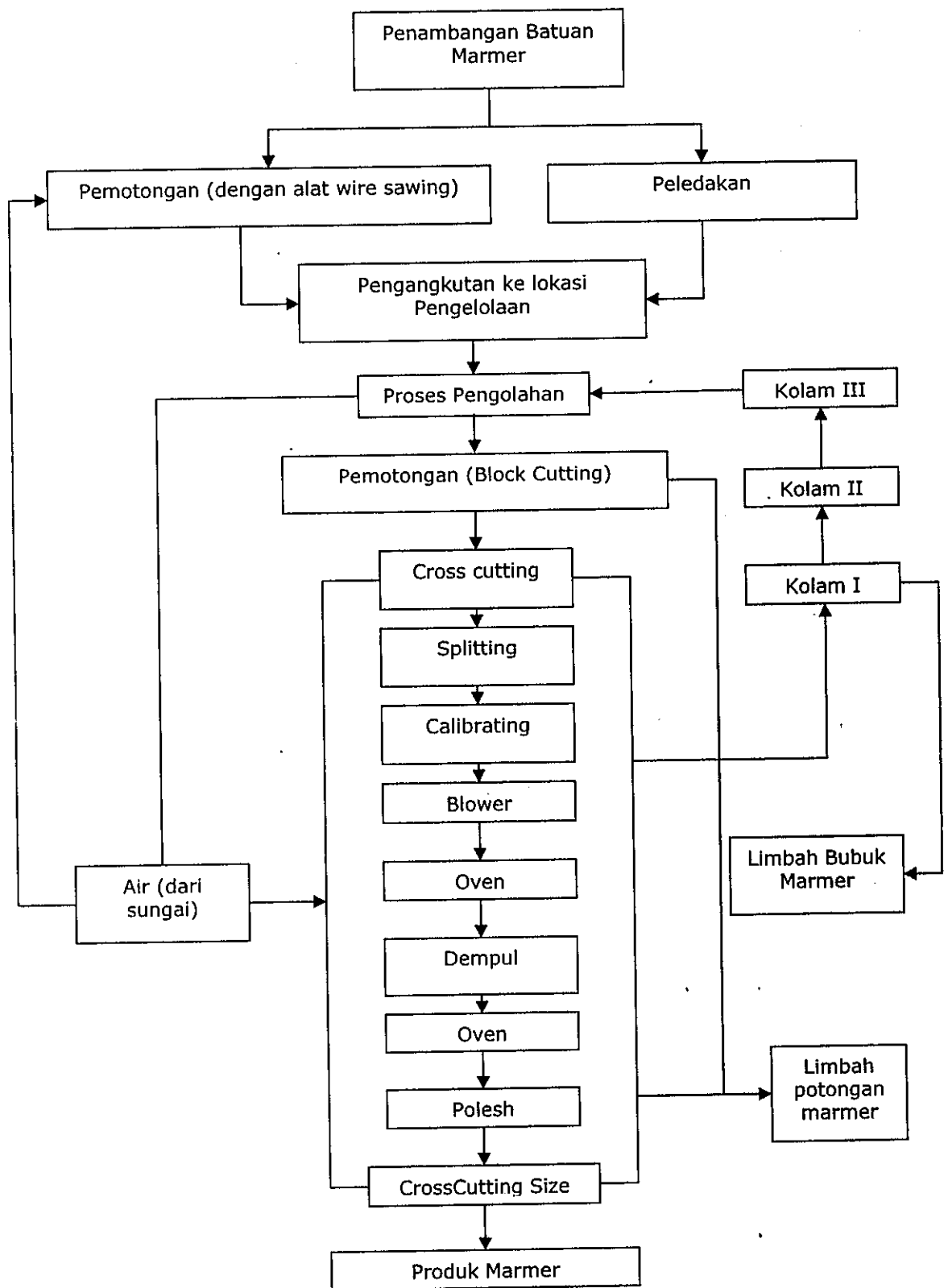
Marmer atau batu pualam merupakan batuan hasil proses metamorfosa atau malihan dari batugamping yang mengandung karbonat. Pengaruh suhu dan tekanan yang dihasilkan oleh gaya endogen menyebabkan terjadi rekristalisasi pada batuan tersebut membentuk berbagai foliasi mapun non foliasi.

Akibat rekristalisasi struktur asal batuan membentuk tekstur baru dan keteraturan butir. Marmer Indonesia diperkirakan berumur sekitar 30–60 juta tahun atau berumur Kuartar hingga Tersier. Marmer akan selalu berasosiasi keberadaanya dengan batugamping. Setiap ada batu marmer akan selalu ada batugamping, walaupun tidak setiap ada batugamping akan ada marmer. Karena keberadaan marmer berhubungan dengan proses gaya endogen yang mempengaruhinya baik berupa tekan maupun perubahan temperatur yang tinggi. Di Indonesia penyebaran marmer tersebut cukup banyak, penggunaan marmer atau batu pualam tersebut biasa dikategorikan kepada dua penampilan atau motif yaitu tipe ordinario dan tipe staturio. Tipe ordinario biasanya digunakan untuk pembuatan tempat mandi, meja-meja, dinding dan sebagainya, sedangkan tipe staturio sering dipakai untuk seni pahat dan patung. Batuan ini padat dan kompak serta mempunyai tekstrur Granoblastik, struktur non foliasi, mineral penyusunannya umumnya terdiri dari kalsit dan sedikit dolomit dan silica. Mempunyai *density* yaitu 2,7 – 2,8 ton/m<sup>3</sup>, serta kuat tekan antara 800 – 1300 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga waktu dipoles memperlihatkan kilapan yang cukup baik. Bila dikaitkan dengan standar Nasional Indonesia (SNI) telah termasuk persyaratan marmer yang dapat dipergunakan untuk kebutuhan beban dinamis (lantai) dan statis (dinding). dan berat jenis 2,9. (Anonim, 2002)



#### **2.4. Limbah Marmer**

Pengolaan batuan (blok) marmer menjadi ubin hingga menghasilkan limbah marmer yang berbentuk bubuk melalui beberapa tahapan-tahapan. Mulai dari penambangan batuan marmer, selanjutnya hasil penambangan diangkut dengan truk menuju ke lokasi pengolahan. Setelah tiba di lokasi pengolahan, dilakukan beberapa tahap proses produksi secara berurutan, meliputi : Block pemotongan (*block cutting*) untuk memotong blok marmer menjadi slab. Lembaran slab yang besar ini kemudian dipotong pada bagian ujungnya agar rata (*Cross Cutting*). Selanjutnya slab ini dipotong/diratakan pada salah satu permukaannya sesuai ukuran yang diinginkan (*Calibrating*). Hasil dari perataan permukaan ini yang masih mempunyai lubang-lubang kecil ditutup dengan menggunakan dempul. Untuk melicinkan permukaan setelah slab ini didempul, dilakukan pengerjaan poles (*polishing*). Slab yang telah mengkilap ini dipotong-potong sesuai ukuran yang dikehendaki. Akhirnya menghasilkan produk marmer disamping itu juga menghasilkan limbah cair serta limbah potongan marmer, dalam proses pengolahan marmer ini menggunakan air sebanyak  $\pm 1000$  ltr/menit melalui proses sirkulasi air. Sehingga mengeluarkan limbah cair yang melalui saluran ke kolam 1,2, dan 3, setelah mengalami pengendapan, maka air dan bubuk marmer terpisah. Proses pengolahan batu marmer secara garis besar dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema Pengolahan Marmer

## 2.5. Mortar

Mortar semen sangat banyak dipakai secara luas sebagai bahan konstruksi bangunan, baik pada konstruksi gedung maupun jalan, misalnya untuk bahan plesteran dinding, sebagai bahan pembuatan *paving block*, bata beton, buis beton, batako, tegel, rooster dan lain-lainnya. Mortar semen mempunyai sifat-sifat dasar dan kualitas yang bervariasi, yang dipengaruhi oleh bahan dasar yang digunakan, yaitu pasir dan jenis semen.

Menurut *Tjokrodimuljo (1996)*, pengertian mortar (sering disebut mortel atau spesi) ialah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat dan air. Bahan perekat dapat berupa tanah liat, kapur, maupun semen *portland*. Sedangkan pasir berfungsi sebagai bahan pengisi (bahan yang direkat).

Mortar dapat dibedakan menjadi 4 (empat) macam yaitu :

### 1. Mortar Lumpur

Mortar lumpur dibuat dari campuran pasir tanah liat/lumpur dan air. Pasir, tanah liat dan air tersebut dicampur sampai rata dan mempunyai kelecakan yang cukup baik. Jumlah pasir harus diberikan secara tepat untuk memperoleh adukan yang baik. Terlalu sedikit pasir akan menghasilkan mortar yang retak-retak setelah mengeras sebagai akibat besarnya susutan pengeringan. Terlalu banyak pasir menyebabkan adukan kurang dapat melekat. Mortar ini biasa dipakai sebagai bahan atau bahan tungku api di desa.

### 2. Mortar Kapur

Mortar kapur dibuat dari campuran pasir, kapur dan air. Kapur dan pasir mula – mula dicampur dalam keadaan kering, kemudian ditambahkan air. Air diberikan secukupnya agar diperoleh adukan yang cukup baik (mempunyai kelecakan baik). Selama proses pengerasan

kapur mengalami susutan, sehingga jumlah pasir umumnya dipakai 2 atau 3 kali volume kapur. Mortar ini biasanya dipakai untuk pembuatan tembok bata.

