

TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN LIMBAH GYPSUM SEBAGAI MATERIAL PLESTER
BANGUNAN RAMAH LINGKUNGAN**



STEFANUS ENGGARJATI YUDA PAMBUKA

D12113009

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

JL. POROS MALINO. KM.6 BONTOMARANNU KAB. GOWA

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Judul : **Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Material Plester Bangunan Ramah Lingkungan**

Disusun Oleh :

Nama : **Stefanus Enggarjati Yuda Pambuka** D121 13 009

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 11 Agustus 2020

Pembimbing I

Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T.
NIP. 19721119 200121001

Pembimbing II

Dr. Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.T.
NIP. 198604092019043001

Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan



Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.
NIP. 197204242000122001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan tugas akhir yang berjudul **“Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Material Plester Bangunan Ramah Lingkungan”** sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Strata Satu Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian secara langsung.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini berkat bantuan dari berbagai pihak, utamanya dosen pembimbing saya :

Pembimbing I : Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T

Pembimbing II : Dr. Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.T

Dengan segala kerendahan hati, saya juga ingin mengucapkan mengucapkan terima kasih serta penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Ayahanda Dodik Hendarwan A.Md. Ars dan Ibunda Puji Rahayu tercinta atas segala kasih sayang, pengorbanan dan doa serta dukungan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing serta segala arahan yang diberikan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan
5. Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.T., selaku pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing serta segala arahan yang diberikan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan
6. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

7. Bapak Dr. Eng. Ir. A. Arwin Amiruddin, S.T., M.T., selaku penanggung jawab Laboratorium Struktur dan Bahan yang telah mengizinkan menggunakan laboratorium.
8. Seluruh Asisten Laboratorium Struktur dan Bahan yang membantu dalam menguji benda uji penelitian.
9. Maria Skolastika Priska Majeng, A.Md. Farm., yang selalu menemani, mendoakan dan memberikan dukungan serta motivasi sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
10. Kelompok Sel *Charming* C1, yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari tugas akhir ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat menghargai apabila pembaca dapat memberikan sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhir kata segala Puji Syukur Bagi Tuhan Yang Maha Esa dan semoga Tuhan melimpahkan berkat-Nya kepada kita, dan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat. Terima Kasih. Tuhan memberkati.

Makassar, Agustus 2020

Penulis

ABSTRAK

STEFANUS ENGGARJATI YUDA PAMBUKA. *Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Material Plester Bangunan Ramah Lingkungan* (Dibimbing oleh **Irwan Ridwan Rahim dan Akbar Caronge**)

Gypsum adalah material yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan dengan beragam aplikasinya. Limbah gypsum bila dibuang sembarangan dapat mengganggu saluran pernapasan akibat serbuknya, juga kandungan sulfat yang dapat menyebabkan gas hidrogen sulfat dan lindi

Penelitian ini bertujuan menguji dan menganalisis komposisi plester bangunan dengan penambahan limbah gypsum sebagai substitusi gypsum konvensional. Penelitian ini mengambil sampel dari salah satu produsen Ornamen Gypsum di Kabupaten Gowa.

Hasil penelitian menunjukkan substitusi limbah gypsum terhadap gypsum konvensional dalam penggunaan plester dengan berbagai variasi menghasilkan nilai untuk nilai kuat tekan mengalami penurunan seiring semakin banyaknya limbah gypsum yang digunakan disertai penambahan air yang digunakan. Nilai berat jenis plester juga mengalami penurunan, yang dimana semakin rendah berat jenis plester, maka semakin rendah pula nilai kuat tekan yang dihasilkan. Untuk nilai kandungan air, semakin banyak limbah gypsum yang digunakan maka akan semakin besar persentase penyerapan air pada plester, yang mengakibatkan nilai kuat tekan semakin rendah. Hasil plester 50% dengan campuran air 375 mL merupakan komposisi yang baik karena bentuk adonan yang dihasilkan mendekati adonan plester gypsum konvensional, dapat menghemat hingga 50% dari penggunaan gypsum konvensional, serta hasil plester yang diperoleh telah memenuhi standar plester gypsum berdasarkan ASTM C28/C 28M, Standard Specification for Gypsum Plasters untuk *Mill-Mixed Plaster over Masonry*.

Kata Kunci: Gypsum, Limbah Gypsum, Plester, ASTM C28/C 28M

ABSTRACT

STEFANUS ENGGARJATI YUDA PAMBUKA. *Utilization of Gypsum Waste as an Environmentally Friendly Building Plaster Material (Supervised by Irwan Ridwan Rahim and Akbar Caronge)*

Gypsum is a material that is widely used in building construction with a variety of applications. Gypsum waste when disposed of carelessly can interfere with the respiratory tract due to the powder, as well as sulfate content which can cause hydrogen sulfate gas and leachate

This study aims to test and analyze the composition of building plaster with the addition of gypsum waste as a substitute for conventional gypsum. This study took samples from one of the Gypsum ornament producers in Gowa Regency.

The results showed that the substitution of gypsum waste against conventional gypsum in the use of plaster with various variations resulted in a decrease in the value for compressive strength as more and more gypsum waste was used along with the addition of water used. The density value of the plaster also decreased, where the lower the density of the plaster, the lower the value of the resulting compressive strength. For the water content value, the more gypsum waste used, the greater the percentage of water absorption in the plaster, which results in a lower compressive strength value. The result of 50% plaster with 375 mL water mixture is a good composition because the shape of the dough is close to conventional gypsum dough, it can save up to 50% from the use of conventional gypsum, and the results obtained have met the standard of gypsum plaster based on ASTM C28 / C 28M , Standard Specification for Gypsum Plasters for Mill-Mixed Plaster over Masonry.

Keywords: *Gypsum, Waste Gypsum, Plaster, ASTM C28 / C 28M*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	3
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Gypsum	5
B. Limbah Gypsum	8
C. Jenis Produk Gypsum	10
1. Balok Dinding Gypsum	10
2. Papan Gypsum	11

3. Elemen Dekoratif	12
4. Aplikasi Gypsum Lainnya	14
D. Kuat Tekan Plester Gypsum	14
E. Tinjauan Terhadap Lingkungan	15
1. Dampak Negatif Limbah Gypsum	15
2. Dampak Positif Limbah Gypsum	16
3. Penggunaan Kembali Limbah Gypsum	19
 BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Bagan Alir Penelitian	26
B. Tempat Dan Waktu Penelitian	28
C. Jenis Penelitian Dan Sumber Data	28
D. Alat Dan Bahan	29
E. Benda Uji	33
F. Prosedur Penelitian	34
 BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Potensi Limbah Gypsum	40
B. Workability Plester	46
C. Kuat Tekan Plester	48
D. Kandungan Air Plester	51
 BAB V. PENUTUP	
A. Kesimpulan	54
B. Saran	55

DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Komposisi Kimia dari Gypsum	8
2. Komposisi dan Sifat Fisik (ASTM C 28/C 28M – 00)	15
3. Jadwal Penelitian	28
4. Rancangan Campuran Plester	34
5. Jumlah Benda Uji	37
6. Data Kebutuhan Gypsum di Indonesia	40
7. Substitusi Limbah Gypsum	47
8. Kuat Tekan Plester	48
9. Berat Jenis Plester	50
10. Kandungan Air Plester	51

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Serbuk Gypsum	8
2. Bagan Alir Penelitian	27
3. Universal Testing Machine kapasitas 1000 kN	29
4. Cetakan	29
5. Gelas Ukur	30
6. Timbangan Digital	30
7. Skrape	30
8. Palu	31
9. Mangkok	31
10. Stopwatch	31
11. Oven	32
12. Gypsum	32
13. Limbah Gypsum	32
14. Sampel Gypsum	33
15. Penimbangan Bahan Material	35
16. Adonan Gypsum Yang Telah Tercampur Dan Siap Dicetak	35
17. Gypsum Yang Sudah Dicetak	36
18. Gypsum Di Ruang Penyimpanan	36
19. Proses Pengeringan Di Dalam Oven	38
20. Ruang Pembuatan Ornamen Gypsum	41
21. Pelumuran Minyak Pada Cetakan	42

22. Pencampuran Casting Dengan Air	42
23. Penuangan Adonan Pada Cetakan	42
24. Pemberian Roving Atau Serat	43
25. Penuangan Kembali Adonan Pada Cetakan	43
26. Ornamen Gypsum Sudah Selesai Dicitak	43
27. Limbah Gypsum	44
28. Grafik Kebutuhan Air	46
29. Perbandingan Penggunaan Air	47
30. Grafik Kuat Tekan Plester	48
31. Pengujian Kuat Tekan	49
32. Hasil Uji Kuat Tekan	49
33. Grafik Berat Jenis Plester	51
34. Grafik Kandungan Air Plester	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. ASTM C28 / C28M-00, <i>Standard Specification for Gypsum Plasters,</i>	60
2. Dokumentasi Penelitian	64

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gypsum adalah material yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan dengan beragam aplikasinya. Namun sampai sekarang masih menjadi bahan yang kurang dikenal, terutama di tingkat penelitian.

Produksi gypsum yang diekstraksi di Eropa mencapai 21 juta pada tahun 1996. Industri Eropa memiliki 220 pabrik yang menghasilkan produk gypsum dan mempekerjakan, lebih dari 400 000 orang baik secara langsung atau tidak langsung. Di Portugal telah diproduksi sekitar 500 000 ton gypsum untuk setiap daerah sejak 2000 (www.wastebook.org, 2007 dalam Eries, 2007).

Sektor bangunan mengkonsumsi sekitar 95% dari total produksi gypsum. Diperkirakan sekitar 80 hingga 90% penyelesaian pekerjaan interior dan dinding partisi di gedung terbuat dari produk gypsum, seperti plester dan papan gypsum. Menurut mereka sifat termal dan akustik, produk ini berkontribusi secara signifikan untuk kenyamanan jutaan orang. Karena memiliki ketahanan yang luar biasa terhadap api, produk gypsum berkontribusi untuk keamanan bangunan, terutama di gedung-gedung publik. (Eries, 2007).

Sebagai bahan bangunan gypsum digunakan untuk membuat papan gypsum dan profil pengganti triplek dari kayu. Papan gypsum digunakan sebagai salah satu elemen dari dinding partisi, ornamen pada dinding bangunan dan pelapis plafon. (Putri, 2018).

Gypsum juga salah satu limbah industri yang sering kita jumpai. Limbah gypsum dapat berwujud padat dan lumpur. Salah satu penghasil limbah gypsum adalah produsen Ornamen Gypsum di Kabupaten Gowa yang produksinya menggunakan bahan utama gypsum.

Kandungan limbah gypsum yang berbahaya adalah sulfat yang dapat menyebabkan gas dan lindi. Limbah gypsum tetapi ketika dicampur dengan

limbah organik dan terkena hujan di lingkungan anaerob, gas hidrogen sulfida cenderung berkembang. (Gypsum Recycling Internasional)

Gypsum juga mengandung unsur radionuklida Th dan K. Dimana kedua radionuklida ini masing-masing menghasilkan anak luruh gas Radon (Rn). Pengendapan gas radon ini akan menimbulkan kanker paru-paru. (Ratnawati, 2016)

Sejumlah besar sampel debu gipsum ditemukan di bersama dengan komponen lain setelah Perdagangan Dunia Center Collapse. Tikus, yang terpapar konsentrasi tinggi dari debu gipsum, berkembang menjadi radang paru-paru ringan dan sedang serta mengalami hiperresponsivitas saluran nafas. (Brun, 2013)

Dilihat dari bahaya limbah gipsum yang ada maka perlu dimaksimalkan penanganan serta pengolahan limbah gipsum. Salah satu bentuk pengolahan yang dilakukan untuk memanfaatkan limbah tersebut adalah dengan penggunaan kembali (*reuse*) limbah gipsum tersebut, khususnya sebagai bahan dalam plester bangunan yang ramah lingkungan.

Untuk itu, penulis mencoba untuk menggunakan kembali limbah gipsum dengan menambahkan serbuk gipsum sebagai bahan substitusi sebagian gipsum yang diharapkan dapat mereduksi tingkat penggunaan gipsum dengan tidak mengurangi mutu pada plester bangunan dan mengurangi limbah gipsum yang ada untuk menjaga lingkungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis melakukan penelitian dengan judul:

“Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Material Plester Bangunan Ramah Lingkungan“

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan di atas, maka diambil rumusan masalah,

1. Bagaimana pengaruh pemanfaatan limbah gipsum dalam penggunaan plester bangunan berbahan gipsum terhadap lingkungan ?

2. Bagaimana pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap kuat tekan plester bangunan berbahan gypsum ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan limbah gypsum pada karakteristik plester bangunan berbahan gypsum terhadap lingkungan
2. Mengetahui presentasi maksimum substitusi limbah gypsum terhadap plester bangunan berbahan gypsum.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian ini berjalan dengan baik dan sesuai dengan rencana, maka penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penambahan gypsum sebagai bahan plester bangunan berbahan gypsum dengan variasi 0%, 25%, dan 50% dari kadar gypsum total
2. Penelitian ini membuat gypsum berbentuk kubus dengan ukuran dimensi 5 cm x 5 cm x 5 cm.
3. Pengujian kuat tekan dengan alat *Universal Testing Machine* 1000 kN.
4. Pengeringan benda uji pada suhu 35°C dan 105°C
5. Gypsum yang digunakan berupa gypsum yang digunakan oleh produsen ornamen gypsum.
6. Limbah gypsum yang digunakan berasal dari perusahaan pembuat ornamen gypsum yang berlokasi di Kabupaten Gowa

E. Manfaat Penelitian

Diharapkan dari hasil penelitian ini, dapat menciptakan suatu komposisi plester bangunan dengan penambahan limbah gypsum sebagai substitusi gypsum

konvensional. Serta melakukan penggunaan kembali (*reuse*) limbah gypsum dengan mengganti material utama untuk membuat plester bangunan sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

F. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu: Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan dan diakhiri oleh Kesimpulan dan Saran.

