

SKRIPSI

**SINERGITAS LIMBAH GELAS LAMPU NEON DAN
(*BOTTOM ASH*) SEBAGAI PENGANTI PASIR DALAM
CAMPURAN MORTAR RAMAH LINGKUNGAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**FIDEL DAMPANG
D131 19 1054**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

SKRIPSI

**SINERGITAS LIMBAH GELAS LAMPU NEON DAN
(*BOTTOM ASH*) SEBAGAI PENGGANTI PASIR DALAM
CAMPURAN MORTAR RAMAH LINGKUNGAN**

Disusun dan diajukan oleh:

**FIDEL DAMPANG
D131 19 1054**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

SINERGITAS LIMBAH GLAS LAMPU NEON DAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI PENGGANTI PASIR CAMPURAN MORTAR RAMAH LINGKUNGAN

Disusun dan diajukan oleh

Fidel Dampang
D131191054

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 18 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

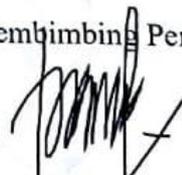
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M.Eng.
NIP 197512142015041000

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Fidel Dampang
NIM : D131191054
Program Studi : Teknik Lingkungan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Sinergitas Limbah Gelas Lampu Neon Dan (*Bottom Ash*) Sebagai Pengganti Pasir Dalam Campuran Mortar Ramah Lingkungan

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 Agustus 2023

Yang Menyatakan

A 10,000 Rupiah revenue stamp (Meterai Tempel) with a signature and the name Fidel Dampang. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text "SEPUUH RIBU RUPIAH", "METERAI TEMPEL", and "AFKX605860110".

ABSTRAK

FIDEL DAMPANG. Sinergitas Limbah Gelas Lampu Neon Dan (*Bottom Ash*) Sebagai Pengganti Pasir Dalam Campuran Mortar Ramah Lingkungan (dibimbing oleh Ibrahim Djamaluddin dan M. Akbar Caronge)

Aktivitas manusia dalam pelaksanaan proyek konstruksi bangunan dapat menimbulkan dampak yang merugikan negatif terhadap lingkungan di sekitarnya yaitu emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang menyumbang sekitar 21,46%. Salah satu penyebabnya yaitu penggunaan material konstruksi seperti konvensional dan diperoleh melalui proses kalsinasi yang menyumbang emisi CO₂. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil perbandingan kuat tekan menggunakan bahan pembuatan mortar pasir dengan semen, dan menggunakan limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*, pengaruh air rendaman pH pada kuat tekan mortar dari campuran limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*, memprediksi kandungan (CO₂) yang dilepaskan pada pembuatan mortar biasa dengan campuran mortar dengan limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*, serta arahan peningkatan aspek lingkungan. Dengan menggunakan metode penelitian yang bersifat eksperimental dan dilakukan di Laboratorium untuk melakukan pengujian seperti kuat tekan, pH dan perhitungan emisi CO₂ dengan variasi substitusi yang digunakan *cement* dan pasir, 90% BA + 10% GP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi 90% BA + 10% GP, memiliki kuat tekan yang paling tinggi dengan nilai 26,692 MPA karena glass powder bertindak sebagai bahan pozzolan dan *bottom ash* memiliki sifat fisik seperti pasir, sehingga pengaruh karbonasi berkurang dan daya tahan mortar meningkat, terjadinya fenomena penurunan 70% BA + 30 GP dan kenaikan kuat tekan pada 60% BA + 40% GP karena terjadinya masalah pada hasil adukan yang tidak proporsional (segregasi). pH yang didapatkan cenderung bersifat basa yaitu berkisar antara 11-12 yang menunjukkan bahwa pH tersebut normal apabila diaplikasikan ke lingkungan karena dapat menahan kondisi cuaca yang bervariasi. Serta reduksi bahan baku menurun sebesar 42,68% dengan total CO₂ yang berhasil diturunkan sebesar 0,173kg-CO₂eq/m³.