### 3. Mortar Semen

Mortar semen dibuat dari campuran pasir, semen *portland* dan air dalam perbandingan campuran yang tepat. Perbandingan antara volume semen dan volume pasir berkisar antara 1 : 2 sampai 1 : 6 atau lebih besar. Mortar ini kekuatannya lebih besar daripada kedua mortar terdahulu, yaitu mortar lumpur dan mortar kapur. Oleh karena itu mortar semen biasa dipakai untuk tembok, pilar, kolom atau bagian lain yang menahan beban. Karena mortar semen rapat air maka juga dipakai untuk pembuatan *paving block*, bata beton, buis beton, batako, dan lain-lain. Pasir dan semen *portland* mula-mula dicampur secara kering sampai merata di atas suatu tempat yang rata dan rapat air. Kemudian sebagian air yang diperlukan ditambahkan sambil diaduk. Begitu seterusnya sampai air yang diperlukan tercampur semua.

### 4. Mortar Khusus

Mortar khusus dibuat dengan menambahkan bahan khusus pada mortar kapur dan mortar semen dengan tujuan tertentu. Mortar ringan diperoleh dengan menambahkan *asbestos fibers*, *jute fibers* (serat rami), butir-butir kayu, serbuk gergajian kayu dan sebagainya. Mortar ini digunakan untuk baha isolasi panas atau peredam suara. Mortar tahan api diperoleh dengan menambahkan bubuk bata api dengan *aluminous cement*, dengan perbandingan volume satu *aluminous*

*cement* dan dua bubuk bata api. Mortar ini biasa dipakai untuk tungku api.

## **2.6. *Paving block***

*Paving block* adalah salah satu dari pengembangan teknologi beton. Bahan penyusun, cara pengujian, dan pemeliharaannya hampir sama dengan beton biasa. Dalam hal ini pemakaian jumlah air, *paving block* mempunyai perbedaan karena dalam pembuatan *paving block* diperlukan nilai *fas* yang kecil.

*Paving block* sebagai perkerasan yang berwawasan lingkungan, antara lain, tidak menimbulkan kebisingan dan gangguan debu pada saat pengerjaannya serta dapat berfungsi sebagai media peresapan air di saat terjadi genangan. Media peresapan ini sangat cocok digunakan pada daerah pertamanan, ataupun trotoar, karena pada daerah tersebut tidak terjadi beban dinamis yang besar, sehingga pasir pengisi dapat berfungsi sebagai media masuknya air ke dalam tanah. *Paving block* mulai diproduksi dalam skala kecil pada pertengahan 1950 di Jerman Barat, kemudian berkembang ke beberapa negara di daratan Eropa. Pada tahun 1976 di Jerman Barat sudah ada sekitar 500-an pabrik yang memproduksi *paving block* dalam berbagai bentuk dan diantara 40 bentuk telah dipatenkan. *Paving block* mulai dikenal di Indonesia sejak tahun 1977 sebagai trotoar di jalan Thamrin, Jakarta. Setelah itu mulai digunakan sebagai perkerasan jalan. Dan sekarang ini banyak digunakan sebagai trotoar, areal parkir, jalan-jalan perumahan, terminal, *container yard*, *taxy way*, dan lainnya.

*Paving block* atau batu cetakan halaman dapat juga disebut *interblock* atau *interlocking concrete* (blok beton terkunci). Blok terkunci adalah segmen-segmen kecil yang terbuat dari beton dengan bentuk segi empat atau

segi banyak, yang dipasang sedemikian rupa sehingga mereka saling mengunci (*Departemen Pekerjaan Umum, 1990*).

Pemasangan tidak menggunakan mortar sebagai bahan pengikat, tetapi ikatan terjadi karena masing-masing saling mengunci. Batu cetakan ini dibuat dari campuran semen, pasir, dan sedikit air dengan atau tanpa zat aditif.

Departemen Pekerjaan Umum dalam buku Tata cara Pemasangan Blok Beton Terkunci untuk perkerasan Jalan mengklasifikasikan berdasarkan bentuk, tebal, kekuatan, dan warna. Dalam penggunaannya, keempat kelompok tersebut saling berkaitan, sehingga akan didapatkan perkerasan yang baik sesuai dengan fungsinya.

## **2.7. Bata Beton**

Bata beton dibedakan menjadi bata beton pejal dan bata beton berlubang. Bata beton pejal adalah bata yang memiliki penampang pejal 75 % atau lebih dari luas penampang seluruhnya dan memiliki volume pejal lebih dari 75 % volume bata seluruhnya. Sedangkan yang dimaksud dengan bata beton berlubang adalah bata yang memiliki luas penampang lubang lebih dari 25 % luas batanya dan volume lubang lebih dari 25 % volume bata seluruhnya. Klasifikasi bata beton berlubang diklasifikasikan sesuai dengan pemakaiannya yaitu sebagai berikut :

- ❖ Bata beton berlubang mutu I, adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi yang tidak terlindung (diluar atap)
- ❖ Bata beton berlubang mutu II, adalah bata beton berlubang yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindungi dari cuaca luar ( untuk konstruksi di bawah atap ).

- ❖ Bata beton berlubang mutu III, adalah bata beton berlubang yang digunakan hanya untuk hal-hal seperti yang tersebut dalam mutu IV, hanya permukaan dinding/konstruksi dari bata beton tersebut tidak boleh diplester.
- ❖ Bata beton berlubang mutu IV, adalah bata beton berlubang yang digunakan hanya untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat serta konstruksi lainnya yang selalu terlindungi dari hujan dan terik matahari ( di bawah atap ).

Bata beton berlubang harus memenuhi persyaratan mutu sebagai berikut :

Syarat fisis, seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.2. Syarat fisis bata beton berlubang

No.	Syarat Fisis	Satuan	Tingkat Mutu			
			I	II	III	IV
1.	Kuat tekan bruto *) rata-rata, min.	Kg/Cm <sup>2</sup>	70	50	35	20
2.	Kuat tekan bruto *) masing-masing benda uji, min.	Kg/Cm <sup>2</sup>	65	45	30	17
3.	Penyerapan air, rata- rata maks	%	25	35	-	-

Sumber : Standar spesifikasi bahan bangunan bagian A

Dari tabel di atas terlihat bahwa untuk bata beton berlubang mutu I yang mempunyai peruntukan paling berat syarat kuat tekannya juga harus tinggi, namun tidak demikian halnya untuk mutu IV, karena peruntukannya tidak seberat mutu I, maka syarat kuat tekan yang ditentukan juga tidak terlalu tinggi.

Selain bata berlubang, maka dalam pasaran juga dijumpai adanya bata beton pejal, yang diklasifikasikan sesuai dengan pemakaiannya, yaitu sebagai berikut :

- ❖ Bata beton pejal mutu I, adalah bata beton pejal yang digunakan untuk konstruksi yang tidak terlindung (diluar atap)

- ❖ Bata beton pejal mutu II, adalah bata beton pejal yang digunakan untuk konstruksi yang memikul beban, tetapi penggunaannya hanya untuk konstruksi yang terlindungi dari cuaca luar ( untuk konstruksi di bawah atap ).
- ❖ Bata beton pejal berlubang mutu III, adalah bata beton berlubang yang digunakan hanya untuk hal-hal seperti yang tersebut dalam mutu IV, hanya permukaan dinding/konstruksi dari bata beton tersebut tidak boleh diplester.
- ❖ Bata beton berlubang mutu IV, adalah bata beton berlubang yang digunakan hanya untuk konstruksi yang tidak memikul beban, dinding penyekat serta konstruksi lainnya yang selalu terlindungi dari hujan dan terik matahari ( di bawah atap ).

Syarat fisis, seperti dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.3. Syarat fisis bata beton pejal

No.	Syarat Fisis	Satuan	Tingkat Mutu			
			I	II	III	IV
1.	Kuat tekan bruto *) rata-rata, min.	Kg/Cm <sup>2</sup>	100	70	40	25
2.	Kuat tekan bruto *) masing-masing benda uji, min.	Kg/Cm <sup>2</sup>	90	65	35	21
3.	Penyerapan air, rata-rata maks	%	25	335	-	-

Sumber : Standar spesifikasi bahan bangunan bagian A

## 2.8. Semen Portland

Semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan *gips* sebagai bahan tambahan (PUBI, 1982).

Semen *portland* merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik, karena berfungsi meratakan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak dan padat. Selain itu juga



untuk mengisi rongga-rongga diantara butiran agregat, meskipun hanya menempati 10% dari volume beton (Tjokroadimuljo, 1996).

a. Susunan Kimia

Unsur-unsur pokok semen *portland* terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, oksida besi dan lainnya seperti tampak pada Tabel. 2.4.