Berikut ini merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut di atas:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menyajikan hal - hal mengenai latar belakang masalah, maksud dan tujuan penulisan, rumusan masalah, ruang lingkup dan batasan masalah serta sistematika penulisan yang berisi tentang penggambaran secara garis besar mengenai hal - hal yang dibahas dalam bab - bab berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang kerangka konseptual yang memuat beberapa penulisan sebelumnya yang berkaitan dengan limbah gypsum

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat bagan alir penelitian, tahap - tahap yang dilakukan selama penelitian meliputi alat dan bagan yang digunakan, lokasi penelitian, pembuatan benda uji, perawatan benda uji dan pengujian kuat tekan benda uji gypsum.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang beberapa pengujian yang dilakukan untuk membandingkan tingkat efisiensi penambahan gypsum terhadap kekuatan plester bangunan. Serta tinjauan dampak lingkungan dan biaya yang dihasilkan dari penambahan limbah gypsum dengan terhadap pembuatan plester bangunan.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat kesimpulan singkat mengenai hasil yang diperoleh saat penelitian dan disertai dengan saran - saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Gypsum

Gypsum merupakan salah satu mineral non logam, gypsum terdiri dari calcium sulphate dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Gypsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Gypsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat calcium sulfat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. (Supriatna, S, 1997 dalam Ikhsan, 2013).

Gypsum adalah batu putih yang terbentuk karena pengendapan air laut. Gypsum merupakan mineral terbanyak dalam batuan sedimen dan lunak bila murni. Merupakan bahan baku yang dapat diolah menjadi kapur tulis. Dalam perdagangan biasanya gypsum mengandung 90% $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Kata gypsum itu sendiri berasal dari bahasa Yunani $\mu\alpha\gamma\epsilon\iota\pi\epsilon\acute{\upsilon}\omega$, yang berarti memasak. Disebut demikian karena di daerah Montmartre Paris, pada beberapa abad yang lalu orang-orangnya membakar gypsum untuk berbagai keperluan dan material itu kemudian disebut plester. Karena gypsum merupakan mineral yang tidak larut dalam air dalam waktu yang lama, sehingga gypsum jarang ditemukan dalam bentuk butiran atau pasir, kecuali yang ditemukan di White Sands National Monument di New Mexico AS terdapat 710 km² pasir gypsum putih yang cukup sebagai bahan baku untuk industry dry wall selama 1000 tahun. Gypsum banyak ditemukan diberbagai daerah di dunia yaitu, Jamaika, Iran, Thailand, Spanyol (Penghasil gypsum terbesar di Eropa). Jerman, Italia, Inggris, Irlandia, Ontario, Canada, New York, Michigan, Indiana, Texas, Iowa, Kansas, Oklahoma, Arizona, New Mexico, Colorado, Utah, Nevada, Paris, California, New South Wales Kalimantan dan Jawa Barat. (Johaidin, 2011).

Gypsum diekstraksi dengan tambang terbuka atau dengan penambangan bawah tanah. *Openpit* penggalan lebih umum dan biasanya lebih hemat energi dan sumber daya. Untuk penambangan gypsum bawah tanah, karena peletakan

mineral secara horizontal, sebuah ruangan dan metode penambangan pilar digunakan. Operasi mekanis primer meliputi pengeboran, peledakan, penggalian, penghancuran dan penyaringan primer.

Telah dikembangkan di luar negeri gypsum yang digunakan dalam produksi harus memiliki tidak kurang dari 80% dari $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (atau $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{CaSO}_4$). Produk gypsum sintetis (limbah industri yang mengandung kalsium dalam jumlah besar) diterapkan sebagai pengganti total atau sebagian untuk gypsum alami. Masih ada lagi dari 50 jenis limbah gypsum. Sebagian besar dari mereka dapat dianggap sebagai pengganti untuk gypsum alami. Produk sampingan yang paling umum adalah phosphogypsum, gypsum gas buang dan desulfurisasi (FGD) dan borogypsum. Gypsum sintetis biasanya terdiri dari kalsium sulfat dihidrat, kalsium sulfat hemihydrate dan anhydrite. Anhydrite biasanya membentuk garis datar di dalam endapan gypsum. Anhydrite memiliki struktur kristal yang padat karena tidak adanya air yang mengkristal.

Jumlah total komponen kalsium sulfat bervariasi dalam kisaran 80-98% bobot. Gypsum sintetis juga dapat mengandung zat-zat dari bahan baku (bijih, asam) awal, silika dan komponen lainnya. Gypsum sintetis membutuhkan pengangkatan atau netralisasi kotoran. Terkadang tidak mungkin untuk menghilangkan semua kotoran berbahaya, karena mereka bisa berada di dalam kristal kalsium sulfat. Beberapa gypsum yang mengandung limbah industri, seperti phosphogypsum, memiliki tingkat radioaktivitas yang agak tinggi. Dalam banyak proses pembuatan, sintetis gypsum dipisahkan dalam bentuk lumpur air dari partikel berbutir halus. Mereka punya untuk dikeringkan dan di briket untuk transportasi, yang membutuhkan energi tambahan. (Lushnikova.2016).

Sifat, bentuk dan jenis gypsum menurut (Supriatna, S, 1997 dalam Ikhsan, 2013), adapun sifat fisis gypsum adalah :

- 1) Warna : putih, kuning, abu - abu, merah jingga, hitam bila tidak murni
- 2) Massa jenis : $2,31 - 2,35 \text{ g/cm}^3$
- 3) Keras seperti mutiara terutama permukaan
- 4) Bentuk mineral : *kristalin*, serabut dan *masif*

- 5) Kilap seperti sutera
- 6) Konduktivitasnya rendah

Adapun sifat kimia gypsum adalah:

- 1) Pada umumnya mengandung $\text{SO}_3 = 46,5 \%$; $\text{CaO} = 32,4 \%$; $\text{H}_2\text{O} = 20,9 \%$
- 2) Kelarutan dalam air adalah 2,1 gram tiap liter pada suhu 400°C ; 1,8 gram tiap liter air pada 0°C ; 1,9 gram tiap liter pada suhu $70 - 900^\circ\text{C}$
- 3) Kelarutan bertambah dengan penambahan HCL atau HNO_3

Berdasarkan proses terbentuknya gypsum dibagi menjadi dua jenis yaitu :

1. Gypsum alam, yaitu merupakan mineral hidrous sulfat yang mengandung dua molekul air dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dimana jenis batuanannya adalah *satinspar*, *alabaster*, *gypsite* dan *selenit*, dengan warna bervariasi mulai dari putih, kekuning - kuning sampai abu - abu.
2. Gypsum sintetis, yaitu gypsum yang diperoleh dengan memproses air laut dan air kawah yang banyak mengandung sulfat dengan menambahkan unsur kalsium kedalamnya dan sumber lainnya adalah gypsum sebagai produk sampingan pembuatan *asam fosfat*, *asam sulfat* dan *asam sitrat*.

Gypsum seperti pada **Gambar 1** merupakan bahan yang sering digunakan oleh masyarakat akhir-akhir ini selain harganya murah gypsum juga mudah dibentuk menjadi berbagai macam barang - barang rumah tangga. Gypsum juga merupakan bahan yang sangat mudah didapatkan di alam. Komposisi kimia dari gypsum dapat dilihat pada **tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi Kimia Dari Gypsum

No	Bahan	Kandungan (%)
1	Kalsium (Ca)	23,28
2	Hidrogen (H)	2,34
3	Kalsium oksida (CaO)	32,57
4	Air (H ₂ O)	20,93
5	Sulfur (S)	18,62

Sumber : Sinaga, S, 2009



Gambar 1. Serbuk Gypsum

B. Limbah Gypsum

Saat ini lebih dari 15 juta ton limbah gypsum dibuang di tanah Eropa, Amerika Serikat dan Asia setiap tahun. Ini tidak dapat diterima dari pandangan lingkungan dan politik karena limbah gypsum memiliki kandungan sulfat yang tinggi yang dapat menyebabkan masalah gas hidrogen sulfida di tempat pembuangan sampah.

Gypsum dan dinding gypsum adalah bahan dinding utama yang digunakan di AS dan Eropa, kecuali untuk beberapa negara selatan. Total 80 juta ton gypsum dan papan gypsum diproduksi setiap tahun. Eropa, Amerika Serikat, dan Jepang menyumbang 85 persen. Sebagian besar limbah masih dikirim ke TPA, ini berarti

15 juta ton sampah sedang diisi tanah setiap tahun, atau lebih dari 40.000 ton sampah setiap hari. (<http://gipsrecycling.no/>).

Berdasarkan asumsi meter persegi yang digunakan per kapita di 27 Negara Anggota, diperkirakan bahwa jumlah limbah Gypsum - yang berasal dari konstruksi, renovasi dan pembongkaran sekitar 2.350.000 ton / tahun mencakup 27 negara anggota. Limbah produksi di 27 negara anggota diperkirakan 627.600 ton / tahun, sebagian besar di antaranya didaur ulang di pabrik. Data yang tersedia yang tentang timbulan limbah gypsum sangat terbatas. (Gypsum. 2018).

Karena papan gipsum adalah industri besar, sebagian besar limbah gipsum berasal dari produk dan manufaktur yang terkait papan gipsum. Blok plester dan gipsum juga berkontribusi terhadap limbah gipsum, tetapi pada tingkat yang jauh lebih rendah. Menurut EPA, sumber limbah papan gipsum (dan persentase total terkait) meliputi:

- Limbah Konstruksi Bangunan Gypsum (64%): Jumlah terbesar daur ulang gypsum berasal dari memo papan gypsum yang tidak terpasang dari lokasi konstruksi bangunan. Ini dianggap sebagai limbah bersih, bebas dari kontaminasi.
- Limbah Pasca Konsumen Gypsum: Pembongkaran (14%) dan Renovasi (10%): Limbah pasca konsumen Gypsum terjadi ketika plafon dan papan dinding yang dipasang dikeluarkan selama pembongkaran atau renovasi bangunan. Meskipun tidak lazim memproses gypsum daur ulang dari limbah konstruksi baru, ada sejumlah pendaur ulang Amerika Serikat yang menerima limbah papan gypsum pasca-konsumen. Kurangnya daur ulang dalam kategori ini sering disebabkan oleh masalah kontaminasi. Paku, penutup dinding, dan sebagainya semua harus dipisahkan dari gypsum. Selain itu, masalah kontaminasi timbal dan asbestos yang terkait dengan bangunan tua juga merupakan masalah daur ulang.
- Limbah Pabrik Gypsum (12%): Limbah pabrikan gypsum adalah hasil dari bahan yang ditolak yang dibuat selama pembuatan produk gypsum. Sebagian besar pabrik gypsum mendaur ulang aliran limbah ini sebagai bagian dari protokol penghindaran limbah mereka. (Kozicki. 2020).

Perkembangan teknologi industri di Indonesia diikuti pula dengan permasalahan yang selalu muncul, yaitu masalah limbah. Sebagai contoh pabrik pupuk PT. Petrokimia Gresik dapat menghasilkan limbah gypsum sebanyak \pm 450.000 ton/tahun dan akan berpotensi terjadi pencemaran lingkungan. (Detiknews dalam Suwarno, 2014).

C. Jenis Produk Gypsum

Dalam hal aplikasi, produk gypsum dapat dibagi menjadi beberapa kategori, termasuk walling, insulasi panas, akustik dan dekoratif. Pemrosesan gypsum memungkinkan menggunakan teknik yang berbeda untuk menghasilkan berbagai produk ini: penekanan untuk balok, pengiilingan, ekstrusi untuk panel dan papan, casting untuk elemen dekoratif dan busa gypsum.

Berikut beberapa jenis produk gypsum :

1. Balok Dinding Gypsum

Bahan gypsum biasa dan tahan air, gipsum sintetis dengan berat normal dan beton ringan dapat diterapkan untuk pembuatan Blok dinding gypsum. Balok yang dibuat bisa solid atau berongga. Ukuran umum adalah $390 \times 190 \times 188$ mm. Kekuatan tekan bervariasi dari 2.5 hingga 10 MPa.

Ketika membandingkan ketebalan dinding pasangan bata yang sama tahan panas tetapi dibuat bahan yang berbeda, dinding blok berbasis gipsum biasanya memiliki ketebalan lebih rendah dari tanah liat atau batu bata kapur biasa. Bahkan pada kepadatan rata-rata sama berbasis gypsum dinding memiliki ketebalan lebih rendah dari dinding yang terbuat dari bahan lain seperti batu bata tanah liat berlubang, beton semen claydite.

Blok gypsum busa dapat diproduksi dengan pengikat kedap air atau pengikat itu tidak tahan air. Kepadatan balok bervariasi dari 300 hingga 900 kg / m³ dan kompresif kekuatan 1,5 hingga 10

MPa. Ukuran paling umum adalah $600 \times 300 \times 200$ mm. Mereka diterapkan untuk partisi dan dinding internal. (Lushnikova, 2016).

2. Papan Gypsum

Papan gypsum adalah papan berserat buatan dengan bahan baku utama mineral gypsum. Papan gypsum telah banyak digunakan sebagai pembatas ruangan dan insulasi untuk meredam suara dan panas. Sejalan dengan perkembangan industri properti yang berhubungan dengan bangunan dan perkantoran, maka kebutuhan akan papan gypsum akan semakin meningkat tiap tahunnya. Banyak konsumen memilih papan gypsum sebagai pengganti tembok dan kayu karena lebih ringan dan dapat dimodifikasi dalam waktu cepat (Darwin.2010).

Produk papan gypsum digunakan untuk konstruksi kering interior seperti langit-langit, dinding dan lantai. Elemen-elemen ini mudah dipotong, kedap suara dan stabil secara dimensi. Dimensi papan gypsum yang paling umum adalah $2500 \times 1200 \times 12,5$ mm. Papan bisa tahan air dan tahan api. Partisi melengkung dan elemen langit-langit dapat dibuat untuk penampilan estetika yang lebih halus. Panel yang diperkuat serat (papan serat) digunakan secara luas untuk partisi, langit-langit dan lapisan bawah lantai. Papan dinding dan plafon dipasang pada kerangka baja atau kayu. Panel dan papan juga bisa terpaku pada permukaan yang disiapkan dan halus tanpa kerangka. Panel akustik terbuat dari gypsum yang diperkuat serat atau dengan lapisan bawah wol mineral (Lushnikova.2016).

Ini sejumlah kelebihan plafon gypsum:

- Menghasilkan plafon yang rata dan mulus dan tidak terlihat sambungan.
- Dapat dibuat pelbagai bentuk, contohnya bertingkat (drop/up ceiling), format kubah, dll.