Kata kunci: Mortar, limbah gelas, *Bottom Ash*, *lampu neon*, CO₂.

ABSTRACT

FIDEL DAMPANG. *synergy of waste glasses of neon lights and (bottom ash) as sand replacements in environmentally friendly mortar mixtures Ibrahim Djamaluddin. Akbar Caronge)*

Human activities in the implementation of building construction projects can have a negative detrimental impact on the surrounding environment, namely Greenhouse Gas (GRK) emissions which contribute around 21.46%. One of the causes is the use of construction materials such as conventional and obtained through the calcination process which contributes to CO₂ emissions. This study aims to determine the results of the comparison of compressive strength using sand mortar making materials with cement, and using neon lamp glass waste and bottom ash, the effect of pH bath water on the compressive strength of mortar from a mixture of neon lamp glass waste and bottom ash, predicting the content (CO₂) released in the manufacture of ordinary mortar with a mixture of mortar with neon lamp glass waste and bottom ash, as well as directions for improving environmental aspects. By using experimental research methods and carried out in the laboratory to conduct tests such as compressive strength, pH and calculation of CO₂ emissions with substitution variations used cement and sand, 90% BA + 10% GP. The results showed that the 90% BA + 10% GP variation had the highest compressive strength with a value of 26.692 MPA because glass powder acts as a pozzolanic material and bottom ash has physical properties such as sand, so that the effect of carbonation is reduced and the durability of the mortar increases, the phenomenon of a decrease in 70% BA + 30 GP and an increase in compressive strength at 60% BA + 40% GP due to problems with the results of disproportionate mortar (segregation). The pH obtained tends to be alkaline, which ranges from 11-12, which indicates that the pH is normal when applied to the environment because it can withstand varying weather conditions. And the reduction of raw materials decreased by 42.68% with a total CO₂ reduction of 0.173kg-CO₂eq/m³.

Keywords: *Mortar, waste glass, Bottom Ash, fluorescent lamp, CO₂.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	3
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mortar	5
2.2 Jenis-Jenis Mortar	5
2.3 Penelitian terdahulu <i>bottom ash</i> mortar	8
2.4 Semen <i>Portland</i>	13
2.5 Komposisi Semen <i>Portland</i> (SNI 15-2049-2004)	14
2.6 Agregat halus dan Material Pozzolan	16
2.7 Limbah Gelas Lampu Neon.....	18
2.8 Safety Pengolahan Limbah Gelas Lampu.....	21
2.9 Dampak Penambangan Pasir.....	24
2.10 <i>Bottom Ash</i> (Abu Endapan)	26
2.11 Air.....	27
2.12 Kuat Tekan Mortar.....	28
2.13 Perendaman pH.....	29
2.12 CO ₂	29
BAB III METODOLOGI	32
3.1 Bagan Alir Penelitian	32
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	34
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	34
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	35
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material.....	36
3.5 Pembuatan Benda uji.....	36
3.6 Perawatan (<i>curing</i>) Benda Uji	37
3.7 Uji Kuat Tekan Mortar	38
3.8 Uji pH.....	40
3.9 Uji CO ₂	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Kuat Tekan	44
4.2 pH.....	46

4.3 Analisis CO ₂ Pemanfaatan <i>Bottom ash</i> dan gelas lampu neon Sebagai Substitusi Pada Mortar.....	48
4.4 Arahana Peningkatan Aspek Lingkungan.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2. Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses pembuatan mortar ramah lingkungan	23
Gambar 2. Proses terbentuknya <i>bottom ash</i>	26
Gambar 3. Bagan Alir Penelitian.....	32
Gambar 4. Lokasi Penelitian	34
Gambar 5. Alat Dan Bahan Penelitian	35
Gambar 6. Perawatan (<i>curing</i>) Benda Uji.....	37
Gambar 7. Data Logger Serta Satu Set Computer.....	39
Gambar 8. Grafik hasil uji kuat tekan	44
Gambar 9. Rentang pH.....	45
Gambar 10. Pengujian Kadar Asam dan Basah pada sampel 1 (C, 100 BA, dan, 90 BA : 10 GP	45
Gambar 11. Pengujian Kadar Asam Dan Basa Pada Sampel 2 (80 BA :20 GP, 70 BA : 30 GP, Dan 60 BA : 40 GP).....	46
Gambar 12. Total Hasil Kuat Tekan Pada Sampel Mortar	46
Gambar 13. CO ₂ Pada Tahap Bahan Baku	49