Tabel. 2.4. Unsur - unsur Semen *portland*

Bahan Dasar	Rumus Kimia	% dalam PC
Kapur	CaO	60 - 65
Silika	SiO <sub>2</sub>	17 - 25
Alumina	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3 - 8
Besi Oksida	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5 - 6
Magnesia	MgO	0,5 - 4
Sulfur	SO <sub>3</sub>	1 - 2
Soda/Potach	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,5 - 1

Sumber : Tjokroadimuljo, 1996

Selanjutnya unsur-unsur tersebut berinteraksi satu sama lain untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan. Menurut Tjokroadimuljo, 1996, pada dasarnya dapat disebutkan 4 unsur yang paling penting pada semen Portland, yaitu :

- a. Trikalsium Silikat (C<sub>3</sub>S) atau 3CaO SiO<sub>2</sub>
- b. Dikalsium Silikat (C<sub>2</sub>S) atau 2CaO SiO<sub>2</sub>
- c. Trikalsium Aluminate (C<sub>3</sub>A) atau 3CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- d. Tetrakalsium Aluminoferrite (C<sub>4</sub>AF) atau 4CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Dua unsur yang pertama (a dan b) biasanya merupakan 70 sampai 80% dari semen sehingga merupakan bagian yang doinan dalam memberikan sifat semen. Bila semen terkena air, C<sub>3</sub>S segera mulai berhidrasi, dan menghasilkan panas. Selain itu juga berpengaruh besar terhadap pengerasan

semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Sebaliknya  $C_2S$  bereaksi dengan air lebih lambat sehingga hanya berpengaruh terhadap pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari, dan memberikan kekuatan akhir. Unsur  $C_2S$  ini juga membuat semen tahan terhadap serangan kimia (*chemical attack*) dan juga mengurangi besar susutan pengeringan. Kedua unsur pertama ini membutuhkan air berturut-turut sekitar 24 dan 21 % beratnya untuk terjadinya reaksi kimia, namun  $C_3S$  membebaskan kalsium hidroksida saat hidrasi sebanyak hampir 3 kali dari yang dibebaskan oleh  $C_2S$ . Maka dari itu, jika  $C_3S$  mempunyai persentase yang lebih tinggi akan menghasilkan proses pengerasan yang cepat pada pembentukan kekuatan awanya disertai suatu panas hidrasi yang tinggi. Sebaliknya persentase  $C_2S$  yang lebih tinggi menghasilkan proses pengerasan yang lambat, panas hidrasi yang sedikit, dan ketahanan terhadap serangan kimia yang lebih baik.

Untuk  $C_3A$  (unsur ketiga, c) berhidrasi exothermic, dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan sesudah 24 jam.  $C_3A$  bereaksi dengan air sebanyak kira-kira 40% beratnya, namun karena jumlah unsur ini yang sedikit maka pengaruhnya pada jumlah air hanya sedikit. Unsur  $C_3A$  ini sangat berpengaruh pada panas hidrasi tinggi, baik selama pengerasan awal maupun pengerasan berikutnya yang panjang. Semen yang mengandung unsur ini lebih dari 10% akan kurang tahan terhadap serangan asam sulfat. Oleh karena itu semen tahan sulfat tidak boleh mengandung  $C_3A$  terlalu banyak (maksimum 5% saja). Semen yang terkena asam sulfat, ( $SO_4$ ) didalam air atau tanah disebabkan karena keluarnya  $C_3A$  yang bereaksi dengan sulfat, dan mengembang, sehingga terjadi retak-ratak pada betonnya.

Unsur yang keempat yaitu  $C_4AF$  kurang begitu pengaruhnya terhadap kekerasan semen atau beton.

Dari uraian tersebut tampak bahwa persentase yang berbeda dari unsur-unsur yang ada dalam semen membuat semen mempunyai sifat yang berbeda-beda.

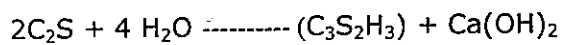
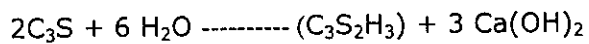
b. Hidrasi Semen

Bilamana semen bersentuhan dengan air maka proses hidrasi berlangsung, dalam arah ke luar dan ke dalam, maksudnya hasil hidrasi mengendap di bagian luar dan inti semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi sehingga volumenya mengecil. Reaksi tersebut berlangsung lambat, antara 2 – 5 jam (yang disebut periode induksi atau tak aktif) sebelum mengalami percepatan setelah kulit permukaan pecah.

Pada tahapan hidrasi berikutnya pasta semen terdiri dari gel (suatu butiran sangat halus hasil hidrasi, memiliki luas permukaan yang amat besar), dan sisa-sisa semen yang tak bereaksi, kalsium hidroksida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , dan air, dan beberapa senyawa yang lain. Kristal-kristal dari berbagai senyawa yang dihasilkan membentuk suatu rangkaian tiga dimensi yang saling melekat secara random dan kemudian sedikit demi sedikit mengisi ruangan yang mula-mula ditempati air, lalu menjadi kaku dan muncullah suatu kekuatan yang selanjutnya mengeras menjadi benda yang padat dan kuat. Dengan demikian pasta semen yang telah mengeras memiliki struktur yang berpori, dengan ukuran pori bervariasi dari yang sangat kecil ( $4 \times 10^{-7}$  mm) sampai yang lebih besar. Pori-pori ini disebut pori-pori gel. Pori-pori yang di dalam pasta semen yang sudah keras itu mungkin saling berhubungan tapi mungkin juga tidak. Setelah hidrasi berlangsung, endapan hasil hidrasi pada permukaan butiran semen membuat difusi air ke bagian

dalam yang belum berhidrasi semakin sulit, sehingga laju hidrasi semakin lambat.

Proses hidrasi pada semen portland sangat kompleks, tidak semua reaksi dapat diketahui secara rinci. Rumus proses kimia (perkiraan) untuk reaksi hidrasi dari unsur  $C_2S$  dan  $C_3S$  dapat ditulis sebagai berikut :



Hasil utama dari proses diatas ialah  $C_3S_2H_3$ ) yang disebut "*tobermorite*" yang berbentuk gel. Panas juga keluar selama proses berlangsung (panas hidrasi). Beberapa butir yang bersifat seperti kristal tampak juga dalam "*tobermorite*". Proses hidrasi butir-butir semen berlangsung sangat lambat. Bila masih dimungkinkan, penambahan air masih diperlukan oleh bagian dalam dari butir-butir semen (terutama yang berbutir besar) untuk menyempurnakan proses hidrasi. Proses dapat berlangsung sampai 50 tahun.

Pemeriksaan semen secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun yang butirannya sudah mengeras (karena selama penyimpanan semen tersebut menyerap uap air dari kelembaban disekitarnya).

Sesuai dengan tujuan pemakaiannya, semen *portland* di Indonesia dibagi dalam 5 jenis (PUBI - 1982), yaitu sebagai berikut :

Jenis I : Untuk konstruksi pada umumnya, dimana tidak dimita persyaratan secara khusus seperti disyaratkan pada jenis-jenis lainnya.

Jenis II : Untuk konstruksi umumnya terutama sekali bila disyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.

- Jenis III : Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- Jenis IV : Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
- Jenis V : Untuk konstruksi-konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengikatan semen menurut *Tjokroadimuljo (1996)*, adalah :

1. Kehalusan semen, semakin halus butiran semen akan semakin cepat waktu pengikatan
2. Jumlah air, pengikatan semen akan semakin cepat bila jumlah air berkurang
3. Temperatur, waktu pengikatan akan semakin cepat jika temperatur semakin tinggi.
4. Penambahan zat kimia tertentu.

### **2.9. Agregat**

*Agregat* adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. *Agregat* ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Walaupun hanya sebagai bahan pengisi tetapi *agregat* sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortar/betonnya, sehingga pemilihan *agregat* merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortar/beton. *Agregat* harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat dan gradasinya baik. *Agregat* harus pula mempunyai kestabilan kimiawi dan dalam hal-hal tertentu harus tahan aus dan cuaca (*Tjokroadimuljo, 1996*).

### **2.10. Perawatan Beton (*Curing*)**

Perawatan ini dilakukan setelah beton mencapai final setting, artinya beton telah mengeras. Perawatan ini dilakukan agar proses hidrasi selanjutnya tidak mengalami gangguan. Jika hal ini terjadi, beton akan mengalami keretakan karena kehilangan air yang begitu cepat. Perawatan dilakukan minimal selama 7 (tujuh) hari dan beton berkekuatan awal tinggi minimal selama 3 (tiga) hari serta harus dipertahankan dalam kondisi lembab, kecuali dilakukan dengan perawatan yang dipercepat.

Perawatan ini tidak hanya dimaksudkan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi tapi juga dimaksudkan untuk memperbaiki mutu dari keawetan beton, kedekatan air, ketahanan terhadap aus, serta stabilitasi dari dimensi struktur (Tri Mulyono, 2004).

### **2.11. Pengujian Kuat Tekan *Paving block***

Sifat penting pada beton atau bahan lain yang tersusun atas bahan semen, air dan agregat adalah kekuatannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan *paving block* dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain : faktor air semen, umur, jenis semen, jumlah semen, sifat *agregat*, pemadatan, dan perawatan. (Tjokroadimuljo, 1986 dan 1992)

Pada setiap contoh benda uji, perbedaan beberapa faktor tersebut cenderung mengakibatkan kekuatan *paving block* bervariasi.

Pengujian kuat tekan *paving block* dilaksanakan pada umur 3,7,14,21 dan 28 hari sesuai standar PBI 71 dengan memberikan beban bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji sampai hancur. Nilai kuat tekan dihitung dengan rumus :

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :  $f_c$  = kuat tekan *paving block* (Kg/Cm<sup>2</sup>)

P = beban maksimum (Kg)

A = luas penampang *paving block* (Cm<sup>2</sup>)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Rancangan penelitian yang akan dilakukan dalam pembuatan *paving block* dengan menggunakan limbah bubuk marmer, merupakan penelitian yang bersifat kuantitatif yaitu dengan cara melakukan percobaan di laboratorium.