- Dipasaran tidak sedikit tersedia aksesoris dan hiasan, misalnya: lis, dekorasi tengah, dekorasi sudut, dan sebagainya.
- Perawatan dan perbaikan lebih mudah, misalnya: andai ada unsur yang bobrok maka tidak perlu guna mengganti semua lembaran, lumayan dengan membetulkan bagian yang bobrok saja dengan sistem dempul menggunakan kompon (plaster)
- Pemasangan dapat dilaksanakan dengan cepat dan rapi
- Tidak gampang terbakar dan tidak dimakan rayap.
- Bisa dipasang dengan memakai rangka kayu maupun rangka besi (hollow).
- Banyak terdapat dipasaran.

Dan ini sejumlah kekurangan plafon gypsum

- Tidak tahan terhadap air untuk waktu yang lama, andai terjadi kebocoran atap atau rembesan air tentang plafon, maka bakal meninggalkan noda bercak dan bahkan dapat mengakibatkan hancur.
- Tidak tahan benturan (Chandra,2019).

Gypsum sebagai perekat mineral mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan dengan perekat organik karena tidak menimbulkan pencemaran udara, murah, tahan api, tahan deteriorasi oleh faktor biologis dan tahat terhadap zat kimia. Gypsum mempunyai sifat yang cepat mengeras yaitu sekitar 10 menit. Maka dalam pembuatan papan gypsum harus digunakan bahan kimia untuk memperlambat proses pengerasan tanpa mengubah sifat gypsum sebagai perekat (Johaidin, 2011).

3. Elemen dekoratif

Panel dekoratif diproduksi dengan gipsum bangunan berkualitas tinggi dan dimodifikasi dengan polimer. Produksi

gypsum ini digunakan untuk dekorasi interior. Panjang dan lebar khas 600 mm, dan tebal antara 15 dan 25 mm. (Stuccoworks dalam Lushnikova, 2016) (cetakan roset, cornice dan detail dekoratif lainnya) diproduksi oleh pengecoran di gipsium, beton, cetakan logam, kayu atau plastik).

Plester gipsium digunakan untuk finishing interior. Campuran komponen kering yang telah dibuat sebelumnya biasanya 'dikemas kering' sebagai satu komponen. Mereka dicampur dengan air terlebih dahulu sebelum diaplikasikan pada situs konstruksi. Menurut penggunaannya, gypsum plester dapat dibagi, misalnya, menjadi plesteran (lapisan bawah atau finishing), spackling dan lantai (self-levering). Campuran plesteran biasanya terdiri dari β dan hemihidrat yang tidak tahan air, pengikat tahan air (gypsum-semen-pozzolanic), agregat halus kurang berukuran 2,5 mm, campuran bahan kimia khusus dan tambahan mineral. Mereka digunakan untuk menghaluskan permukaan yang berbeda bata dan berat normal dan ringan beton. Plester spackling berisi pengisi berbutir halus dan digunakan untuk mengisi lubang dan untuk menghaluskan cacat permukaan. Karena pengerasan gipsium yang cepat, plester spackling memungkinkan pekerjaan finishing dimulai setelah hanya beberapa jam pengerasan. Plester lantai (self-levering) termasuk α -hemihydrates, anhydrite, Estrich gypsum, dan campuran penurun air serta penahan air. Plester batu digunakan untuk pekerjaan pasangan bata pada panel partisi, di lantai dasar (tidak tahan air) dan pada blok dinding (tahan air).

Dalam renovasi, mortar gipsium-kapur-pasir biasanya digunakan. Plester juga dapat mengandung campuran kapur, vermikulit dan mineral dan kimia. Karena pengerasan gipsium bersifat netral, sebagian besar campuran tidak seefisien semen. Lembaran gipsium busa yang diperkuat serat dan busa polimer

gypsum bersifat isolasi panas (Ferronskaya, 2004 dalam Lushnikova, 2016).

4. Aplikasi Gypsum lainnya

Aplikasi Gypsum memiliki banyak kegunaan sejak zaman prasejarah hingga sekarang, beberapa kegunaan gypsum yaitu : (Tirama,S, 2009 dalam Ikhsan, 2013) Sebagai pengental tofu, karena memiliki kadar kalsium yang tinggi khususnya dibenua Asia diproses secara tradisional. Sebagai penambah kekerasan untuk bahan bangunan, untuk drywall (pelapis dinding), sebagai bahan perekat, penyaring dan sebagai pupuk tanah, untuk bahan baku kapur tulis, sebagai salah satu bahan pembuat portland cement, sebagai indikator padah tanah dan air.

D. Kuat Tekan Plester Gypsum

Kekuatan tekan adalah kemampuan material menerima gaya tekan persatuan luas yang menyebabkan hancur apabila dibebani dengan gaya tekan tertentu oleh mesin tekan. Untuk menentukan kuat tekan pada plaster gypsum dapat mengacu pada ASTM C 28/C 28M – 00 *Standard Specification for Gypsum Plasters* yang ditunjukkan pada **tabel 2**

Tabel 2 Komposisi Dan Sifat Fisik (ASTM C 28/C 28M – 00)

Product	Aggregate Type	Composition, Aggregate per 100 lb of Plaster, not more than		Setting Time ^A	Compressive Strength ^B not less than	
		ft ³	m ³	hours	psi	MPa
Mill-Mixed Plaster over Lath Base	Vermiculite	2	0.057	1½ to 8	450	3.1
	Perlite	2	0.057	1½ to 8	600	4.1
	Sand	2.5	0.071	1½ to 8	700	4.8
Mill-Mixed Plaster over Masonry	Vermiculite	3	0.085	1½ to 8	325	2.2
	Perlite	3	0.085	1½ to 8	400	2.8
	Sand	3	0.085	1½ to 8	400	2.8
Neat Plaster	none	...	...	2 to 16 ^C	750 ^D	5.2
Wood Fibered Plaster	none	...	...	1½ to 8	1200	8.3
Gauging Plaster	none	...	...	E	1200	8.3

^A Setting time shall be not less than the shorter time shown nor more than the longer time shown.

^B Compressive strengths are as tested at the setting times specified in Test Methods C 472.

^C When mixed with 3 parts by weight of Ottawa sand.

^D When mixed with 2 parts by weight of Ottawa sand.

^E When not retarded, the setting time shall be not less than 20 nor more than 40 minutes and, when retarded, not less than 40 minutes.

E. Tinjauan Terhadap Lingkungan

1. Dampak Negatif Limbah Gypsum

a. Sulfat,

Kandungan limbah gypsum yang berbahaya adalah sulfat yang dapat menjadi gas dan lindi. Ketika limbah gypsum dibuang di TPA dan tercampur dengan limbah organik dan terkena hujan di lingkungan anaerob, gas hidrogen sulfida cenderung berkembang. Gas hidrogen sulfida adalah gas yang berbahaya bagi kesehatan, berbau seperti telur busuk dalam konsentrasi

rendah dan dalam konsentrasi tinggi itu mematikan. (<http://gipsrecycling.no/>).

Gypsum mengandung belerang (sulfat (SO_4)) dan ketika larut dalam wujudnya sudah berubah menjadi gas asam belerang (sulfida/ H_2S) dan sulfat (SO_4). Sulfida tersebut dapat membuat air berbau busuk. Sedangkan sulfat tidak berbau, tapi membuat air menjadi pahit.

b. Gas Radon (Rn)

Gypsum juga mengandung unsur radionuklida Th dan K. Dimana kedua radionuklida ini masing-masing menghasilkan anak luruh gas Radon (Rn). Pengendapan gas radon ini akan menimbulkan kanker paru-paru. (Ratnawati, 2016)

c. Debu limbah gypsum

Menghirup debu limbah gypsum dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan radang paru-paru ringan dan sedang serta mengalami hiperresponsivitas saluran nafas juga indikasi luka bakar pada saluran pernafasan (Brun, 2013).

2. Dampak Positif Limbah Gypsum

Berdasarkan USA Gypsum ada 10 keuntungan menggunakan gypsum daur ulang yaitu;

a. Sumber nutrisi bagi tanaman

Gypsum telah digunakan sebagai pupuk untuk memperbaiki tanah pertanian selama lebih dari 250 tahun, menyediakan sumber kalsium dan belerang yang cukup larut yang penting untuk pertumbuhan tanaman secara keseluruhan dan peningkatan hasil panen.

b. Memperbaiki kondisi tanah

Gypsum seringkali merupakan alternatif yang lebih baik daripada kapur calcitic, karena kelarutannya meningkatkan

penetrasi kalsium yang lebih besar di seluruh tanah, mengendalikan tanah asam secara lebih efektif.

c. Mengurangi racun dalam air limpasan pertanian

Sebuah penelitian sedang dilakukan di Ohio State University untuk menguji efek dari menggunakan gypsum daur ulang sebagai pengubah tanah di daerah aliran sungai Maumee dalam upaya untuk mengurangi tingkat reaktif fosfor (SRP) larut dalam air limpasan yang memasuki saluran air daerah.

Hasil paling awal telah menunjukkan pengurangan 55% SRP dalam air limpasan di petak lahan yang diolah gipsum, bila dibandingkan dengan petak yang tidak dirawat. Temuan ini menunjukkan potensi yang signifikan untuk meningkatkan kualitas air di wilayah pertanian di seluruh negara dari Great Lakes ke Teluk Meksiko.

d. Baik sebagai bahan kandang hewan

Kelarutan gypsum menjadikannya mineral yang sempurna untuk meningkatkan hasil produksi, mengkondisikan tanah dan mencegah limpasan racun, daya serap gipsum juga menjadikannya bahan yang bagus untuk kandang hewan.

e. Remediasi dan Stabilisasi Tanah

Gypsum, dikombinasikan dengan pengubah tanah lainnya, dapat mengatasi berbagai masalah tanah termasuk:

- Toksisitas Aluminium (Al)
- Agregasi tanah yang buruk
- Tingkat sodik tinggi
- Stabilisasi timbal
- Tanah yang terkontaminasi hidrokarbon

f. Solidifiers & Stabilisator Limbah Massal

Untuk meminimalkan pelepasan bahan kimia berbahaya dari lokasi limbah industri, limbah cair jika sering dikonversi menjadi padatan untuk penyimpanan atau pembuangan yang

tepat. Karena sifat penyerapnya, bubuk gypsum adalah pilihan ideal untuk mengkonversi bubur semi-padat yang mewakili volume signifikan dari sebagian besar limbah. Gypsum daur ulang, khususnya, lebih menyerap dan memberikan kelarutan yang unggul bila dibandingkan dengan produk gipsum yang ditambang, untuk pembersihan dan remediasi limbah yang lebih cepat.

g. Pengisi & Pengencer

Gypsum daur ulang dapat berhasil digantikan di banyak produk yang secara tradisional menggunakan produk gypsum yang ditambang. Pabrik semen dan beton siap pakai telah mulai menggunakan gypsum daur ulang di banyak produk mereka. Gypsum daur ulang juga digunakan dalam berbagai macam plastik, caulks, perekat, sealant dan semen khusus.

h. Penjernihan air

Penyebab paling umum dari kolam dan danau yang keruh adalah keberadaan partikel yang tersuspensi, terutama tanah liat. Erosi tanah, limpasan hujan, aktivitas hewan, dan tindakan mencari makan ikan yang memberi makan dari bawah seperti ikan mas dan bulhead semuanya dapat berkontribusi pada partikel tanah liat yang tertahan di kolam dan danau.

Penambahan gypsum ke kolam berlumpur membantu memperjelas air dengan menarik partikel tanah liat bersama untuk membentuk rumpun. Saat partikel-partikel tanah liat mengumpul, beratnya bertambah dan rumpun mengendap di dasar. Karena gypsum adalah garam netral, menambahkannya ke dalam air tidak akan mempengaruhi pH kolam atau danau.

i. Bahan Kompos

Gypsum daur ulang adalah cara alami untuk meningkatkan kompos, baik bagi anda yang suka berkebun di halaman

belakang atau penjual kompos. Gypsum secara alami mengurangi kehilangan nitrogen yang meningkatkan aerasi kompos, meningkatkan panas, meningkatkan pertumbuhan mikroba dan mengurangi bau yang tidak sedap. Penambahan aditif gipsium juga menyediakan kalsium, belerang, nitrogen, dan mineral ke kompos dasar, menjadikannya lebih berharga.

j. Halaman dan Taman

Kunci dari rimbun, rumput hijau, dan taman berbunga adalah pengkondisian tanah yang tepat. Sama seperti petani menggunakan gypsum daur ulang untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan memperbaiki tanah pertanian, teknik yang sama dapat diterapkan pada halaman rumput dan kebun perumahan. Penambahan amandemen tanah gypsum daur ulang mengendurkan tanah liat, secara alami mengaerasi tanah dan meningkatkan penetrasi air dan udara. Ini mendorong produksi akar awal. Gypsum daur ulang juga dapat memperbaiki kondisi tanah yang asam, sodik atau rawan erosi.

Perubahan tanah dengan gypsum daur ulang berbiaya efektif dan aman untuk hewan peliharaan, manusia, dan tanaman.

(<https://www.usagypsum.com>)

3. Penggunaan Kembali Limbah Gypsum

Penggunaan kembali produk gypsum secara langsung setelah pembongkaran tidak disarankan. Pembongkaran harus dilakukan dengan hati-hati pada papan dan panel gypsum agar dapat menggunakannya kembali. Prosedur daur ulang biasa digunakan untuk produk gypsum, seperti plester dinding dan limbah gypsum manufaktur.

Pembuangan produk gypsum telah menjadi masalah serius karena masih mengandung berbagai zat seperti bahan organik

(kertas dan kayu), drywall (terutama terbuat dari kertas pelapis dan gypsum $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) dan logam berat. Limbah dianggap sebagai kontributor utama untuk generasi hidrogen sulfida (H_2S) di landfill (Musson et al.,2007 dalam Linshkova,2016).

Limbah yang terbentuk oleh produksi produk gypsum dapat didaur ulang secara instan pada titik pemrosesan. Lumpur limbah beton gypsum atau plester gypsum pada pabrik umumnya dapat dihancurkan dan dikembalikan ke proses pembuatan. Debu gypsum yang menumpuk dalam sistem pengumpul debu dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran atau dapat ditambahkan ke gypsum selama homogenisasi (Ferronskaya, 2004 dalam Linshkova,2016).