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis-Jenis Spesifikasi Proporsi Mortar.....	6
Tabel 2. Panduan Untuk Memilih Mortar Pasangan.....	6
Tabel 3. Persyaratan Spesifikasi Properti.....	8
Tabel 4. Syarat Kimia utama (SNI 15-2049-2004) Satuan dalam %	14
Tabel 5. Syarat fisika utama (SNI 15-2049-2004).....	14
Tabel 6. Proses Hidrasi Semen Portland	16
Tabel 7. Jumlah Senyawa Kimia Semen Portland.....	16
Tabel 8. Sifat Fisik khas <i>Bottom Ash</i>	20
Tabel 9. Intensitas CO ₂ Bahan Bangunan kotruksi.....	24
Tabel 10. Pemeriksaan Karakteristik Pasir	29
Tabel 11. Kategori Nama dan Sumber Data Indeks Siklus Hidup	34
Tabel 12. <i>Emission factors for cement-block materials</i>	35
Tabel 13. Kondisi limbah Gelas Lampu di Dunia.....	37
Tabel 14. penambangan pasir di negara-negara	42
Tabel 15. Hasil Analisa Kuat Tekan Mortar.....	43
Tabel 16. Informasi Data yang Akan Dianalisis pada <i>mix design</i>	47
Tabel 17. Hasil kandungan CO ₂ yang dilepaskan Pada Tahap Bahan Baku.....	48

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
GRK	Gas Rumah Kaca
CO ₂	Karbon Dioksida
FA	<i>Fly Ash</i>
BA	<i>Bottom Ash</i>
SiO ₂	Silikon Dioksida
N ₂ O	Dinitrogen Oksida
HFCs	Hidrofluorokarbon
PFCs	Perfluorocarbon
SF ₆	Sulfur Heksafluorida
NF ₃	Nitrogen Trifluorida
SF ₅ CF ₃	Trifluorometil Sulfur Pentafluorida
CF ₃ I	Trifluoriodometana
CH ₂ Br ₂	Dibromometan
CHCl ₃	Triklorometana
CH ₃ Cl	Metil Klorida/Klorometana
CH ₂ Cl ₂	Metilena Klorida/Diklorometana
CaO	Kalsium Oksida
SiO ₂	Silikon Dioksida
Al ₂ O ₃	Aluminium Oksida
Fe ₂ O ₃	Ferrioksida/Besi (III) Oksida
MgO	Magnesium Oksida
SO ₃	Sulfur Trioksida
Na ₂ +K ₂ O	Natrium+Kalium Oksida
SNI	Standar Nasional Indonesia
ASTM	<i>American Standard Testing and Material</i>
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
ASM	<i>Advancing Shoring Method</i>
C	<i>Cement/Semen</i>

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
S	<i>Sand/Pasir</i>
Unit MCO _{2eq}	CO ₂ GRK setiap bahan baku per unit
GRK _M	CO ₂ GRK selama tahap pembuatan Mortar
Kwh	<i>Kilowatt-Hour/Kilowatt per jam</i>
pH	Pontential of Hydrogen
Hg	Merkuri
Mpa	Megapascal/Tekanan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Total CO ₂ pada Sampel-1	57
Lampiran 2 Perhitungan Total CO ₂ pada Sampel-2	57
Lampiran 3 Perhitungan Total CO ₂ pada Sampel-3	58
Lampiran 4 Perhitungan Total CO ₂ pada Sampel-4	58
Lampiran 5 Perhitungan Total CO ₂ pada Sampel-5	59
Lampiran 6 Perhitungan Total CO ₂ pada Sampel-6	59
Lampiran 7 Perhitungan Total CO ₂ Serta Persentase Tiap Tahapan	60
Lampiran 8 Dokumentasi Kegiatan	61