##### **3.1.1. Pengambilan Data Awal Penelitian**

Yang dimaksud pengambilan data awal adalah untuk mengetahui kondisi awal bahan uji yang akan digunakan sebagai subyek penelitian, yang tujuannya adalah sebagai *reference* atau pembanding dengan data yang diperoleh setelah dilakukan percobaan.

Untuk langkah selanjutnya yang perlu dilakukan dalam pengambilan data awal antara lain :

- a. Untuk mengidentifikasi unsur senyawa yang terkandung pada limbah bubuk marmer.
- b. Pengujian karakteristik bahan adalah memeriksa material yang akan digunakan untuk pembuatan *paving block*.

##### **3.1.2. Penelitian**

Setelah pengumpulan data awal penelitian, maka untuk selanjutnya adalah menentukan terlebih dahulu variabel dependen dan variabel independent. Untuk langkah berikutnya adalah melakukan percobaan, dengan langkah sebagai berikut :

- a. Pembuatan *Paving block*  
Bahan baku yang digunakan adalah semen, pasir, abu batu dan limbah bubuk marmer, masing-masing ditimbang sesuai dengan variabel yang



ditentukan, kemudian diaduk secara merata. Setelah dianggap campuran tersebut sudah homogen, maka dilakukan pencetakan dengan menggunakan alat press cetakan *paving block*.

b. Perawatan *Paving block (Curing Time)*

*Paving block* yang telah dicetak, kemudian diangin-anginkan selama kurang lebih satu hari untuk memastikan bahwa *paving block* tersebut sudah memenuhi syarat untuk direndam.

Dari proses tersebut untuk mengantisipasi terjadinya retak ataupun susut pada beton/*paving block* maka perlu adanya perawatan (*Curing*).

c. Perendaman *Paving block*

Setelah dianggap "*curing time*" nya sudah mencukupi, maka *paving block* tersebut direndam dalam air, sebagai cara proses pengerasan semen yang terbaik. Cara ini sangat efektif untuk menurunkan suhu sehingga penguapan yang terjadi relatif kecil. Waktu perendaman dimulai pada umur 3,7,14,21, dan 28 hari.

d. Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dari *paving block* tersebut sesuai dengan variabel umur yang disepakati. Pada setiap contoh benda uji akibat perbedaan umur cenderung mengakibatkan kekuatan *paving block* bervariasi.

### 3.2. Ruang Lingkup/Fokus Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini hanya dibatasi pada :

1. Penelitian hanya dilakukan pada bubuk limbah marmer industri, dan pasir lokal sebagai bahan campuran *paving block*.
2. Perendaman *paving block* dilakukan pada temperatur kamar terbuka, dengan menggunakan air sumur lokal.
3. Melakukan Uji Kuat tekan terhadap *paving block*.

### 3.3. Lokasi Penelitian

- a. Untuk mengidentifikasi senyawa yang terkandung pada limbah marmer penelitian dilakukan di laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri dan Perdagangan Makassar di Makassar.
- b. Untuk pembuatan *paving block*, penelitian dilakukan pada perusahaan swasta yang berlokasi di Makassar.
- c. Untuk Uji Kuat Tekan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia, Makassar.

### 3.4. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini akan diamati kuat tekan terhadap *paving block* tersebut. Oleh karena itu variabel yang dipilih dalam penelitian ini, meliputi :

#### 3.4.1. Perbandingan Bahan Baku *Paving block*

Untuk menentukan perbandingan dengan mengacu pada *paving block* biasa yang dipasaran, Perbandingan antara Semen, pasir, abu batu dan limbah bubuk marmer yang digunakan dalam penelitian adalah :

- a. 1 : 4 : 1 : 0,30
- b. 1 : 4 : 1 : 0,60
- c. 1 : 4 : 1 : 0,90
- d. 1 : 4 : 1 : 1,20
- e. 1 : 4 : 1 : 1,50

#### 3.4.2. Umur *Paving block*

Umur *paving block* untuk penelitian ini adalah 3,7,14,21, dan 28 hari.

### 3.5. Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang diperoleh dari data primer (hasil percobaan), kemudian dibandingkan dengan standar atau referensi yang ada.

### **3.6. Instrumen Penelitian**

#### **3.6.1. Pembuatan *Paving block***

Bahan yang digunakan ; semen, pasir, abu batu, limbah bubuk marmer dan Air.

Alat yang digunakan : Timbangan, Cetakan *paving block*, Mesin tekan hidrolis, Peralatan penunjang (sekop, ember kecil, dan lain-lain).

#### **3.6.2. Uji Kuat Tekan**

- a. Bahan yang digunakan ; *Paving block*
- b. Alat yang digunakan : Mesin uji tekan, mistar

### **3.7. Prosedur Penelitian**

#### **3.7.1. Pembuatan *Paving block***

- a. Menyediakan dan menyiapkan alat dan bahan untuk pembuatan *paving block*.
- b. Timbang masing-masing bahan baku tersebut dengan perbandingan semen : pasir : abu batu : limbah bubuk marmer 1 : 4 : 1 : 0,30 (misal 10 Kg : 40 Kg : 10 Kg : 3 Kg).
- c. Campur semua bahan baku dan lakukan pengadukan, hingga adonan tersebut dianggap sudah homogen dengan membuat jumlah sampel sebanyak 25 buah (lampiran A).
- d. Masukkan campuran bahan baku kedalam mesin pencetakan *paving block*, kemudian lakukan *pressing* terhadap cetakan tersebut.
- e. Diamkan hasil cetakan *paving block* tersebut sampai kurang lebih satu hari, untuk memastikan *curing timenya* terpenuhi.
- f. Perendaman *Paving block*  
Setelah dianggap "*curing time*" nya sudah mencukupi, maka *paving block* tersebut direndam dalam air.

g. Ulangi langkah b sampai dengan e perbandingan antara Semen, pasir, abu batu dan limbah bubuk marmer dengan komposisi sebagai berikut :

1. 1 : 4 : 1 : 0,30
2. 1 : 4 : 1 : 0,60
3. 1 : 4 : 1 : 0,90
4. 1 : 4 : 1 : 1,20
5. 1 : 4 : 1 : 1,50

### 3.7.2. Perlakuan Uji Kuat Tekan

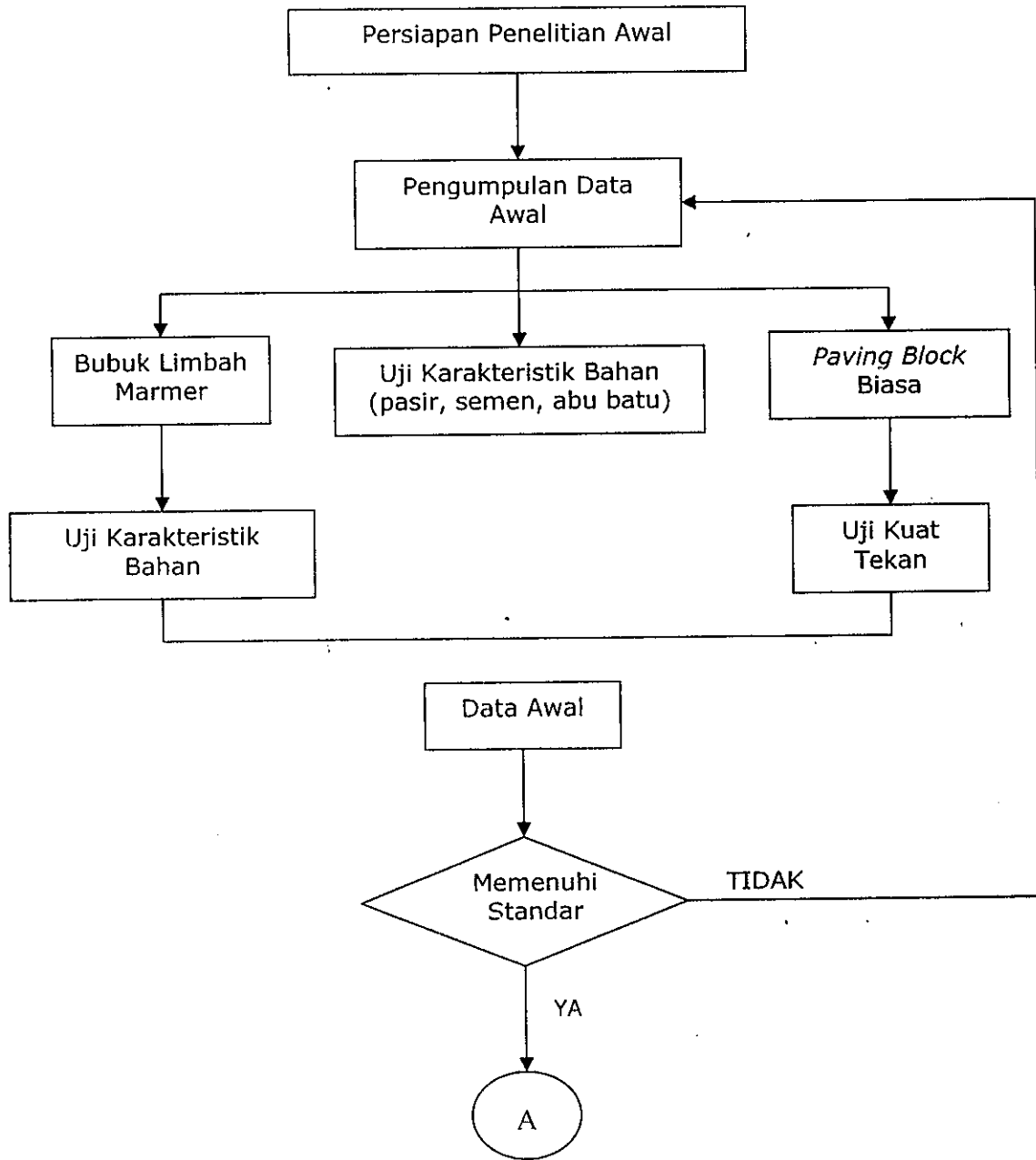
*Paving block* yang telah dicetak dengan masing-masing perbandingan seperti diatas, kemudian dilakukan uji kuat tekan dengan menggunakan alat "Press Tekan" yang berkapasitas 150 Kn dengan melalui prosedur.