Berbagai jenis peralatan digunakan untuk pengolahan limbah, seperti penghancur papan limbah, yang dikembangkan terutama untuk daur ulang papan gypsum baik limbah basah dan kering.

Gypsum Recycling Internasional, sebuah induk perusahaan untuk unit-unit operasi di Gypsum Recycling Group, telah mengembangkan unit daur ulang gypsum secara seluler. Berbasis trailer dan diangkut dengan truk biasa, unit-unit ini dapat mendaur ulang 100.000 ton per tahun. Unit kedua mendaur ulang gypsum limbah baru dan limbah dari rekonstruksi dan pembongkaran (Lund-Nielsen, 2007). Menurut perhitungan Gypsum Recycling International, 200 kg CO_2 disimpan untuk setiap daur ulang sampah. Seratus persen daur ulang kertas diperoleh dari untuk daur ulang gypsum kertas. Pada awalnya dikembangkan di Denmark pada tahun 2001, kegiatan daur ulang tersebut telah menyebar ke negara-negara Eropa lainnya, Amerika Utara dan Asia (Lund-Nielsen, 2007).

Perusahaan ReGyp Pty Ltd Australia menyarankan solusi limbah gypsum tidak hanya untuk produk konstruksi manufaktur

tetapi juga untuk pertanian. Sembilan puluh lima persen dehidrasi gypsum daur ulang diterapkan untuk penambahan tanah (<http://www.regyp.com.au> dalam Linshkova, 2016). Tingkat penerapan daur ulang dan gypsum sintetis bervariasi dari satu negara ke negara lain. Di Amerika Serikat pada 2014, lebih dari empat juta ton skrap gypsum dihasilkan oleh pembuatan papan dinding, pemasangan papan dinding dan pembongkaran bangunan didaur ulang. Daur ulang gypsum digunakan terutama untuk keperluan pertanian dan sebagai bahan baku untuk pembuatan papan dinding baru. Pasar potensial lainnya untuk gypsum daur ulang termasuk atletik sebagai penandaan lapangan, produksi semen sebagai bahan tambahan semen, penyerapan minyak, lumpur pengeringan dan pengolahan air. Pada tahun 2014 di Amerika Serikat, gypsum sintetis dicatat untuk sekitar 50% dari total pasokan gypsum domestik. di Inggris, 38% dari batu gypsum impor, 51,6% dari gypsum FGD (sepertiga dari gypsum impor), 5,6% dari titanogypsum dan 4,8% dari gypsum daur ulang digunakan untuk produksi plester gypsum (Linshkova, 2016).

Penggunaan limbah gypsum dan gypsum sintetis sangat penting untuk negara-negara di mana mengalami kekurangan gypsum (seperti Jepang, Korea Selatan, Selandia Baru dan Australia, dll.) Pembagian gypsum dalam produksi plester gypsum Uni Eropa telah tercapai 60% pada 2010, dimana sebelumnya mendekati nol pada pertengahan 1970-an (Lund-Nielsen, 2010).

Meningkatnya permintaan untuk memenuhi standar konstruksi berkelanjutan (LEED di Amerika Serikat, BREAM di Inggris, dll.) Mempromosikan '*Green Technologies*' terkait dengan pembuatan, penggunaan dan pembuangan produk gypsum. Menurut Lund-Nielsen alasan perusahaan gypsum ingin terlibat dalam skema daur ulang limbah gypsum bervariasi tergantung pada wilayahnya. sehingga dapat disimpulkan, keterbatasan sumber daya

gypsum alami serta biaya yang tinggi untuk membeli dan mendistribusikan adalah faktor utama dari kegiatan daur ulang limbah gypsum. (Lund-Nielsen, 2010).

Konstruksi berkelanjutan tidak dapat lepas dari pembangunan berkelanjutan. Sebagai konsep, pembangunan berkelanjutan mencakup dari semua segi kehidupan, mulai dari kebijakan politik pemerintah, strategi bisnis, hingga gaya hidup. Mencakup tidak hanya permulaan tapi mencakup juga mengenai hasil akhir. Realisasinya pembangunan berkelanjutan bersifat kompleks dan harus menerapkan sistem indisipliner.

Definisi berkelanjutan muncul pertama kali pada tahun 1987 dari “Brutland Report”, pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan untuk memenuhi kebutuhan generasi masa kini tanpa mengorbankan generasi masa depan dalam memenuhi kebutuhannya dimasa mendatang. Dalam konteks pembangunan di masa mendatang, pembangunan berkelanjutan mencakup 3 hal, yakni berkelanjutan sosial, berkelanjutan ekonomi, dan berkelanjutan ekologi.

1. Kemajuan sosial

Setiap konstruksi berkelanjutan wajib menyokong standar etika sosial tertinggi dan mendukung kesetaraan sosial di setiap tingkat atau tahapan konstruksi, mulai dari tahap perencanaan, pembangunan, hingga proses penggunaan bangunan tersebut. Dilihat dari kacamata sosial, pembangunan berkelanjutan berarti bangunan mampu merespon kebutuhan emosional dan psikologis manusia dengan memberikan stimulasi positif terhadap lingkungan, meningkatkan kesadaran terhadap nilai nilai penting kehidupan, memberi inspirasi bagi jiwa manusia, dan mempererat hubungan sosial, komunitas serta lingkungan. Kondisi psikologis penggunaan bangunan

sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya adalah kenyamanan. Hendaknya bangunan juga menyediakan lingkungan yang inklusif, dimana bangunan menjadi wadah interaksi pengguna bangunan dengan konteks lingkungan disekitarnya.

Untuk bangunan publik, kemudahan juga harus didukung dengan ketersediaan informasi di luar maupun didalam bangunan. Kesempatan semua pihak untuk berpartisipasi dan mengontrol konstruksi merupakan indikator berikutnya. Dalam proses desain lebih baik jika pengguna dilibatkan. Realitanya, banyak proyek berkelanjutan yang dikembangkan secara bersama-sama oleh tim dengan pendekatan kolektif. Jadi, dari sisi pemegang modal dan pengguna terlibat dalam proses desain.

2. Pertumbuhan ekonomi

Sektor konstruksi merupakan sektor yang berpengaruh terhadap kondisi perekonomian suatu negara secara signifikan. Sektor ini juga berperan sebagai indikator pesat-tidaknya dalam menentukan kemajuan suatu negara. Dilain pihak, sektor konstruksi juga sebagai pihak dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, baik sebagai wadah dalam kegiatan interaksi ekonomi maupun sebagai media dalam penyediaan pekerjaan bagi masyarakat. Dalam penyediaan lapangan pekerjaan tersebut, konstruksi berperan sebagai media pemberdayaan, masyarakat yang tinggal di lokasi pembangunan dapat dilibatkan langsung sebagai tukang maupun teknisi tertentu sesuai dengan keahliannya. Selain itu, material yang digunakan dalam proses konstruksi

dapat disediakan melalui material lokal yang merupakan hasil sumberdaya lingkungan tersebut.

Kualitas ekonomi dalam konstruksi berkelanjutan bisa dicapai melalui banyak hal, seperti efisiensi desain, dengan jalan memperhitungkan volume secara seksama. Efisiensi material juga harus dilakukan agar tidak menimbulkan sisa material yang berlebihan. Kemampuan bangunan untuk beradaptasi dengan berbagai kebutuhan atau fungsi juga menjadi indikator kualitas keberlanjutan suatu lingkungan buatan. Hal ini berkaitan dengan seberapa fleksibel ruang tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Sebagai patokan, bangunan berdesain modular memiliki tingkat adaptasi yang lebih besar terhadap perubahan internal bangunan.

Biaya tahap awal hingga bangunan beroperasi merupakan indikator ekonomi yang lain. Setelah bangunan tersebut selesai, penilaian juga dilakukan mengenai nilai kebermanfaatan bangunan tersebut bagi lingkungan sekitar, apakah bangunan tersebut meningkatkan kesejahteraan atau tidak. Dengan memperhatikan kepentingan ekonomi lokal, efisiensi, kualitas adaptasi, biaya operasional, dan kebijakan modal, proyek yang dihasilkan tidak hanya menjadi investasi jangka panjang, namun juga memiliki nilai keberlanjutan dengan merangsang pertumbuhan bahkan meningkatkan standar ekonomi lokal.

3. Keseimbangan ekologi dan lingkungan

Prinsip utama dalam pembangunan berkelanjutan adalah menjaga bumi dalam kondisi mendukung kehidupan di masa mendatang. Tidak dapat dipungkiri, hal tersebut menjadi tantangan besar, sebab kondisi ekosistem

global saat ini sudah rusak karena eksploitasi secara berlebihan. Sebagai pengguna material dan energi terbesar, sektor konstruksi juga memberi peran besar dalam penurunan kualitas lingkungan. Jika tidak ada tindakan untuk melestarikan maupun mengembalikan untuk masa mendatang, kualitas ekologi akan semakin menurun. Energi yang digunakan sebagai sumber peralatan elektronik juga dapat diminimalisir dengan memilih produk hemat energi.

Selain itu, masalah limbah juga harus mendapatkan perhatian ekstra. Penanganan masalah limbah seharusnya menjadi prioritas utama karena limbah meracuni lingkungan dan makhluk hidup. Instalasi pengelolaan limbah sebaiknya diterapkan diberbagai lokasi, mulai dari instalasi sederhana yang diaplikasikan dalam skala rumah tangga hingga instalasi besar dalam skala perkotaan. Lokasi pembangunan limbah juga patut diperhatikan. Keberadaan vegetasi sampai usaha menciptakan bangunan yang tidak merugikan bangunan lain merupakan usaha untuk menciptakan konstruksi berkelanjutan.

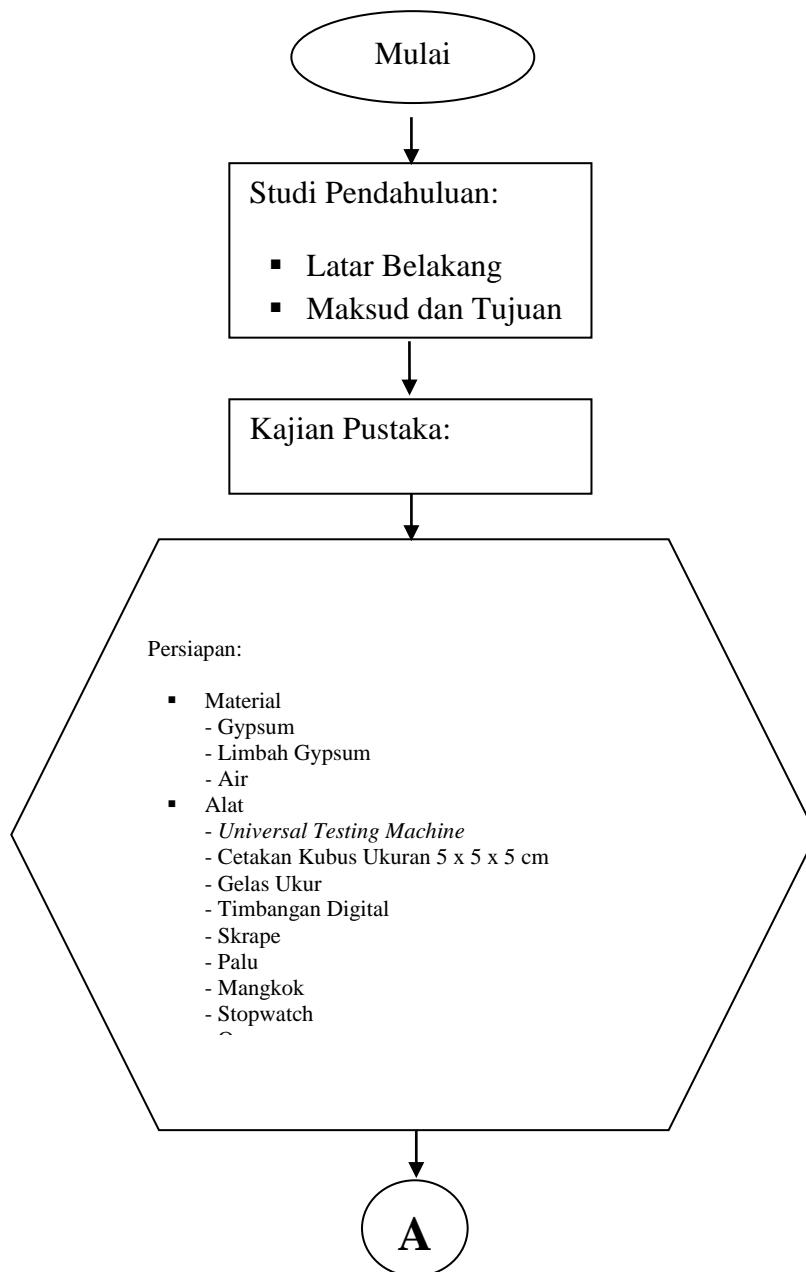
Dalam skala bangunan, konstruksi berkelanjutan bertujuan untuk meningkatkan penyediaan bangunan yang kuat, tahan lama, sehat dan bermanfaat bagi kehidupan saat ini dan mendatang. Melalui desain yang harmonis dengan alam, sudah selayaknya konstruksi berkelanjutan mendukung dan menjaga ekosistem lingkungan agar tidak punah.