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang atas berkat dan karunia-Nya sehingga penyusunan tugas akhir yang berjudul “**Sinergitas Limbah Gelas Lampu Neon Dan (*Bottom Ash*) Sebagai Pengganti Pasir Dalam Campuran Mortar Ramah Lingkungan**” dapat terselesaikan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mengalami hambatan, namun berkat bantuan dan arahan yang ikhlas dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak David dan Ibu Lince Salikunna, selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa yang tulus hingga penulis sampai di titik ini;
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin atas semua kebijakan dan dukungannya yang telah membantu penulis selama perkuliahan;
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas semua dukungan dan kebijakannya sehingga penulis dapat mengikuti perkuliahan dengan baik;
4. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin atas segala bimbingan dan nasehat yang diberikan;
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Ibrahim Djamaluddin, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Utama Pendamping yang selalu sabar saat memberi arahan saat proses penelitian hingga proses bimbingan tugas akhir;
6. Bapak Dr. Eng. M. Akbar Caronge, S.T., M.Eng., Dosen Pembimbing Kedua yang telah meluangkan waktu, kesempatan, dan tenaganya untuk membimbing penulis dalam penulisan tugas akhir;
7. Bapak Dr. Eng. Irwan Ridwan Rahim, S.T., M.T., selaku Kepala Lab Riset Sanitasi dan Persampahan. dan selaku Dosen Penguji yang telah memberikan komentar, saran dan arahan;

8. Ibu Dr. Eng. Asiyanthi T Lando, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan komentar, saran dan arahan;
9. Seluruh Dosen Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin yang telah membimbing penulis sejak awal perkuliahan hingga penulis lulus;
10. Ibu Sumi, Pak Olan, dan kak utami selaku staf Departemen Teknik Lingkungan yang selalu membantu semua proses administrasi;
11. Dhea Aprilia, yang telah menemani serta membantu penulis melewati masa-masa sulit yang penulis alami baik permasalahan kuliah maupun diluar perkuliahan;
12. Elvira Gosal yang telah membantu hingga bertukar ide dan wawasan hingga sekarang, serta turut membantu dan mendoakan selama proses pembuatan laporan tugas akhir.
13. Teman-teman Teknik Lingkungan 2019 yang selalu memberikan semangat, dukungan, cerita, hingga suka maupun duka selama berproses di Teknik.
14. Serta segala pihak yang ikut serta terlibat dalam penelitian hingga pembuatan laporan tugas akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam pembuatan tugas akhir ini. Untuk itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat dibutuhkan oleh penulis untuk perbaikan ke depannya. Terimakasih.

Gowa, 18 Agustus 2023

(Fidel Dampang)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas industri dunia yang semakin meningkat, khususnya di negara-negara berkembang seperti Indonesia, juga menghasilkan limbah yang terus bertambah. Berkembangnya industri tiap tahunnya hal ini mengakibatkan perubahan iklim dan polusi jangka panjang di planet kita. Contohnya, diyakini bahwa CO₂ dari kendaraan dan proses industri menyebabkan pemanasan global. Adapun limbah padat banyak membawa zat beracun yang terkait dengan keracunan ekosistem atau setidaknya dengan masalah kesehatan manusia. Ini adalah kasus lampu pelepasan intensitas tinggi, digunakan dalam industri dan penerangan umum, serta lampu neon yang semakin banyak menggantikan lampu pijar di rumah dan kantor (Aqualdo, dkk 2012). [17]