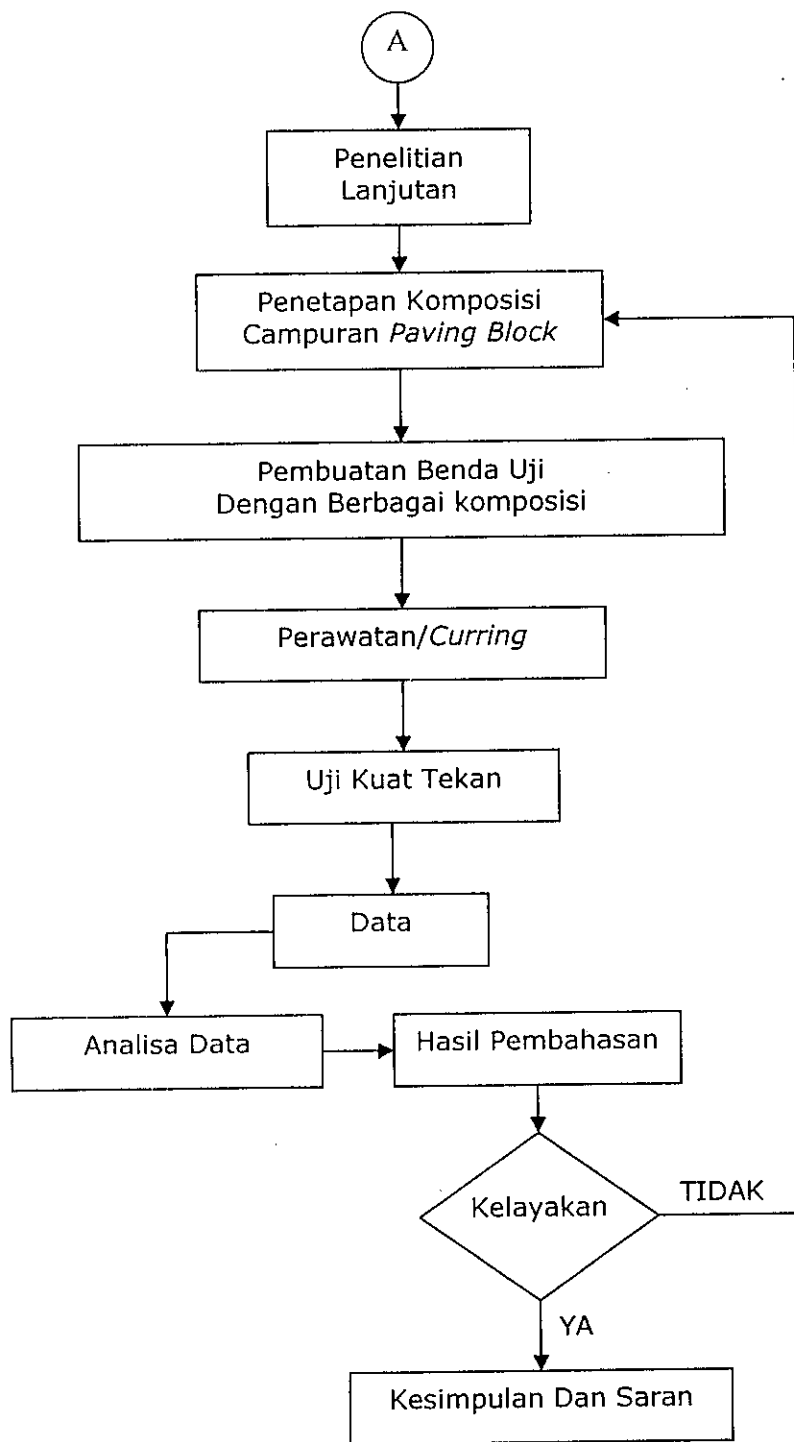
### 3.8. Analisis Data

Data yang diperoleh pada penelitian tersebut, kemudian dianalisis secara statistik untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh (interaksi) antara variabel sebagai berikut :

- a. Hubungan antara komposisi campuran Semen : pasir : abu batu : limbah bubuk marmer dengan uji kuat tekan
- b. Hubungan/korelasi antara umur *paving block* dengan uji kuat tekan

### 3.9. Diagram Alir Penelitian



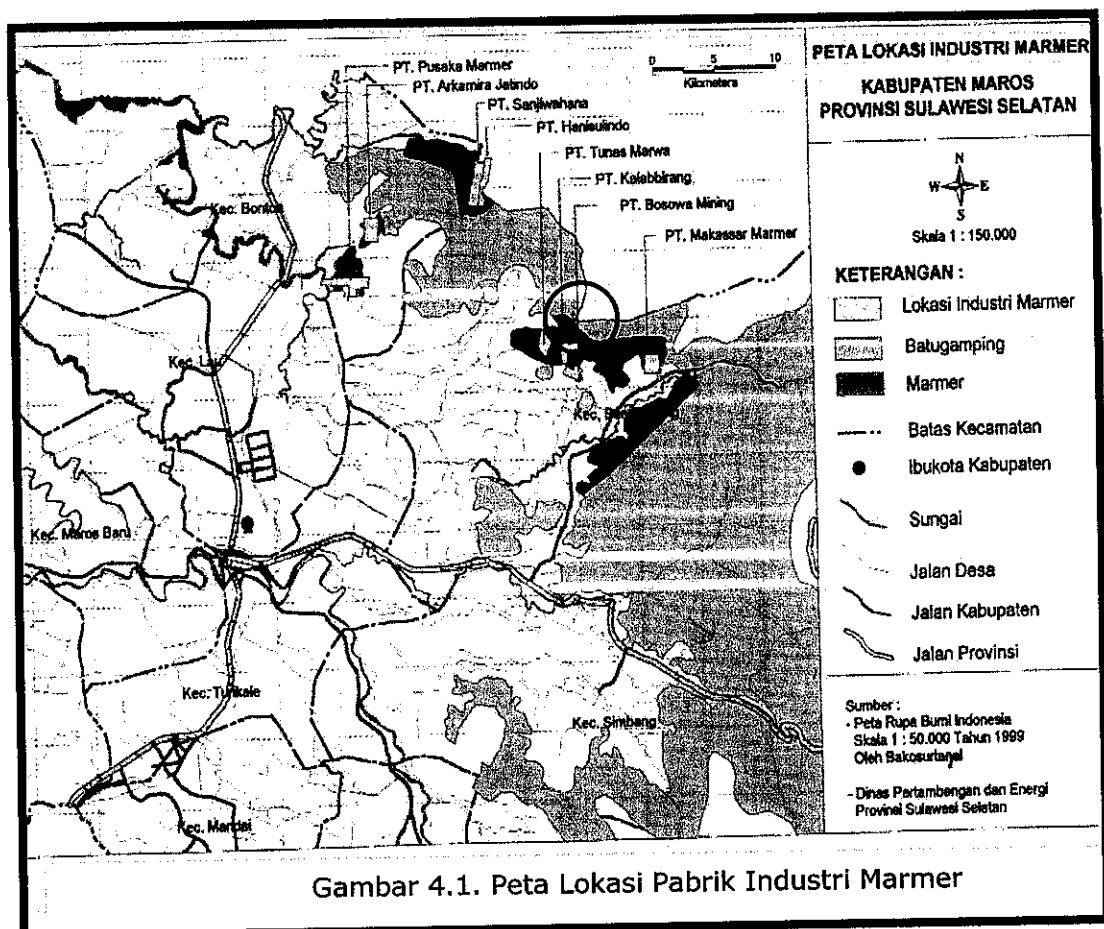


Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1. GAMBARAN LOKASI INDUSTRI MARMER

Industri marmer khususnya PT. Bosowa Mining yang menjadi objek penelitian yang berada di Provinsi Sulawesi Selatan, Kabupaten Maros, desa Leang-leang Kecamatan Bantimurung. Lokasi ini dapat dicapai dengan kendaraan beroda empat atau dua dengan jarak tempuh  $\pm$  45 Km dari kota Makassar. Luas lokasi industri marmer  $\pm$  5 Ha, sedangkan untuk pembuangan limbah bubuk marmer  $\pm$  2 Ha yang ada di sekitar industri marmer tersebut.(gambar 4.1).