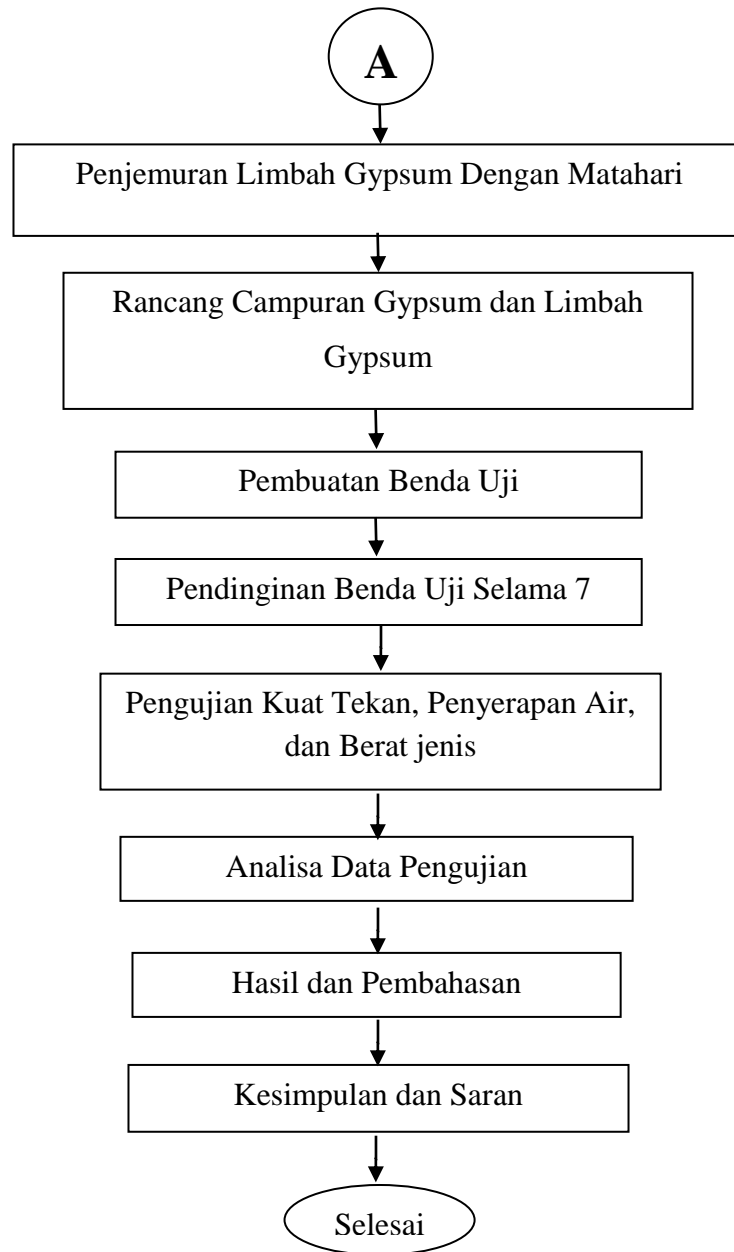
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Bagan Alir Penelitian

Secara garis besar, prosedur penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2** dibawah ini.





Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa . Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen di laboratorium berupa pengujian kuat tekan Gypsum bervariasi campuran limbah gypsum. Waktu penelitian direncanakan kurang lebih 3 bulan yakni mulai bulan Januari yang dirincikan pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Januari				Februari				Maret			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Studi Literatur												
Pembuatan Benda Uji												
Pengujian Benda Uji												
Analisa Data												

C. Jenis Penelitian dan Sumber Data

Penelitian yang dilakukan adalah uji ekperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan. Sumber limbah gypsum yang digunakan di ambil dari salah satu produsen Ornamen Gypsum di Kabupaten Gowa, Sulawes-Selatan.

D. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. *Universal Testing Machine (Tokyo Testing Machine Inc.)*

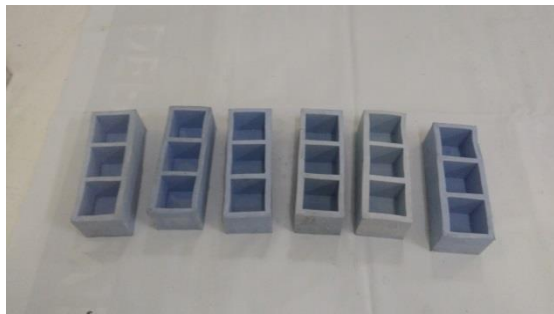
Gambar 3 Merupakan mesin atau alat pengujian yang berfungsi untuk menguji tegangan tarik dan kuat tekan suatu bahan material. Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan plester menggunakan alat *Universal Testing Machine* berkapasitas 1000 kN.



Gambar 3. Universal Testing Machine Kapasitas 1000 kN

2. Cetakan

Gambar 4 Merupakan alat cetakan elastis dari karet dimana gypsum dimasukkan kedalam cetakan dan dirapihkan. Ukuran cetakan ini adalah 5 cm x 5 cm x 5 cm. Cetakan yang digunakan berjumlah 6 buah



Gambar 4. Cetakan

3. Gelas Ukur

Gambar 5 adalah gelas ukur yang digunakan untuk mengukur jumlah air yang akan digunakan dalam mencampur bahan pembuatan benda uji.



Gambar 5. Gelas Ukur

4. Timbangan Digital

Penggunaan timbangan digital seperti **Gambar 6** digunakan untuk menimbang benda uji dan melihat perbandingan berat setiap benda uji.



Gambar 6. Timbangan Digital

5. Skrape

Pada penelitian ini skrape pada **Gambar 7** berfungsi untuk mengaduk campuran dalam pembuatan benda uji



Gambar 7. Skrape

6. Palu

Penggunaan palu seperti **Gambar 8** yaitu untuk menghaluskan limbah gypsum yang telah mengering



Gambar 8. Palu

7. Mangkok

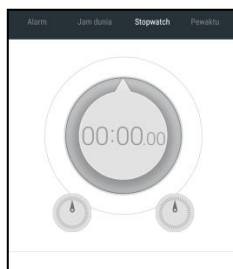
Penggunaan mangkok seperti pada **Gambar 9** adalah sebagai wadah gypsum dan gypsum limbah untuk dicampurkan yang akan menjadi benda uji.



Gambar 9. Mangkok

8. *Stopwatch*

Stopwatch seperti pada **Gambar 10** berfungsi untuk menunjukkan durasi waktu saat mengaduk bahan pembuatan benda uji.



Gambar 10. *Stopwatch*

9. Oven

Gambar 11. merupakan oven yang digunakan untuk mengeringkan benda uji dan pengujian kadar air benda uji. menggunakan Oven suhu 35°C di Laboratorium Kualitas Air dan suhu 105°C di Laboratorium Bahan.



Gambar 11. Oven

10. Gypsum

Gypsum pada **Gambar 12** diperoleh dari salah satu industri pembuatan Ornamen gypsum di kab.Gowa, selanjutnya digunakan sebagai material substitusi limbah Gypsum pada pembuatan benda uji.



Gambar 12. Gypsum

11. Limbah gypsum

Limbah Gypsum yang digunakan pada penelitian ini seperti pada **Gambar 13** adalah hasil dari pembuatan Ornamen Gypsum yang berasal dari salah satu industri pembuatan Ornamen Gypsum di kab.Gowa.



Gambar 13. Limbah Gypsum

E. Benda Uji

Dalam penelitian ini benda uji yang akan di buat terdiri dari beberapa variasi pada substitusi limbah gypsum dalam proses campuran yaitu :

1. Variasi I (#Var 1)
0% penambahan limbah gypsum, dalam campuran ini menggunakan gypsum 100% sebanyak 500 gr dan air 275 ml
2. Variasi 2 (#Var 2)
25% penambahan limbah gypsum, dalam campuran ini menggunakan gypsum 75% hingga total sebanyak 500 gr dan air 375 ml
3. Variasi 3 (#Var 3)
50% penambahan limbah gypsum, dalam campuran ini menggunakan gypsum 50% hingga total sebanyak 500 gr dan air 375 ml

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa benda uji gypsum berbentuk kubus dengan panjang 5 cm, lebar 5 cm dan tinggi 5 cm. Total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini dari 3 variasi campuran sebanyak 18 benda uji untuk tiap variasi dengan total benda uji sebanyak 54. Dengan uraian uji kuat tekan sebanyak 6 benda uji, 3 benda uji untuk penyerapan air, dan 6 benda uji untuk pengujian berat jenis . Bentuk benda uji dapat dilihat pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Sampel Gypsum

F. Prosedur Penelitian

1. Rancangan Campuran gypsum

Penentuan komposisi gypsum yaitu dengan menambahkan limbah mulai dari 0%, 25%, dan 50%. Rancangan campuran plester dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rancangan Campuran Plester

No	Variasi	Gypsum (g)	Limbah Gypsum (g)
1	0% limbah 100% gypsum	500	0
2	25% limbah 75% gypsum	375	125
3	50% limbah 50% gypsum	250	250

2. Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini dirancang untuk pembuatan gypsum dengan campuran limbah gypsum. Adapun langkah langkah dalam pembuatan benda uji sebagai berikut:

1.) Menyiapkan bahan adukan gypsum

Gambar 15 menunjukkan proses penimbangan material, tahapan ini dilakukan untuk menentukan komposisi material yang digunakan dan mempersiapkan bahan adukan dengan cara menimbang setiap material dengan komposisi yang sudah ditentukan.



Gambar 15. Penimbangan Bahan Material

2.) Pembuatan Adonan gypsum

Langkah langkah dalam pembuatan adukan yaitu :

- a) Bahan material yang telah di timbang kemudian dicampur dan diaduk hingga merata.
- b) Bahan material yang telah dicampur, diberi tambahan air sesuai ukuran yang sudah ditentukan kemudian diaduk lagi hingga merata sampai membentuk seperti adonan seperti pada

Gambar 16.



Gambar 16. Adonan Gypsum Yang Telah Tercampur Dan Siap Untuk Dicetak

3.) Pencetakan gypsum

Adonan gypsum yang telah dicampur sebelumnya kemudian dimasukkan kedalam cetakan, diratakan kemudian dipadatkan dapat dilihat pada **Gambar 17.**, setelah rata dan padat, gypsum yang sudah mengeras dalam cetakan dikeluarkan dan disimpan dalam ruangan dengan suhu kamar selama 7 Hari, seperti **Gambar 18.**



Gambar 17. Gypsum Yang Sudah Dicetak



Gambar 18. Gypsum Di Ruang Penyimpanan

3. Jumlah Benda Uji

Adapun jumlah benda uji dan jenis pengujian dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut

Tabel 5. Jumlah Benda Uji

No	Variasi	Mix	Jumlah Benda Uji		
			Kuat Tekan	Berat Jenis	Penyerapan Air
1	Var 1	0% limbah 100% gypsum	6	6	3
2	Var 2	25% limbah 75% gypsum	6	6	3
3	Var 3	50% limbah 50% gypsum	6	6	3

4. Pengujian Benda Uji

1.) Uji Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine (Tokyo Testing Machine Inc.)* kapasitas 1000 KN. Prosedur pelaksanaan pengujian plester terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

- a.) Siapkan Sampel yang telah melewati didiamkan selama 7 hari dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.
- b.) Letakkan benda uji pada *Universal Testing Machine (Tokyo Testing Machine Inc.)* kapasitas 1000 kN secara sentris
- c.) Jalankan *Universal Testing Machine (Tokyo Testing Machine Inc.)* kapasitas 1000 KN.
- d.) Dalam melakukan pengujian ini dapat diperoleh hasil kuat tekan plester untuk tiap variasi.

e.) Kuat tekan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$T = \frac{P}{A}$$

Dimana : T = Kuat tekan (N/mm²)

P = Beban (N)

A = Luas permukaan benda uji (mm²)

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui kekuatan plester dan disesuaikan dengan ASTM C 28/C 28M – 00 Standard Specification for Gypsum Plasters, yang nantinya akan diketahui kelas plester gypsum yang didapatkan.

2.) Penentuan Berat Jenis

Penentuan berat jenis plester terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

- a.) Siapkan Benda uji dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm yang telah didiamkan selama 7 hari
- b.) Kemudian dikeringkan dalam oven selama kurang lebih 24 jam, pada suhu kurang lebih 35°C (**Gambar 19**), kemudian ditimbang beratnya dalam keadaan kering.



Gambar 19. Proses Pengeringan Di Dalam Oven

c.) Berat Jenis dihitung sebagai berikut :

$$BJ = \frac{\text{Berat Kering}}{V}$$

Dimana : BJ = Berat Jenis

V = Volume

3.) Kandungan Air

Penentuan nilai kandungan air dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu :

- a.) Siapkan benda uji dengan ukuran 20 cm x 10 cm x 5 cm setelah didinginkan selama 7 hari
- b.) Timbang berat awal benda uji (W1).
- c.) Kemudian benda dimasukkan di dalam oven selama 24 jam pada suhu kurang lebih 105 °C, setelah itu ditimbang beratnya (W2).
- d.) Kemudian mengitung kandungan air pada plester dengan rumus

$$\text{Kandungan Air} = \frac{W1-W2}{W2} \times 100\%$$

W1 = Berat benda uji sebelum oven 24 Jam

W2 = Berat benda uji setelah oven 24 Jam

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi Limbah Gypsum

Total produksi global gypsum dari tambang pada 2019 diperkirakan mencapai 140 juta ton. Kuantitas ini merupakan penurunan penting dari volume produksi 2016 sebesar 261 juta ton. Sebagai produsen gypsum terbesar di dunia, Amerika Serikat juga memiliki cadangan gypsum terbesar di dunia. Pada 2019, cadangan gypsum Amerika Serikat berjumlah sekitar 700 juta ton (<https://www.statista.com/>, 2020).

Berdasarkan data statistik, kebutuhan gypsum di Indonesia terus mengalami peningkatan. Produksi gypsum di Indonesia yang belum mencukupi, mengakibatkan harus mengimpor dari luar negeri. Perkembangan data impor dari tahun 2007-2016 (Lateefee, 2017) dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Table 6. Data Kebutuhan Gypsum Di Indonesia

No	Tahun	Kapasitas (Ton/tahun)
1	2005	962,282
2	2006	1,008,425.80
3	2007	1,188,047.68
4	2008	1,326,157.12
5	2009	962,723.19
6	2010	1,162,038.86
7	2011	1,533,424.50
8	2012	1,843,285.63
9	2013	1,966,207.01
10	2014	2,017,705.83

(BPS, 2014 dalam Lateefee, 2017)

Material gypsum dinilai menjadi bahan bangunan yang mampu menjawab kebutuhan konstruksi cepat, berkualitas, dan efisien. Di Indonesia, penggunaan gypsum baru menyentuh angka 100 juta meter persegi dari 260 juta penduduk dengan 95 persennya digunakan sebagai ceiling atau langit-langit. Sementara di Inggris, penggunaannya sebanyak 300 juta meter persegi dari 60 juta penduduk. Penggunaannya pun tak hanya terbatas pada langit-langit, tetapi juga untuk tembok atau drywall. Pemakaian gypsum di Indonesia masih 0,4 persen per kapita, sedangkan di Eropa sudah 4-5 persen per kapita (<https://properti.kompas.com/>, 2016).