Berdasarkan data dari Anita Intan Nura Diana dkk, 2020 menyebutkan bahwa data sampah limbah kaca non di Indonesia mencapai 0,7 juta ton. Lampu neon mengandung merkuri (Hg), yang dapat menyebabkan polusi beracun jika hanya dibuang di tempat sampah atau pembuangan kota. Kaca lampu limbah dapat bervariasi dalam hal komposisi kimia tetapi silika, SiO₂, adalah komponen utama. Sebenarnya jenis kaca soda-lime yang umum, dengan sekitar 74% SiO₂; 16% Na₂O, 5% CaO dan 4% MgO, mendominasi dalam limbah kaca lampu neon. Dua alternatif daur ulang yang sering dilakukan adalah peleburan untuk digunakan kembali sebagai biaya rendah kaca atau penggabungan ke dalam bahan konstruksi seperti mortar/beton. Investigasi pada lampu neon penggabungan limbah kaca dalam keramik tanah liat telah diterbitkan dalam beberapa tahun terakhir. Karena limbah kaca lampu ini memiliki kandungan SiO₂ yang lebih tinggi, maka penggabungannya ke dalam mortar dapat juga menjadi alternatif yang layak. Padahal karakteristik mortar membutuhkan pasir, yang biasanya mengandung SiO₂, seperti gelas soda-kapur biasa (Marcin Małek, dkk 2020). [6]

Di Indonesia, banyak pembangkit listrik berupa pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar. Proses pembakaran batu bara akan menghasilkan *bottom ash*, dimana material tersebut di kategorikan

sebagai hasil sampingan (*by-product*). Namun hingga sekarang ini, sebagian *bottom ash* disimpan di kolam penampungan. Bertambahnya kebutuhan akan energi listrik akan meningkatkan jumlah abu terbang dan *bottom ash* yang tersimpan di kolam penumpukan, dimana lahan penyimpanan semakin berkurang dan *bottom ash* akan memberikan dampak lingkungan yang negatif bila penyimpanannya tidak terkontrol. *Bottom ash* adalah limbah hasil pembakaran batu bara dimana jumlahnya akan terus bertambah selama industri terus memproduksi. Penanganan limbah ini dilakukan dengan cara menimbunnya dilahan kosong sehingga apabila volume limbah semakin bertambah maka semakin luas pula area yang diperlukan untuk menimbunnya. Selain itu penanganan limbah dengan cara penimbunan dapat berpotensi bahaya bagi lingkungan dan masyarakat sekitar seperti, logam-logam dalam abu bata bara terekstrak dan terbawa ke perairan, abu batu bara tertiuip angin sehingga mengganggu pernafasan (Ghozali, K. E., dkk 2018). [16]

Salah satu beban yang akan dipikul oleh mortar sebagai perekat adalah beban tekan. Perilaku tegangan regangan yang terjadi pada suatu material termasuk mortar ketika merespons beban tekan merupakan parameter yang penting untuk diketahui.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan penggabungan limbah kaca lampu neon dan *bottom ash* menjadi campuran semen melalui karakterisasi kimia dan fisik awal limbah diikuti dengan evaluasi kekuatan mekanik dan penyerapan air, selama waktu perawatan mortar dengan jumlah limbah dan rasio air terhadap semen yang berbeda.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukanlah penelitian dengan judul:

“Sinergitas Limbah Gelas Lampu Neon Dan (*Bottom Ash*) Sebagai Pengganti Pasir Dalam Campuran Mortar Ramah Lingkungan”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Bagaimana hasil perbandingan kuat tekan menggunakan bahan pembuatan mortar pasir dengan semen, dan menggunakan limbah gelas lampu neon dan *bottom ash* ?