## 4.2. Data Awal Penelitian

### a. Pengujian Limbah Marmer

Tujuan dari pengambilan data limbah bubuk marmer adalah untuk mengidentifikasi unsur senyawa yang ada, dengan komposisi senyawa sebagai berikut (Tabel 4.1).

Tabel 4.1. Unsur-unsur Limbah bubuk marmer

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
1.	Silikon dioksida (SiO <sub>2</sub> )	%	0,26	SNI.15-2049-1994 Butir 6.1.4.2
2.	Kalsium oksida (CaO)	%	53,90	SNI.15-2049-1994 Butir 6.1.4.9
3.	Magnesium oksida (MgO)	%	0,19	SNI.15-2049-1994 Butir 6.1.4.10

Sumber : Balai Riset dan Standardisasi Industri dan Perdagangan Makassar

Hasil dari Metode pengujian yang berdasarkan SNI.15-2049-1994, dari data tersebut menunjukkan bahwa kandungan atau komponen yang terbesar adalah Kalsium oksida (CaO), sedangkan senyawa-senyawa lainnya seperti Silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>) dan Magnesium Oksida (MgO) relatif kecil kandungannya dan dapat diabaikan pengaruhnya. Adanya kandungan CaO yang paling dominan maka pengamatan lebih dikonsentrasikan pada senyawa kapur tersebut dan tidak terdapat bahan berbahaya dan beracun (B3).

### b. Pengujian bahan baku

Sedangkan untuk hasil pemeriksaan terhadap bahan baku (pasir, semen, dan abu batu) data terlampir.

## 4.3. Uji Kuat Tekan

### 4.3.1. Pengujian Kuat Tekan Paving Biasa

Setelah data awal diperoleh dari hasil pengamatan, limbah bubuk marmer tersebut dapat dijadikan bahan bangunan (*paving block*), maka untuk langkah selanjutnya dengan melakukan uji kuat tekan terhadap *paving*



*block* biasa. Pengujian ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa *paving block* dari limbah yang akan dibuat lebih tinggi atau tidak sama kekuatannya *paving block* biasa yang di pasaran. Hasil pengujian *paving block* biasa pada umur 3,7,14,21, dan 28 hari, dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Biasa

Umur <i>Paving Block</i>	Perbandingan			Kuat Tekan		Rata-rata (Kg/Cm <sup>2</sup> )
	Semen : Pasir : Abu batu			( kN)	(Kg/Cm <sup>2</sup> )	
3 Hari	1.00	4.00	1.00	197	98.50	119.10
7 Hari	1.00	4.00	1.00	206	103.00	
14 Hari	1.00	4.00	1.00	237	118.50	
21 Hari	1.00	4.00	1.00	255	127.50	
28 Hari	1.00	4.00	1.00	318	148.00	

Sumber : Hasil Penelitian 2005

#### 4.3.2. Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Limbah Bubuk Marmer

Untuk Pengujian kuat tekan *paving block* limbah ini, sebagai variabel adalah komposisi dari bahan yang digunakan untuk membuat *paving block* dan umur dari *paving block* tersebut.

Perbandingan untuk semen : pasir : abu batu : limbah bubuk marmer yang merupakan variabel, adalah sebagai berikut :

- a. 1 : 4 : 1 : 0,30
- b. 1 : 4 : 1 : 0,60
- c. 1 : 4 : 1 : 0,90
- d. 1 : 4 : 1 : 1,20
- e. 1 : 4 : 1 : 1,50

Sedangkan untuk variabel umur *paving block* adalah :

- a. 3 Hari
- b. 7 Hari
- c. 14 Hari
- d. 21 Hari

e. 28 Hari

Data dari hasil pengujian kuat tekan *paving block* dengan berbagai variabel komposisi dan umur *paving block* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Limbah Bubuk Marmer

Umur <i>Paving Block</i> (Hari)	Nama Sampel	Perbandingan				Kuat Tekan Rata - Rata	
		Semen : Pasir : Abu Batu : Limbah Bubuk Marmer				( kN)	(Kg/Cm <sup>2</sup> )
3	Komposisi 1	1,00	4,00	1,00	0,30	214	107,00
3	Komposisi 2	1,00	4,00	1,00	0,60	220	110,00
3	Komposisi 3	1,00	4,00	1,00	0,90	237	118,50
3	Komposisi 4	1,00	4,00	1,00	1,20	210	105,00
3	Komposisi 5	1,00	4,00	1,00	1,50	208	104,00
7	Komposisi 1	1,00	4,00	1,00	0,30	235	117,50
7	Komposisi 2	1,00	4,00	1,00	0,60	241	120,50
7	Komposisi 3	1,00	4,00	1,00	0,90	230	115,00
7	Komposisi 4	1,00	4,00	1,00	1,20	220	110,00
7	Komposisi 5	1,00	4,00	1,00	1,50	216	108,00
14	Komposisi 1	1,00	4,00	1,00	0,30	256	128,00
14	Komposisi 2	1,00	4,00	1,00	0,60	260	130,00
14	Komposisi 3	1,00	4,00	1,00	0,90	275	137,50
14	Komposisi 4	1,00	4,00	1,00	1,20	245	122,50
14	Komposisi 5	1,00	4,00	1,00	1,50	230	115,00
21	Komposisi 1	1,00	4,00	1,00	0,30	260	130,00
21	Komposisi 2	1,00	4,00	1,00	0,60	273	136,50
21	Komposisi 3	1,00	4,00	1,00	0,90	280	140,00
21	Komposisi 4	1,00	4,00	1,00	1,20	260	130,00
21	Komposisi 5	1,00	4,00	1,00	1,50	244	122,00
28	Komposisi 1	1,00	4,00	1,00	0,30	322	161,00
28	Komposisi 2	1,00	4,00	1,00	0,60	350	175,00
28	Komposisi 3	1,00	4,00	1,00	0,90	365	182,50
28	Komposisi 4	1,00	4,00	1,00	1,20	350	175,00
28	Komposisi 5	1,00	4,00	1,00	1,50	342	171,00

Sumber : Hasil Penelitian 2005

Tabel 4.3. Pengujian Kuat Tekan *Paving Block* Limbah Bubuk Marmer adalah hasil perhitungan kuat tekan *paving block* dengan menggunakan limbah bubuk marmer yang mempunyai kadar yang bervariasi pada umur 3,7,14,21, dan 28 hari.

Dari tabel 4.3. dapat dilihat, bahwa :

- ❖ Kuat Tekan yang paling rendah adalah 104 Kg/Cm<sup>2</sup> yaitu umur 3 hari dengan perbandingan Semen : Pasir : Abu batu : Limbah bubuk marmer = 1 : 4 : 1 : 1,50 (komposisi 5)
- ❖ Kuat Tekan yang paling tinggi adalah 182,50 Kg/Cm<sup>2</sup>, yaitu *paving block* dengan perbandingan (komposisi 3) Semen : Pasir : Abu batu : Limbah = 1 : 4 : 1 : 0,9 dengan umur 28 hari
- ❖ Sedangkan kuat tekan rata - rata, dari umur 3 hari sampai 28 hari dengan berbagai komposisi adalah 130,86 Kg/Cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.3. Hubungan Kuat Tekan dan Umur *Paving block*

Berdasarkan data yang diperoleh dari percobaan seperti tabel 4.3, maka dengan menggunakan statistik (*one way anova*), hubungan antara kuat tekan rata-rata dan umur *paving block* pada berbagai komposisi dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel. 4.4. Hubungan Kuat tekan Terhadap Umur *Paving Block* Limbah Bubuk Marmer

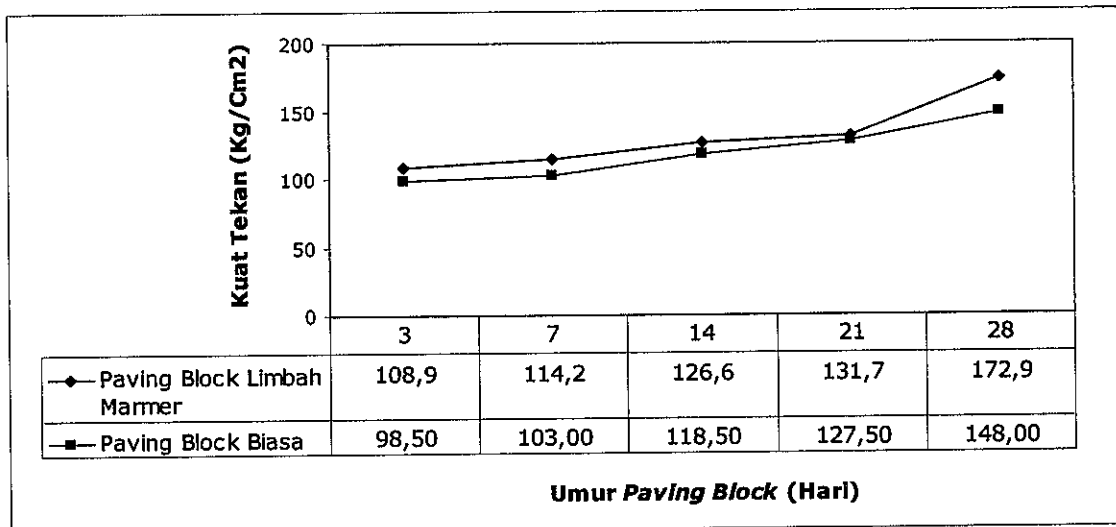
**Descriptives**

Kuat Tekan	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					3 hari	5		
7 hari	5	114.2000	5.17929	2.31625	107.7691	120.6309	108.00	120.50
14 hari	5	126.6000	8.42170	3.76630	116.1431	137.0569	115.00	137.50
21 hari	5	131.7000	6.92459	3.09677	123.1020	140.2980	122.00	140.00
28 hari	5	172.9000	7.84538	3.50856	163.1587	182.6413	161.00	182.50
Total	25	130.8600	23.88799	4.77760	120.9995	140.7205	104.00	182.50

Dari tabel 4.4 dapat dijelaskan bahwa :

- ❖ Kuat Tekan yang paling rendah adalah 108,9 Kg/Cm<sup>2</sup>, (umur 3 Hari).
- ❖ Kuat Tekan yang paling tinggi adalah 172,9 Kg/Cm<sup>2</sup>, (umur 28 hari)).
- ❖ Sedangkan kuat tekan rata – rata, dari umur 3 hari sampai 28 hari dengan berbagai komposisi adalah 130,86 Kg/Cm<sup>2</sup>.