Pertumbuhan penyerapan gypsum di Sulawesi Selatan sejalan dengan pembangunan proyek properti komersial yang membutuhkan material berkualitas dalam realisasinya. Potensi di Mamminasata juga sangat besar. Makassar, Maros dan Gowa dalam Kawasan Mamminasata, merupakan kabupaten/kota dengan pertumbuhan properti relatif agresif di Sulawesi Selatan. (<https://sulawesi.bisnis.com/>, 2017)

Dalam bidang properti, gypsum juga di gunakan sebagai ornamen dalam bangunan seperti yang terdapat di Kabupaten Gowa. Salah satunya adalah produsen ornamen gypsum yang dipilih untuk penelitian ini. **Gambar 20** menunjukkan ruang pembuatan ornamen gypsum



Gambar 20. Ruang Pembuatan Ornamen Gypsum

Proses pembuatan ornamen gypsum adalah sebagai berikut:

1. Cetakan dilumuri dengan minyak goreng yang dicampur dengan sedikit solar supaya hasil cetakan setelah dilepas dari cetakan bersih dan mudah untuk melepaskan.



Gambar 21. Pelumuran Minyak Pada Cetakan

2. Campur *Casting* (Gypsum dan sedikit semen) dengan air, aduk sampai rata, perbandingan antara *casting* dengan air 1 berbanding 2.



Gambar 22. Pencampuran *Casting* Dengan Air

3. Setelah tercampur, tuang adonan *casting* dan air tersebut kedalam cetakan, separuh dari ukuran cetakan.



Gambar 23. Penuangan Adonan Pada Cetakan

4. Sesudah cetakan terisi adonan akan di beri roving atau serat.



Gambar 24. Pemberian Roving Atau Serat

5. Beri adonan kembali pada cetakan tersebut, dan selesai.



Gambar 25. Penuangan Kembali Adonan Pada Cetakan

6. Tunggu beberapa menit cetakan sudah dapat dilepas



Gambar 26. Ornamen Gypsum Yang Sudah Selesai Di Cetak

Selama proses pembuatan ornamen gypsum ada limbah yang dihasilkan, yaitu saat adonan dituang dalam cetakan, ada tumpahan gypsum ke tanah yang tidak digunakan kembali, saat mencuci tempat mencampur ada adonan yang mulai mengeras dan dibersihkan dengan air lalu menjadi limbah, dan saat mencuci tangan ada adonan gypsum yang larut sehingga menjadi limbah. Limbah ini kemudian di kumpulkan dan disimpan dalam karung kemudian menunggu truk pengangkut sampah untuk di buang di TPA.



Gambar 27. Limbah Gypsum

Bila limbah gypsum dibuang dan dibiarkan menumpuk tanpa diolah akan menyebabkan masalah pada lingkungan.

Keracunan atau kecelakaan dengan bubuk gypsum atau plester terutama karena sifat reaksinya eksotermis pada saat campuran dengan air. Reaksi eksotermis, adalah reaksi kimia yang mengeluarkan energi berupa energi panas (kalor) dan akibatnya akan meningkatkan suhu lingkungan. Paparan debu kalsium sulfat dapat menyebabkan iritasi sementara pada mata, kulit, hidung dan saluran pernapasan atas. kemungkinan mata iritasi pada manusia, akibat menghirup kalsium karbonat secara berulang (pada konsentrasi maksimum 5000 g/m^3) (Brun, 2013).

Berdasarkan pengujian papan gypsum dengan metode LIBS, secara kualitatif mengandung unsur radionuklida Th dan K. Dimana kedua radionuklida ini masing-masing menghasilkan anak luruh gas Radon (Rn). Dengan indentifikasi gas radon ini, hasil pengukuran pada jarak 80 cm untuk plafon berbahan gypsum di luar ruangan dan jarak 100 cm untuk plafon berbahan gypsum di dalam ruangan telah melebihi nilai batas dosis (1mSv) dari ICRP dan

BAPETEN, merupakan jarak yang berpotensi menyebabkan kanker paru-paru. Gas radon adalah radiasi yang memancarkan radioaktif alfa yang dapat terhisap dan mengendap di dalam saluran pernafasan sehingga sebagian kecil radon akan mengendap di paru-paru. Pengendapan gas radon ini akan menimbulkan kanker paru-paru (G. A. Ayu dkk, 2016).

Terjadinya efek pernapasan dari gypsum atau kalsium sulfat telah dipelajari dalam beberapa percobaan hewan setelah inhalasi atau pemberian intratrakeal. Sejumlah besar sampel debu gypsum ditemukan di bersama dengan komponen lain setelah Perdagangan Dunia Center Collapse. Tikus, yang terpapar konsentrasi tinggi dari debu gypsum, berkembang menjadi radang paru-paru ringan dan sedang serta mengalami hiperresponsivitas saluran nafas. Perubahan inflamasi kronis juga terjadi setelah pemberian kalsium sulfat intratrakeal pada hamster di Suriah (Brun, 2013).

Rekomendasi pengobatan saat ini untuk inhalasi gypsum (menghirup gypsum secara tidak sengaja). adalah dengan menghilangkan endotrakeal dan endobronkial yang disebabkan dari bubuk gypsum tanpa induksi luka bakar tambahan oleh reaksi eksotermis saat gypsum mengalami kontak dengan air. Beberapa bubuk gypsum mungkin menyebabkan reaksi eksotermik pada pasien ini dan menyebabkan tracheobronchitis. Dengan demikian perlu hati - hati untuk menghilangkan sisa gypsum dari saluran trakeobronkial. (Brun, 2013)

Gypsum mengandung belerang (sulfat (SO_4)) dan ketika larut dalam wujudnya sudah berubah menjadi gas asam belerang (sulfida/ H_2S) dan sulfat (SO_4). Sulfida tersebut dapat membuat air berbau busuk. Sedangkat sulfat tidak berbau, tapi membuat air menjadi pahit. Air yang tercampur belerang (sulfida) mulai mengeluarkan bau jika kadarnya sudah 1 ppm (1 mg/L). Air yang tercampur belerang (sulfat) sudah mulai menghasilkan rasa pahit jika kadarnya sudah 500 ppm (mg/L).

Di Amerika Serikat dan di Eropa limbah papan gypsum yang dibuang di tempat pembuangan sampah telah menciptakan Gas Hidrogen Sulfida (H_2S) yang berbahaya. Gas hidrogen sulfida, berbahaya bagi kesehatan, berbau seperti telur busuk dalam konsentrasi rendah dan dalam konsentrasi tinggi itu mematikan.

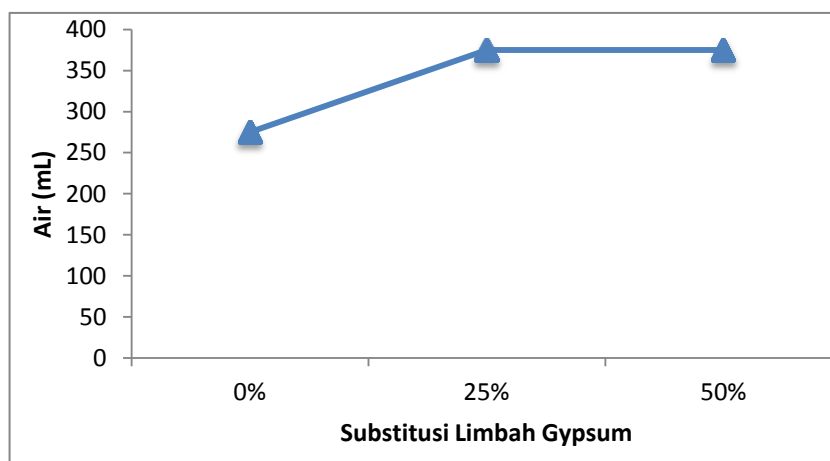
Limbah gypsum itu sendiri tidak berbahaya, tetapi ketika dicampur dengan limbah organik dan terkena hujan di lingkungan anaerob, gas hidrogen sulfida cenderung berkembang.

Mengingat bahaya lingkungan ini, beberapa negara bagian Amerika Serikat mempertimbangkan larangan penuh atau sebagian dalam membuang limbah papan gypsum di tempat pembuangan sampah. Uni Eropa telah memutuskan bahwa papan gypsum harus dibuang di tempat pembuangan terkendali di sel-sel terpisah di mana tidak ada limbah organik hadir untuk mencegah produksi gas hidrogen sulfida (<http://www.gipsrecycling.no/>).

Melihat permasalahan ini, daur ulang limbah gypsum harus didukung secara aktif untuk kepentingan lingkungan. Salah satunya menggunakan limbah gypsum pada pembuatan plester bangunan sebagai bahan substitusi atau pengganti gypsum pada umumnya.

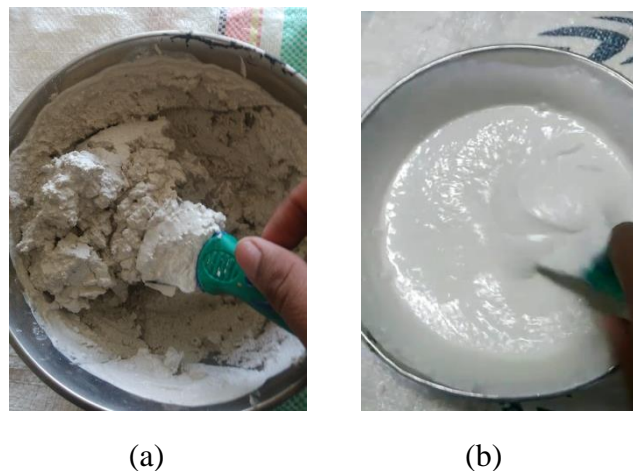
B. Workability Plester

Setiap variasi plester menggunakan 500gr bahan dan menggunakan air yang disesuaikan hingga gypsum tercampur rata. Dapat dilihat pada pembuatan variasi plester dimana digunakan limbah gypsum terdapat peningkatan penggunaan air. Grafik penggunaan air ditunjukkan oleh **Gambar 28**, dapat dilihat terjadi peningkatan pada plester dengan substitusi limbah gypsum 25% dan 50% yaitu sama menggunakan 375 mL air.



Gambar 28. Grafik Kebutuhan Air

Penggunaan air penting untuk membentuk adonan yang sesuai dari campuran gypsum dan limbah gypsum. Peningkatan air dalam pembuatan plester dibutuhkan agar campuran tidak cepat mengering saat diaaduk. Variasi plester 25% dan 50% membutuhkan air yang sama yaitu 375 mL agar dapat tercampur dengan baik. Perbandingan penggunaan campuran air dapat di lihat di **Gambar 29** , dimana gambar 29 (a) adalah campuran yang menggunakan sedikit air dan gambar 29 (b) adalah bentuk campuran yang sesuai dengan menggunakan air sebanyak 375 mL



Gambar 29. Perbandingan Penggunaan Air

Nilai workability plester didapatkan dari variasi substitusi limbah gypsum, penambahan komposisi limbah gypsum dan air yang digunakan untuk membuat plester dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Substistusi Limbah Gypsum

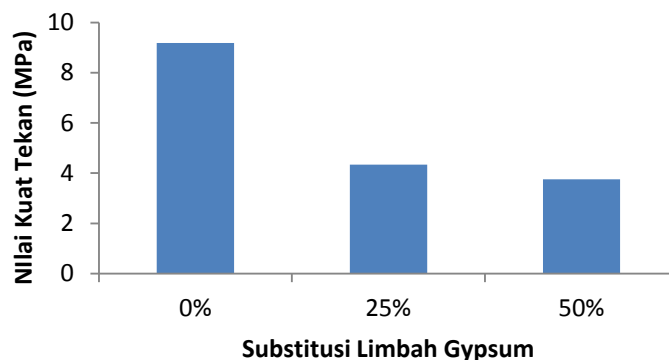
No	Variasi	Gypsum (gr)	Limbah Gypsum (gr)	Air (ml)
1	0%	500	0	275
2	25%	375	125	375
3	50%	250	250	375

C. Kuat Tekan Plester

Nilai kuat tekan plester limbah gypsum yang didapatkan dari beberapa variasi substitusi dapat dilihat pada **Tabel 8**

Tabel 8 Kuat Tekan Plester

No	Variasi	Kuat Tekan (MPa)
1	0%	9,18
2	25%	4,34
3	50%	3,75



Gambar 30 Grafik Kuat Tekan Plester

Pada **Tabel 8** menunjukkan variasi plester 0%, 25%, dan 50% didapatkan hasil uji kuat tekan masing-masing sebesar 9,18 MPa, 4,34 MPa, dan 3,75 MPa. Dapat dilihat pada **Gambar 30** bahwa nilai kuat tekan plester sebesar 25% mengalami penurunan sebesar 52% dibandingkan dengan plester normal (0% limbah gypsum). Sedangkan variasi 25% dan 50% memiliki selisih hanya 0,59 MPa.

Penurunan kekuatan nilai kuat tekan disebabkan oleh penambahan kebutuhan air untuk membuat plester berbahan limbah gypsum. Penambahan air ini menyebabkan pori-pori plester limbah gypsum meningkat sehingga mengurangi nilai kuat tekan. Meskipun mengalami penurunan nilai kuat tekan variasi 25% dan 50% masuk dalam standar kualitas plester Gypsum berdasarkan ASTM C28/C 28M, Standard Specification for Gypsum Plasters untuk *Mill-Mixed*

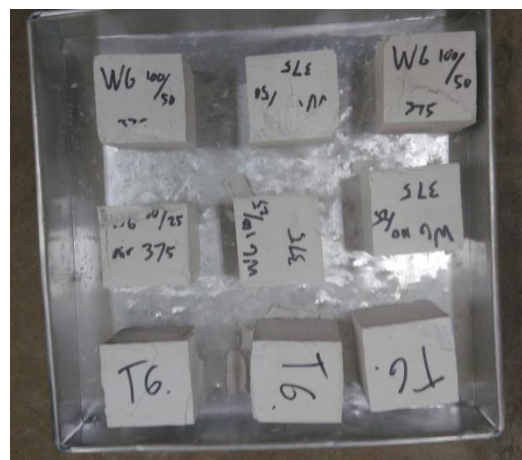
Plaster over Masonry yaitu sebuah plester yang dipakai setelah pengerjaan batu dengan tujuan menjadi *cover* atau penutup.