2. Bagaimana pengaruh air rendaman pH pada kuat tekan mortar dari campuran limbah gelas lampu neon dan *bottom ash* ?
3. Bagaimana memprediksi kandungan (CO_2) yang dilepaskan pada pembuatan mortar biasa dengan campuran mortar dan limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*, dan arahan peningkatan aspek lingkungan?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Berdasarkan latar belakang terkait, maka dapat di rumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Untuk mengetahui hasil perbandingan kuat tekan menggunakan bahan pembuatan mortar pasir dengan semen, dan menggunakan limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*.
2. Untuk mengetahui pengaruh air rendaman pH pada kuat tekan mortar dari campuran limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*.
3. Untuk menganalisis pengaruh kandungan (CO_2) yang dilepaskan pada pembuatan mortar biasa dengan campuran mortar dengan limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*, dan arahan Peningkatan Aspek Lingkungan.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan adalah sebagai berikut.

1. Manfaat akademis, diharapkan dapat mejadi referensi bagi peneliti maupun mahasiswa lain guna menambah pengetahuan dan pemahaman terutama dalam pemanfaatan *Bottom ash* dan Limbah gelas lampu neon sebagai material substitusi serta strategi guna mengurangi penggunaan semen pada bahan konstruksi dan mengurangi karbon CO_2 .
2. Manfaat praktis, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis serta mendapatkan karakteristik mortar terhadap variasi substitusi (*bottom ash*) dan limbah gelas lampu neon sebagai bahan campuran semen dan pengganti pasir, dan pengaruh substitusi *bottom ash* terhadap kuat tekan mortar.

3. Dan juga untuk diterapkan dalam setiap pembangunan konstruksi dengan meninjau besaran CO₂ yang dihasilkan serta strategi untuk menekan besaran CO₂ yang dilepaskan.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian ini dapat dilakukan lebih fokus dan mendalam maka penulis memandang permasalahan penelitian yang diangkat perlu dibatasi variabelnya. Oleh sebab itu, penulis memberikan ruang lingkup penelitian sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi proses pembuatan Mortar yang dibuat dari *bottom ash* yang merupakan abu dasar dan Limbah gelas lampu neon dan *bottom ash* digunakan sebagai pengganti 100% pasir.
2. Kuat geser diperlukan tetapi di dalam penelitian ini berfokus pada kuat tekan, dimana menggunakan bahan pembuatan mortar pasir dengan semen, dan menggunakan limbah gelas lampu neon dan *bottom ash*.
3. Mortar ramah lingkungan yang ditinjau berupa besaran CO₂ yang dihasilkan dari masing-masing material mortar dan menghitung perbandingan nilai CO₂ yang dihasilkan dari Mortar konvensional dengan Mortar yang memanfaatkan *bottom ash* dan Limbah gelas lampu.
4. Perbandingan analisis pembuatan mortar konvensional dan mortar limbah gelas lampu neon dan *bottom ash* untuk membantu dalam mengevaluasi ekonomi dan keberlanjutan solusi penggunaan limbah gelas lampu dan *bottom ash*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mortar

Mortar merupakan bahan bangunan yang banyak digunakan sebagai bahan plesteran, pekerjaan pemasangan dan pekerjaan lainnya. Bahan ikat yang digunakan secara umum adalah semen *portland*. Penggunaan semen *portland* sebagai bahan pengikat dalam mortar secara langsung dapat mempengaruhi nilai teknis dan ekonomis dari bangunan sehubungan dengan kualitas, harga dan proporsi campuran yang digunakan. Pengurangan semen *portland* akan berdampak pada penurunan kualitas bangunan yang pada akhirnya akan membahayakan struktur bangunan.