Sedangkan hubungan antara kuat tekan dengan umur *paving block* limbah bubuk marmer dan *paving block* biasa dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini :

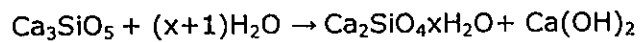
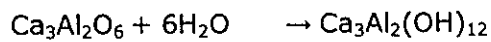


Gambar 4.2. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Umur *Paving Block* dari hasil pengujian pada tabel 4.2 dan tabel 4.3

Pada gambar diatas menunjukkan peningkatan kekuatan tekan *paving block* limbah bubuk marmer lebih besar dari *paving block* biasa untuk masing-masing umur *paving block*, hal ini karena limbah bubuk marmer yang selain berfungsi untuk menambah distribusi pengikatan, juga sebagai bahan pengisi yang sama cukup baik dalam hal mengisi rongga-rongga dalam campuran. Peningkatan kekuatan tekan pada paving block limbah bubuk marmer yang cukup signifikan antara umur 21 hari dan 28 hari, sehingga terjadi pengerasan yang cukup sempurna. Sesuai dengan persyaratan pada

fisis bata beton pejal, maka *paving block* limbah bubuk marmer yang kuat tekannya rata-rata 130,86 Kg/Cm<sup>2</sup> termasuk untuk standar mutu I yang berarti digunakan untuk konstruksi memikul beban dan bisa digunakan juga untuk konstruksi yang tidak terlindung. Seperti yang diketahui bahwa kekuatan tekan *paving block*, selain dipengaruhi oleh komposisi kadar campuran yang membentuknya maka bahan pengikat yaitu semen merupakan bahan yang paling dominan dalam memberikan kontribusi terhadap kuat tekan.

Dimana semen bercampur dengan air, maka akan terjadi reaksi kimia hidrasi yang bersifat *exothermic* atau melepaskan panas, menurut reaksi sebagai berikut :



Dari reaksi diatas, maka dapat dijelaskan bahwa proses pengerasan semen bukan karena pengeringan akan tetapi karena proses hidrasi, oleh karena itu bata beton (*paving block*) sebaiknya harus tetap basah untuk menjamin pengerasannya sempurna.

Semen yang ditambah air pada proses pembuatan *paving block* akan saling bereaksi, persenyawaan ini dinamakan proses hidrasi, atau disebut hidrasi semen. Semen yang terkena air akan cepat bereaksi dan menghasilkan panas. Panas tersebut akan mempengaruhi kecepatan pengerasan terutama pada 14 hari, selanjutnya panas tersebut akan berkurang sehingga konstan pada saat umur 28 hari. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian uji kuat tekan dari suatu benda uji yang bahan pengikatnya menggunakan semen sebaiknya dilakukan pada umur 3 sampai 28 hari.

#### 4.3.4. Hubungan Kuat Tekan dengan komposisi Bahan *Paving Block*

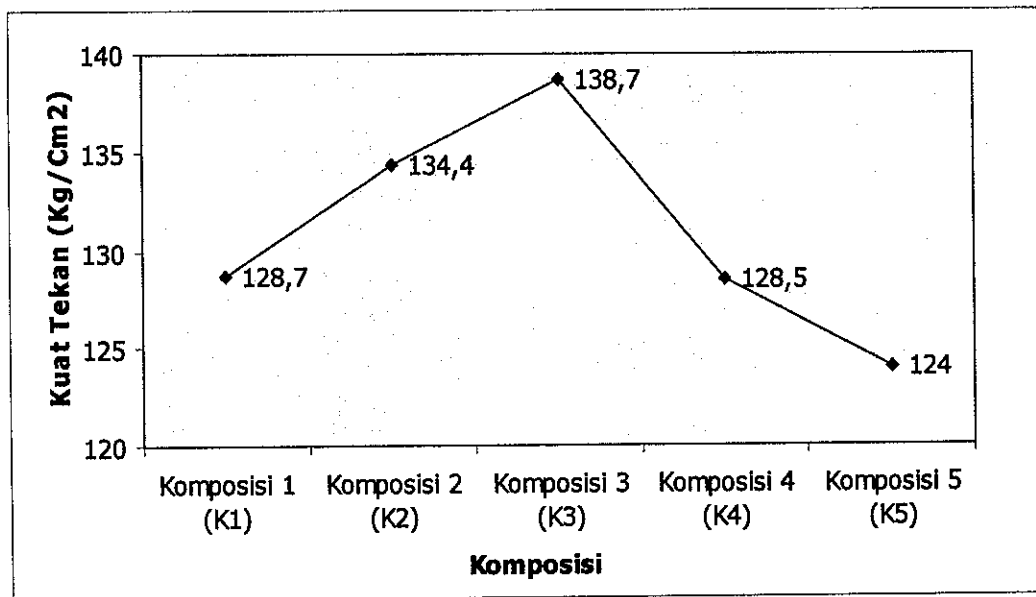
Hasil data yang diperoleh dari percobaan pada tabel 4.5. maka dengan menggunakan statistik (*one way anova*), hubungan antara kuat tekan rata-rata dan komposisi bahan *paving block* pada berbagai umur dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel. 4.5. Hubungan Kuat tekan Terhadap Komposisi Bahan *Paving block*

Descriptives								
Kuat Tekan								
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
komposisi 1	5	128.7	20.25957	9.060	103.5444	153.8556	107.0	161.0
komposisi 2	5	134.4	24.80272	11.09	103.6034	165.1966	110.0	175.0
komposisi 3	5	138.7	26.88540	12.02	105.3174	172.0826	115.0	182.5
komposisi 4	5	128.5	27.81636	12.44	93.9614	163.0386	105.0	175.0
komposisi 5	5	124.0	27.15695	12.14	90.2802	157.7198	104.0	171.0
Total	25	130.9	23.88799	4.778	120.9995	140.7205	104.0	182.5

Dari data hasil uji statistik, maka dapat dijelaskan :

- ❖ Kuat tekan terendah pada komposisi 5 (K5), yaitu sebesar : 124 Kg/Cm<sup>2</sup>
- ❖ Kuat tekan tertinggi pada komposisi 3 (K3), yaitu sebesar :  
138,7 Kg/Cm<sup>2</sup>
- ❖ Kuat tekan rata – rata adalah : 130,86 Kg/Cm<sup>2</sup>



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Kuat Tekan dan Komposisi Bahan *Paving Block*

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar limbah bubuk marmer yang ditambahkan sebagai bahan campuran atau pengisi bahan pembuatan *paving block*, maka kuat tekannya semakin menurun.

Dalam hal ini grafik dari komposisi 1 (K1) menuju ke komposisi 2 (K2) dan ke komposisi 3 (K3) naik, sedangkan pada komposisi 4 (K4) nilai kuat tekan semakin turun demikian seterusnya hingga mencapai titik minimum pada komposisi 5 (K5). Hal ini berarti jumlah limbah bubuk marmer yang ditambahkan mempunyai batasan maksimum untuk ditambahkan sebagai bahan pengisi *paving block*.

Dengan keterbatasan limbah bubuk marmer tersebut sebagai bahan pengisi *paving block* dimana fungsi dari limbah marmer yang dipakai sebagai bahan baku *paving block* adalah sebagai pengganti (substitusi) sebagian semen. Maka pasta semen akan mengisi setiap ruangan bersama limbah marmer. Sehingga fungsi semen sebagai bahan pengikat antara material sebagian akan berganti oleh kehadiran limbah marmer, yang mengakibatkan proses

pengikatan (*setting*) semen tidak berlangsung secara sempurna. Dan kemungkinan rongga kosong yang tidak terisi juga akan semakin banyak, sehingga kekuatan dari *paving block* seiring bertambahnya limbah bubuk marmer tersebut juga akan menurun.

Dampak pada konstruksi tidak dapat dipakai pada tempat yang memiliki beban - beban besar, akan mengakibatkan *paving block* tersebut cepat mengalami keretakan. Khususnya digunakan pada area seperti halaman, jalan alternatif untuk kendaraan bermotor, trotoar, dan lain -lain.