Pada **Gambar 31** memperlihatkan pengujian kuat tekan plester gypsum menggunakan alat *Universal Testing Machine* berkapasitas 1000 kN.



Gambar 31 Pengujian Kuat Tekan

Sedangkan Hasil pengujian plester limbah gypsum dapat di lihat pada dan **Gambar 32**, dapat dilihat setelah di uji setiap variasi plester gypsum memiliki pola kerusakan yang sama.



Gambar 32 Hasil Uji Kuat Tekan

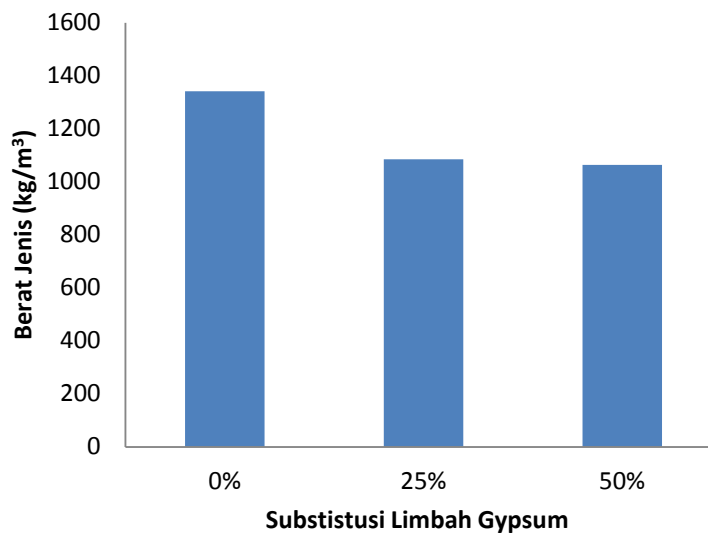
D. Berat Jenis Plester

Pada **Tabel 9** menunjukkan nilai berat jenis setiap sampel plester yang digunakan dengan variasi sebesar 0%, 25%, dan 50%, dapat dilihat bahwa substitusi limbah gypsum dapat mengurangi berat jenis plester dari plester normal yang mempunyai berat jenis sebesar $1341,33 \text{ kg/m}^3$ setelah diberikan substitusi limbah gypsum sebesar 25%, dan 50% dapat mengurangi berat jenis batu bata masing-masing sebesar $1085,33 \text{ kg/m}^3$, dan 1064 kg/m^3 atau penurunan beratnya masing-masing sebesar 19,08%, dan 20,67% terhadap plester normal (0% limbah gypsum).

Tabel 9. Berat Jenis Plester

No	Variasi	Berat Jenis (kg/m^3)
1	0%	1341,33
2	25%	1085,33
3	50%	1064

Dapat dilihat pada **Gambar 33** untuk berat jenis walaupun sama gypsum ternyata gypsum dan limbah gypsum tetap memiliki perbedaan, hal tersebut bisa menjelaskan penurunan berat jenis plaster yang ada, semakin banyak limbah gypsum yang disubstitusi maka berat jenis pada sampel plaster juga ikut berkurang. Hal ini disebabkan oleh berat jenis limbah gypsum lebih kecil daripada gypsum konvensional. Dimana nilai berat jenis limbah gypsum sebesar 2,25 sedangkan gypsum konvensional sebesar 2,31-2,35. Selain itu peningkatan jumlah air pada limbah gypsum menghasilkan pori-pori yang lebih banyak dibandingkan plester gypsum konvensional, hal ini menyebabkan penurunan berat jenis.



Gambar 33 Grafik Berat Jenis Plester

E. Kandungan Air Plester

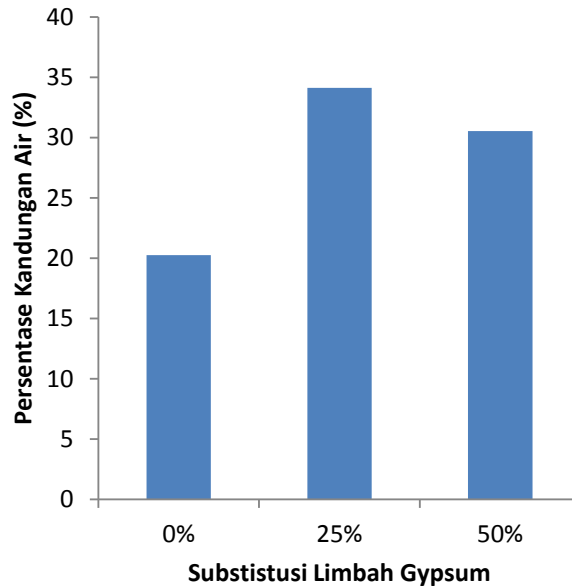
Nilai penyerapan air untuk substitusi gypsum dengan limbah gypsum untuk plester bangunan dapat dilihat pada **Tabel 10**

Nilai kandungan air untuk sampel plester dengan tanpa adanya penambahan limbah gypsum (0%) didapatkan persentase kandungan air yang dimiliki adalah sebesar 20,26%, sedangkan untuk substitusi limbah gypsum 25% meningkat sebesar 34,89% dan substitusi limbah gypsum 50% adalah 30,54 %. Peningkatan kandungan air terjadi karena adanya penambahan air dan penambahan limbah gypsum. Dimana penambahan tersebut menyebabkan bertambahnya pori-pori pada plester sehingga penyerapan air pun meningkat.

Tabel 10 Kandungan Air Plester

No	Substitusi Plester	W1 (gram)	W2 (gram)	Persentase Kandungan Air (%)
1	0%	171,73	142,8	20,26
2	25%	155,53	115,3	34,14
3	50%	137,22	106,6	30,54
W1 = Berat Setelah Oven 24 Jam				
W2 = Berat Setelah Perendaman 24 Jam				

Jumlah perbandingan kandungan air pada plester limbah gypsum dengan dapat dilihat pada **Gambar 34**.



Gambar 34. Grafik Kandungan Air Plester

Terjadinya penurunan kandungan air pada 50% dijelaskan sebagai berikut, pada benda uji 25% dan 50% menggunakan kandungan limbah gypsumnya berbeda dengan jumlah air yang sama yaitu 375 mL. Peningkatan jumlah air pada limbah gypsum menghasilkan pori-pori yang lebih banyak dibandingkan plester gypsum konvensional sehingga kandungan air di dalamnya akan meningkat. Namun akibat jumlah air pada 25% dan 50% sama maka pada benda uji 50% terjadi penurunan kandungan air.

Berdasarkan hasil pengujian, komposisi plester bangunan dengan penambahan limbah gypsum sebagai substitusi gypsum konvensional yang baik adalah 50 : 50 atau plester dengan campuran 50% gypsum konvensional dan 50% limbah gypsum. Plester 50% dan 25% memiliki selisih kuat tekan 13,59%, perbedaan pada berat jenis 1.96 % dan kandungan air lebih rendah 10.54 % . Air yang digunakan pada plester 50% sama dengan plester 25% yaitu 375mL.

Oleh karena itu plester 50% dengan campuran air 375 mL merupakan komposisi yang baik karena dengan jumlah air yang sama dengan plester 25% bentuk adonan yang dihasilkan mendekati adonan plester gypsum konvensional, dapat menghemat hingga 50% dari penggunaan gypsum konvensional, serta hasil plester yang diperoleh telah memenuhi standar plester gypsum berdasarkan ASTM C28/C 28M, Standard Specification for Gypsum Plasters untuk *Mill-Mixed Plaster over Masonry*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya mengenai penggunaan limbah gypsum sebagai material untuk substitusi plester gypsum konvensional, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Substitusi limbah gypsum terhadap gypsum konvensional dalam penggunaan plester dengan berbagai variasi menghasilkan nilai untuk nilai kuat tekan mengalami penurunan seiring semakin banyaknya limbah gypsum yang digunakan disertai penambahan air yang digunakan. Nilai berat jenis plester juga mengalami penurunan, yang dimana semakin rendah berat jenis plester, maka semakin rendah pula nilai kuat tekan yang dihasilkan. Untuk nilai kandungan air, semakin banyak limbah gypsum yang digunakan maka akan semakin besar persentase penyerapan air pada plester, yang mengakibatkan nilai kuat tekan semakin rendah
2. Dilihat dari komposisi pembuatan plester dapat digunakan hingga 50% substitusi untuk gypsum konvensional, dan nilai kuat tekan variasi 25% dan 50% masuk dalam standar kualitas plester Gypsum berdasarkan ASTM C28/C 28M, Standard Specification for Gypsum Plasters untuk *Mill-Mixed Plaster over Masonry*. Tentunya penggunaan kembali (reuse) limbah gypsum yang tinggi dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang terjadi akibat limbah gypsum yang dibuang langsung ke TPA atau juga di buang bebas di lingkungan.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka sebagai bahan pertimbangan, diajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Adonan limbah gypsum dengan substitusi 75% dan 100% pada penelitian ini tidak dapat mengeras, kiranya penelitian selanjutnya dapat menambah bahan substitusi lain agar dapat mengeras
2. Dapat dilakukan pengujian basah kering untuk mengetahui ketahanan limbah gypsum di luar ruangan

DAFTAR PUSTAKA

- Adnin. Putri. 2018. *Pengaruh Penambahan Gypsum Terhadap Karakteristik Bata Ringan Berbahan Dasar Tanah Diatomae*. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh
- ASTM INTERNATIONAL. 2000. ASTM C28 / C28M-00, *Standard Specification for Gypsum Plasters*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- Brun, P., A. Kunz, M. Funke. 2013. *Buried Under Gypsum Powder E. a Rare Respiratory Complication*. Respiratory Medicine Case Reports 8. Pulmonary Department, Inselspital Berne, 3010 Berne, Switzerland
- Chandra. 2019. *Kelebihan dan Kekurangan Gypsum*. Media Satria. Jakarta
- Eries R, A. Camões & S. Jalali. 2007. *Eco-Friendly Construction Materials Using Gypsum and Industrial Wastes*. University of Minho, Guimarães. Portugal
- Gypsum Recycling Internasional. Tanpa Tahun. *Why recycle gypsum waste?* dalam http://www.gipsrecycling.no/158941_Whyrecycle/
- Gypsum to Gypsum. 2018. Facts & Figures dalam <https://gypsumtogypsum.org/gtog/factsandfigures/>
- Garside, M. 2020. *Major Countries in Gypsum Mine Production 2015-2019* dalam <https://www.statista.com/statistics/264936/global-gypsum-production-by-major-countries/>
- Hidayat, Muhammad. 2018. *Studi Karakteristik Batu Bata Berbahan Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit dan Daun Teh (AKSDT)*. Makassar: Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Kozicki, Chris dan Carrie Carlson. 2020. Gypsum Recycling. FEECO International dalam <https://feeco.com/gypsum-recycling/>
- Lestari, Cyntia. 2019. *Batu Bata Berbahan Limbah Abu Cangkang Kelapa Sawit dan Daun Teh Sebagai Peredam Suhu Panas*. Makassar:

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin.

- Lund-Nielsen, H., 2007. *Experience In Gypsum Recycling On Three Continents*.
Global Gypsum Magazine GRI article May 2007
- Lund-Nielsen, H., 2008. *Recycling Of Plasterboard Waste—From ‘Nice To Have’
To A ‘Necessity’*. Global Gypsum, September.
- Lund-Nielsen, H., 2010. *European Long-Term Trends In Recycled Gypsum
Usage*. Global Gypsum Magazine, November.
- Lushnikova N., L. Dvorki. 2016. *Sustainability of Gypsum Products as A
Construction Material*. National University of Water and
Environmental Engineering, Rivne, Ukraine
- Nelson, William H. 2006. *Gypsum Waste Disposal: Land vs Sea Or Recycling
Recycling Options*. Kanada
- Parinduri, Ikhsan. 2013. *Pembuatan dan Karakteristik Papan Gypsum yang
Dibuat dari Serat Kulit Waru (Hibiscus tilitaceus) dan
Campuran Castable (Semen Tahan Panas) Sebagai Bahan
Plafon*. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Permenkes. 1990. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416 Tahun 1990 Tentang
Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air. Jakarta:
Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.
- Permenkes, 2010. Peraturan Mentri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492
Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
Jakarta: Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.
- Pitoko, Ridwan Aji . 2016. “*Meski Efisien, Pemakaian Gypsum di Indonesia
Masih Minim*”, dalam
[https://properti.kompas.com/read/2016/07/21/203000421/
Meski.Efisien.Pemakaian.Gypsum.di.Indonesia.Masih.Mini
m](https://properti.kompas.com/read/2016/07/21/203000421/Meski.Efisien.Pemakaian.Gypsum.di.Indonesia.Masih.Minim).
- Rahman, Amri Nur. 2017. *Saint Gobain Penetrasi Gypsum Menyasar Sulawesi
Selatan* dalam

- <https://sulawesi.bisnis.com/read/20171013/540/777370/saint-gobain-penetrasi-gypsum-menyasar-sulawesi-selatan>
- Ratnawati, G.A.A, dkk. 2016. *Efek Radiasi Gas Radon dari Bangunan Berbahan Gypsum Berpotensi Menimbulkan Kanker Paru-Paru*. Universitas Udayana. Bali
- Sinaga, Salon. 2009. *Pembuatan Papan Gypsum Plafon dengan Bahan Pengisi Limbah Padat Pabrik Kertas Rokok dan Perakat Polivinil Alkohol*. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Siregar, Darwin.A. 2010. *Pemanfaatan Gypsum Karangnunggal, Kabupaten Tasikmalaya untuk Pembuatan Papan Gypsum*. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Volume 6. Nomor 2. Badan geologi, Pusat Survei Geologi, Laboratorium Radiokarbon, Bandung
- Studio Imelda Akmal Architecture. 2007. Seri Rumah Ide “Sustainable Construction” 2007 Studio Imelda Akmal Architecture Writer dalam <https://www.caritra.org/2016/11/21/konsep-konstruksi-berkelanjutan-dalam-lingkup-pembangunan-berkelanjutan/>
- Suwarno, Ardhi Ramadhana. 2014. *Tinjauan Kuat Tekan Bata Beton Dengan Penambahan Limbah Gypsum PT. Petrokimia Gresik Yang Menggunakan Agregat Halus Abu Batu*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- USA Gypsum. 2020. *10 Beneficial Ways to Use Recycled Gypsum* dalam <https://www.usagypsum.com/10-beneficial-ways-use-recycled-gypsum>
- Vrancken, Karl C. dan BartLaethem. 2000. *For Gypsum From Construction and Demolition Waste*. Belgia
- Yangok, Lateefee. 2017. *Plant Design CaSO₄.2H₂O (Gypsum) From CaCO₃ and H₂SO₄ 13 With Capacity 100.000 Ton/Year*. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

ASTM C 28/C 28M – 00 Standard Specification for Gypsum Plasters



Standard Specification for Gypsum Plasters¹

This standard is issued under the fixed designation C 28/C 28M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers four gypsum plasters: gypsum mill-mixed plaster, gypsum neat plaster, gypsum wood fibered plaster and gypsum gauging plaster.