#### 4.4. Perhitungan Analisis Biaya (Keuntungan dan Kerugian) Limbah bubuk Marmer

##### A. Biaya yang dikeluarkan jika limbah bubuk marmer tidak dimanfaatkan.

➤ Jumlah limbah marmer perhari	= 5,00 m <sup>3</sup>
➤ Biaya pekerja untuk menaikkan limbah marmer ke lahan per m <sup>3</sup>	= Rp. 25.000,-
➤ Biaya transportasi limbah marmer ke lokasi Penampungan per m <sup>3</sup>	= Rp. 15.000,-
➤ Biaya operasional di lokasi penampungan per m <sup>3</sup>	= Rp. 10.000,-
➤ Sewa lahan penampungan per m <sup>3</sup>	= <u>Rp. 20.000,-</u>
<b>JUMLAH</b>	= Rp. 70.000,-
Biaya yang dikeluarkan perhari 5 x 70.000	= Rp. 350.000,-

##### B. Biaya pembuatan *paving block* biasa

###### Bahan yang digunakan :

➤ Komposisi campuran ( Semen : Pasir : Abu batu )	= 1 : 4 : 1
➤ Berat volume campuran pasta <i>paving block</i>	= 2.400 kg/m <sup>3</sup>
➤ Semen = 1/6 x 2400	= 400 kg
➤ Pasir = 4/6 x 2400 = 1600 kg atau 1600/1410	= 1,13 m <sup>3</sup>
➤ Abu batu = 1/6 x 2400 = 400 kg atau 400/1.319	= 0,30 m <sup>3</sup>



### Biaya pembuatan *paving block* biasa per m<sup>3</sup>

➤ Semen = 400 / 40 x 40.000	= Rp. 400.000,-
➤ Pasir = 1,13 x 30.000	= Rp. 33.900,-
➤ Abu batu = 0,30 x 70.000	= Rp. 21.600,-
➤ Tenaga kerja per m <sup>3</sup>	= Rp. 14.000,-
➤ Peralatan campuran per m <sup>3</sup>	= <u>Rp. 7.500,-</u>
<b>JUMLAH</b>	= Rp. 476.000,-

Volume untuk 1 buah *paving block* = 20 x 10 x 6 = 0,0012 m<sup>3</sup>

1 m<sup>3</sup> campuran dapat menghasilkan *paving block* 1 / 0,0012 = 833 buah

**Biaya per buah *paving block* biasa = 476.000 / 833 = Rp. 571,-**

### C. Biaya pembuatan *paving block* limbah marmer

#### Bahan yang digunakan :

- Komposisi campuran ( semen : pasir : abu batu : limbah marmer ), 1 : 4 : 1 : 15 % diambil 15 % karena pada komposisi ini menghasilkan kuat tekan yang optimum atau 1 : 4 : 1 : 15 % ( 1 + 4 + 1 ) = 1 : 4 : 1 : 0,90.
- Semen = 1/6,9 x 2400 = 347,83 kg
- Pasir = 4/6,9 x 2400 = 1,391 kg atau 1.319/1.410 = 0,99 m<sup>3</sup>
- Abu batu = 1/6,9 x 2400 = 347,83 kg atau 347,83/1.319 = 0,26 m<sup>3</sup>
- Limbah marmer = 0,9/6,9 x 2400 = 313,04/2.610 = 0.12 m<sup>3</sup>

### Biaya pembuatan *paving block* limbah bubuk marmer per m<sup>3</sup>

➤ Semen = 347,83 / 40 x 40.000	= Rp 347.830,-
➤ Pasir = 0,99 x 30.000	= Rp. 29.700
➤ Abu batu = 0,26 x 70.000	= Rp. 18.200,-
➤ Limbah marmer = 0,12 x 10.000	= Rp. 1.200,-
➤ Tenaga kerja per m <sup>3</sup>	= Rp. 14.000,-
➤ Peralatan campuran per m <sup>3</sup>	= <u>Rp. 7.500,-</u>
<b>JUMLAH</b>	= Rp. 418.430,-

**Biaya per buah *paving block* limbah bubuk marmer = 418.430/833**

**= Rp. 502,-**

➤ Untuk 5 m<sup>3</sup> limbah per hari menghasilkan  $5/0,12 \times 833 = 34.708$  buah *paving block*

➤ Biaya produksi 5 m<sup>3</sup> limbah bubuk marmer =  $34.708 \times 502 =$   
Rp.12.403.416,-

➤ Bila 1 buah *paving block* limbah bubuk marmer dijual dengan harga Rp. 900,- maka dalam 5 m<sup>3</sup> limbah bubuk marmer akan memberikan keuntungan sbb :

- Harga jual *paving block* =  $34.708 \times 900 =$  Rp. 31.237.200,-

- biaya produksi = Rp.12.403.416,-

Keuntungan pemanfaatan 5 m<sup>3</sup> limbah bubuk marmer =  
**Rp.18.833.784,-**

Pemanfaatan limbah bubuk marmer untuk pembuatan *paving block* akan memberikan manfaat ganda, yaitu selain mendatangkan keuntungan untuk 5 m<sup>3</sup> yang terbuang perhari sebesar Rp.18.833.784,-, maka penghematan biaya operasional setiap harinya (untuk biaya penampungan limbah bubuk marmer bilamana limbah tersebut tidak dimanfaatkan) sebesar Rp. 350.000,-. Bila dibandingkan biaya produksi untuk setiap paving blok yang menggunakan limbah marmer dan paving blok biasa terlihat pengiritan biaya sebesar Rp. 69,- per buah, sehingga bila produksi paving blok sebanyak produksi limbah 5 m<sup>3</sup> perhari, maka akan terjadi pengurangan biaya produksi sebesar =  $34.708 \text{ buah} \times \text{Rp. } 69,- = \text{Rp. } 2.394.852,-$

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Dari hasil pengujian dan pembahasan terhadap permasalahan limbah industri marmer, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pemanfaatan limbah bubuk marmer sebagai bahan pencampuran pembuatan *paving block* menggunakan komposisi campuran pasir : semen : abu batu : limbah bubuk marmer (1 : 4 : 1 : 0,9), maka setiap produksi dapat mengurangi terbentuknya limbah bubuk marmer.
2. Kualitas bahan *paving block* yang menggunakan campuran limbah bubuk marmer dengan hasil uji kuat tekan (pengujian laboratorium), menunjukkan peningkatan kekuatan yang lebih besar (172,9 Kg/Cm<sup>2</sup>) dibandingkan *paving block* biasa yang dijual dipasaran (119,10 Kg/Cm<sup>2</sup>) dengan komposisi campuran yaitu pasir : semen : abu batu (1:4:1).

#### **V.2. Saran**

Dari hasil observasi langsung ke lokasi produksi batu marmer di PT. Bosowa Mining ada beberapa hal yang dapat di rekomendasikan :

1. Perlu melakukan optimasi pengelolaan limbah marmer dengan membuat *treatment area* yang dikelola dengan profesional agar tercipta ruang yang secara estetika ramah lingkungan.
2. Memberikan kesempatan kepada masyarakat setempat (khususnya Desa Leang-leang) untuk memanfaatkan limbah bubuk marmer sisa produksi marmer menjadi bahan yang bernilai ekonomis, seperti pembuatan *Paving block*.

3. Memberdayakan masyarakat dalam pembuatan *paving block* di sekitar Desa leang-leang Kab. Maros.
4. Perlu perhatian pemerintah setempat, khususnya Pemerintah kabupaten Maros memberikan arahan terhadap arti penting *Cleaner production* kepada pihak pengusaha tambang dalam rangka mewujudkan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) berwawasan lingkungan, sekaligus dapat menambah PAD melalui efisiensi pemanfaatan Sumber Daya Alam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1971. ***Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (N.I-2)***, penerbit Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Anonim, 1982. ***Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia***, pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Indonesia, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Bandung.
- Anonim, 1997. ***Potrer Maros***, Kantor Bappeda Kabupaten Maros, Maros.
- Anonim, 1989. ***Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)***, Yayasan LPMB, Bandung.
- Anonim, 1990. ***Spesifikasi Bahan Tambahan untuk Beton, Standar SK-SNI S-18-1990-03***, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim, 1990. ***Tata Rencana Campuran Beton Normal SK SNI T-15-1990-03***, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Anonim, 2003. ***Laporan Pemetaan geologi kawasan kars peruntukan taman nasional Bantimurung Kabupaten Maros Provinsi Sulawesi Selatan***, Sub Dinas Geologi dan Sumberdaya Mineral Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Sulawesi Selatan, Makassar.
- Margawidjaya.K.A, 1991. ***Direktorat Sumberdaya Mineral Dalam Penyelidikan Sumberdaya Mineral di Indonesia Kolokium***, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.

- Purwanto, 2004. ***Produksi Bersih dan Eco-efficiency Sektor Menuju Pembangunan Berkelanjutan***, Talk Show Penerapan Produksi Bersih Sektor Industri Menuju Eco-efficiency, Semarang.
- Sunu.P, 2001. ***Melindungi Lingkungan Dengan Menerapkan ISO 14001***, Grasindo, Jakarta.
- Tjokrodimuljo, K, 1996. ***Teknologi Beton***, PT. Nafri, Ypgyakarta.
- Tri M, 2004. ***Teknologi Beton***, Penerbit ANDI, Yogyakarta.