1.2 The values stated in either inch-pound or SI (metric) units are to be regarded separately as the standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system shall be used independently of the other. Values from the two systems shall not be combined. This paragraph does not apply to the appendix.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

1.4 The following safety hazards caveat pertains only to the test methods described in the appendix to this specification. *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

C 11 Terminology Relating to Gypsum and Related Building Materials and Systems²

C 22 Specification for Gypsum²

C 35 Specification for Inorganic Aggregates for Use in Gypsum Plaster²

C 471M Test Methods for Chemical Analysis of Gypsum and Gypsum Products²

C 472 Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters, and Gypsum Concrete²

C 778 Specification for Standard Sand²

E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions shall be in accordance with Terminology C 11.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *gypsum gauging plaster for finish coat, n*—a calcined gypsum plaster designed to be mixed with lime putty for the finish coat.

3.2.2 *gypsum neat plaster, n*—calcined gypsum mixed at the mill with other ingredients to control working quality and setting time.

3.2.2.1 *Discussion*—Neat plaster is either fibered or unfibered. The addition of aggregate is required on the job.

3.2.3 *gypsum mill-mixed plaster, n*—calcined gypsum plaster, mixed at the mill with a mineral aggregate, designed to function as a base coat to receive various finish coats.

3.2.3.1 *Discussion*—Other materials are not prohibited from being added to control setting time and other desirable working properties.

3.2.4 *gypsum wood-fibered plaster, n*—A calcined gypsum plaster in which wood fiber is used as an aggregate.

4. Materials

4.1 *Calcined Gypsum*—Calcined gypsum shall be manufactured from gypsum meeting the requirements of Specification C 22.

4.2 *Vermiculite Aggregate*, Specification C 35.

4.3 *Perlite Aggregate*, Specification C 35.

4.4 *Sand Aggregate*, Specification C 35.

4.5 *Ottawa Sand*, Specification C 778 for 20–30 sand.

4.6 *Wood Fiber*, non staining wood fiber.

5. Composition

5.1 When tested in accordance with Test Methods C 471M, calcined gypsum shall contain no less than 66.0 weight % $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$.

5.2 *Aggregate*—plasters shall contain a volume of aggregate not more than that shown in Table 1.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C11 on Gypsum and Related Building Materials and Systems and is the direct responsibility of Subcommittee C11.01 on Specifications and Test Methods for Gypsum Products.

Current edition approved May 10, 2000. Published July 2000. Originally published as C 28 – 20 T. Last previous edition C 28 – 96¹¹.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

C 28/C 28M

TABLE 1 Composition and Physical Properties

Product	Aggregate Type	Composition, Aggregate per 100 lb of Plaster, not more than		Setting Time ^A	Compressive Strength ^B not less than	
		ft ³	m ³		psi	MPa
Mill-Mixed Plaster over Lath Base	Vermiculite	2	0.057	1½ to 8	450	3.1
	Perlite	2	0.057	1½ to 8	600	4.1
	Sand	2.5	0.071	1½ to 8	700	4.8
Mill-Mixed Plaster over Masonry	Vermiculite	3	0.085	1½ to 8	325	2.2
	Perlite	3	0.085	1½ to 8	400	2.8
	Sand	3	0.085	1½ to 8	400	2.8
Neat Plaster	none	...	...	2 to 16 ^C	750 ^D	5.2
Wood Fibered Plaster	none	...	...	1½ to 8	1200	8.3
Gauging Plaster	none	...	...	^E	1200	8.3

^A Setting time shall be not less than the shorter time shown nor more than the longer time shown.

^B Compressive strengths are as tested at the setting times specified in Test Methods C 472.

^C When mixed with 3 parts by weight of Ottawa sand.

^D When mixed with 2 parts by weight of Ottawa sand.

^E When not retarded, the setting time shall be not less than 20 nor more than 40 minutes and, when retarded, not less than 40 minutes.

NOTE 1—An approximation of the aggregate content may be made by using the test methods in the appendix. A more accurate method for determining sand in plaster is described in Test Methods C 471M. Test Methods C 471M requires that the original sand and plaster components be available separately.

6. Mechanical Properties

6.1 *Compressive Strength*—When tested in accordance with Test Methods C 472 the compressive strength shall be as specified in Table 1.

6.2 *Setting Time*—When tested in accordance with Test Methods C 472 using the Vicat method, the setting time shall be as specified in Table 1.

NOTE 2—*Setting Time*—Attention is directed to conditions affecting job set of gypsum plasters that are usually beyond the control of the producer. Materials added at the site of application such as water and aggregates affect job sets. In addition, the various bases with different absorptive values may affect job performance. The plaster may be retarded to provide a setting time of not more than 4 h. Setting times more than 2 h may result in lower compressive strengths.

6.3 *Fineness of Gauging Plaster for Finish Coat*—When tested in accordance with Test Method C 472 all shall pass a No. 14 [1.4 mm] sieve and not less than 60 % shall pass a No. 100 [150 µm] sieve.⁴

7. Sampling

7.1 At least 1 % of the packages, but not less than 5 packages, shall be sampled. Packages to be sampled shall be selected at random. Samples shall be taken both from the outer portion and the center of each package. The materials so obtained shall be thoroughly mixed to provide a composite sample of not less than 7 lb [3.2 kg]. This composite sample

⁴ Detailed requirements for these sieves are given in Specification E 11.

shall be placed immediately in a clean, dry, airtight container for delivery to the laboratory.

8. Packaging and Package Marking

8.1 Gypsum plasters shall be dry and free of lumps, and shall be shipped in packages.

8.2 When shipped for resale, the following information shall be legibly marked on each package or on a tag of suitable size attached to the package:

- 8.2.1 Name of manufacturer or seller,
- 8.2.2 Brand, and
- 8.2.3 Net weight of the package.

9. Inspection

9.1 Inspection of the gypsum plaster shall be agreed upon between the purchaser and the supplier as part of the purchase agreement.

10. Rejection

10.1 Rejection of gypsum plaster that fails to conform to the requirements of this specification shall be reported to the producer or supplier promptly and in writing. The notice of rejection shall contain a statement documenting requirements of this specification.

11. Certification

11.1 When specified in the purchase agreement, a manufacturer's or supplier's report shall be furnished at the time of shipment certifying that the product is in compliance with this specification.

12. Keywords

12.1 aggregate; gauging plaster; gypsum plaster; mill-mixed plaster; neat plaster; plaster; wood fibered plaster

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. DETERMINATION OF AGGREGATE CONTENT OF MILL-MIXED PLASTER

INTRODUCTION

The determination of the aggregate content of mill-mixed plaster is normally not precise. Most gypsum plasters contain natural impurities that cannot be separated from the aggregate by either mechanical or chemical means. A better estimate can be made by obtaining the approximate purity of the gypsum plaster used in the product from the manufacturer.

An accurate method for determining sand in set plaster is contained in Test Methods C 471M. Separate specimens of the sand and gypsum plaster used in the mill-mixed plaster are required for Test Methods C 471M.

X1.1 Scope

X1.1.1 This appendix covers mechanical and chemical test methods for separating the aggregate from gypsum plaster.

X1.2 Mechanical Separation

X1.2.1 Significance and Use:

X1.2.1.1 This test method is used to estimate the weight or volume of aggregate contained in mill-mixed gypsum plasters by mechanical separation.

X1.2.2 Interferences:

X1.2.2.1 It is assumed by this test method that the aggregate meets Specification C 35 and that only a minor portion of the aggregate passes through a 100-mesh (150 μm) sieve. To the extent that a greater portion passes the 100 mesh sieve, the results will show lower values for volume of the aggregate, and higher values for the weight of the gypsum plaster, than actually in the sample.

X1.2.3 Apparatus:

X1.2.3.1 Sieve—Specification E 11, 100 mesh (150 μm).

X1.2.3.2 Balance—with a capacity of not less than 100 g and a precision of at least 0.1 g.

X1.2.4 Procedure:

X1.2.4.1 Weigh 100 g of the sample to ±0.1 g.

X1.2.4.2 Sieve the 100 g specimen through the 100 mesh (150 μm) sieve. Examine the material on the sieve to be sure small lumps or agglomerates of plaster are not retained. The retained portion is assumed to be aggregate. If the weight ratio of the aggregate and plaster is to be determined, weigh each portion to the nearest 0.1 g. If the volume ratio of aggregate to the weight of plaster is to be determined, measure the volume of aggregate retained on the sieve to the nearest mL and weigh the material passing through the sieve to the nearest 0.1 g.

X1.2.5 Calculation and Report:

X1.2.5.1 Weight Ratio— Calculate and report the weight ratio as pounds of aggregate/100 lb (45 kg) of plaster per Eq X1.1.

$$W_R = \frac{w_a}{w_p} \times 100 \quad (X1.1)$$

where:

W_R = weight ratio, lbs of aggregate/100 lbs (45 kg) of plaster,

w_a = weight of aggregate, g, and,

w_p = weight of plaster, g.

X1.2.5.2 Volume Ratio— Calculate and report the volume ratio as cubic feet of aggregate/100 lbs (45 kg) of plaster per Eq X1.2.

$$V_R = \frac{v_a}{w_p} \times 1.60 \quad (X1.2)$$

where:

V_R = Volume ratio, cubic feet of aggregate per 100 lbs of plaster,

v_a = volume of aggregate, mL, and

w_p = weight of plaster, g.

X1.2.6 Precision and Bias:

X1.2.6.1 It is not practical to specify the precision or the bias of this test method because of the unknown variabilities in the particle sizes of the aggregates.

X1.3 Chemical Separation

X1.3.1 Significance and Use:

X1.3.1.1 This test method is used to estimate the weight or volume of aggregate contained in mill-mixed gypsum plasters by chemical separation.

X1.3.2 Interferences:

X1.3.2.1 It is assumed in this test method that all of the material insoluble in ammonium acetate is aggregate and the soluble material is plaster. In many cases there is a significant amount of insoluble material in the plaster. To the extent that this is true it will produce erroneous calculated amounts of aggregate and plaster. If possible, obtain the approximate purity of the plaster from the manufacturer. This information will greatly increase the accuracy of the results.

X1.3.2.2 In the volume calculation it is assumed that the volume of the insoluble material in the plaster is insignificant compared to the volume of the aggregate. This is usually the case.

X1.3.3 Apparatus:

X1.3.3.1 Analytical Balance—with a precision of 0.001 g.

X1.3.3.2 Drying Oven—capable of maintaining a temperature of 100 to 110°C.

X1.3.4 Reagents:

X1.3.4.1 Ammonium Acetate Solution (250 g/L)—dissolve 250 g of ammonium acetate (NH₄C₂H₃O₂) in water and dilute to 1 L.

X1.3.4.2 Ammonium Hydroxide (1+59)—Mix one volume of concentrated (NH₄OH) (sp gr 0.90) with 59 volumes of water.

X1.3.5 Procedure:

X1.3.5.1 Accurately weigh 40 ± 0.05 g of the sample into a 1-L beaker. Add 600 to 700 mL of (NH₄C₂H₃O₂) solution that is slightly alkaline to litmus paper. If acidic, add a few mL of (NH₄OH) (1+59) to the stock (NH₄C₂H₃O₂) solution to render it slightly alkaline prior to the addition of the test sample.

X1.3.5.2 Warm the suspension to a temperature of 70 ± 5°C and stir continuously for 20 to 30 min. Filter the warm suspension through a small Buchner funnel or Gooch crucible in which filter paper has previously been formed, the funnel and mat having been dried at 110°C to a constant weight within 0.01 g. Refilter the first 100 mL of the filtrate. Wash the aggregate remaining in the beaker onto the filter with an additional 100 mL of warm (NH₄C₂H₃O₂) solution. Wash the beaker and residue with 200 to 300 mL of water, dry the funnel and aggregate at 100°C to constant weight.

X1.3.6 Calculation and Report:

X1.3.6.1 Weight Ratio— Calculate and report the weight ratio as pounds of aggregate/100 lbs (45 kg) of plaster per Eq X1.3.

$$W_R = \frac{w_1 - \frac{w_1 - w_2}{p}}{\frac{w_1 - w_2}{p}} \times 100 \quad (X1.3)$$

where:

W_R = weight ratio, lbs of aggregate/100 lbs (45 kg) of plaster,

w_1 = Weight of original specimen, g,

w_2 = weight of insoluble residue retained on filter, g, and

p = Purity of gypsum plaster expressed as a decimal (that is, 85 % purity = 0.85). If purity is unknown use 0.9 (90 %) as an estimate.

X1.3.6.2 Volume Ratio— Calculate the volume ratio as cubic feet of aggregate/100 lbs (45 kg) of plaster per Eq X1.4.

$$V_R = \frac{v_1}{w_1 - w_2} \times 1.6 \quad (X1.4)$$

where:

V_R = volume ratio, cubic feet of aggregate/100 lbs (45 kg) of plaster,

v_1 = volume of insoluble residue retained on filter, mL,

w_1 = weight of original specimen, g,

w_2 = weight of insoluble residue retained on filter, g, and

p = purity of gypsum plaster expressed as a decimal (that is, 85 % purity = 0.85). If purity is unknown use 0.9 (90 %) as an estimate.

X1.3.7 Precision and Bias:

X1.3.7.1 It is not practical to specify the precision or the bias of this test method because of the unknown variabilities in the purity of the plaster.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Lampiran 2
Dokumentasi Kegiatan