Pengertian mortar adalah adukan yang terdiri dari pasir, bahan perekat dan air. Bahan perekat dapat berupa tanah liat, kapur, maupun semen. Bila tanah yang dipakai sebagai bahan perekat disebut mortar lumpur (*mud mortar*), bila kapur yang dipakai sebagai bahan perekat disebut mortar kapur, dan bila semen yang dipakai sebagai bahan perekat maka disebut mortar semen. Pasir berfungsi sebagai bahan pengisi (bahan yang direkat). (Yulianto Hendra, Imam Muchoyar 2014) [5]

Fungsi utama mortar adalah menambah lekatan dan ketahanan ikatan dengan bagian-bagian penyusun suatu konstruksi. Kekuatan mortar tergantung pada kohesi pasta semen terhadap partikel agregat halusnyanya. Mortar mempunyai nilai penyusutan yang relatif kecil. Mortar harus tahan terhadap penyerapan air serta kekuatan gesernya dapat memikul gaya-gaya yang bekerja pada mortar tersebut. Jika penyerapan air pada mortar terlalu besar/cepat, maka mortar akan mengeras dengan cepat. (Yulianto Hendra, Imam Muchoyar 2014) [5]

2.2 Jenis-Jenis Mortar

Dapat dilihat pada SNI 03-6882-2014: spesifikasi Mortar Untuk Perkerjaan Pemasangan, Badan. Standarisasi Nasional, mendefinisikan jenis-jenis mortar seperti **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Jenis-Jenis spesifikasi proporsi mortar

Mortar	Tipe	Campuran dalam volume (bahan bersifat semen)				Kapur padam atau kapur pasta	Rasio agregat (pengukuran pada kondisi lembab dan gembur
		Semen portland / semen giling	Semen pasangan				
			M	S	N		
Kapur semen	M	1	2 1/4 - 3 kali jumlah volume bahan bersifat semen	
	S	1	...	...	...
	N	1	...	...	...
semen	O	1	2 1/4 - 3 kali jumlah volume bahan bersifat semen	
	M	1	...	...	1
	M	...	1	...	...
	S	½	...	...	1
	S	...	...	1	...
	N	...	...	...	1
O	...	...	...	1	

Sumber: SNI 03-6882-2014

Tabel 2. Panduan Untuk Memilih Mortar Pasangan

Lokasi	Bagian Bangunan	Tipe Mortar	
		Rekomendasi	Alternatif
Bagian luar, di atas level	Dinding pemikul beban	N	S atau M
	Dinding bukan pemikul	O	S atau M
	Beban sandaran dinding	N	S
Bagian luar, di bawah level	Pondasi, dinding, dinding pemikul beban, manhole, sumur, jalan, setapak	S	M atau N
Bagian dalam	Dinding pemikul beban, partisi bukan pemikul beban	N	S atau M
		O	N
Bagian luar dan dalam	dekoratif	O	N

Sumber: SNI 03-6882-2014

- a. Mortar tipe M
Mortar tipe M merupakan campuran dengan kuat tekan yang tinggi yang direkomendasikan untuk pasangan bertulang maupun pasangan tidak bertulang yang akan memikul beban tekan yang besar. Kuat tekan minimumnya 17,2 MPa.
- b. Mortar tipe S
Mortar tipe ini direkomendasikan untuk struktur yang akan memikul beban tekan normal tetapi dengan kuat lekat lentur yang diperlukan untuk menahan beban lateral besar yang berasal dari tekanan. tanah, angin dan beban gempa. Karena keawetannya yang tinggi, mortar types juga direkomendasikan untuk struktur pada atau di bawah tanah, serta yang selalu berhubungan dengan tanah, seperti pondasi, dinding penahan tanah, perkerasan, saluran pembuangan dan mainhole. kuat tekan minimumnya adalah 12,4 MPa.
- c. Mortar tipe N
Mortar tipe N merupakan mortar yang umum digunakan untuk konstruksi pasangan di atas tanah. Mortar ini direkomendasikan untuk dinding penahan beban interior maupun eksterior. Mortar dengan kekuatan sedang ini memberikan kesesuaian yang paling baik antara kuat tekan dan kuat lentur, *workabilitas*, dan dari segi ekonomi yang direkomendasikan untuk aplikasi konstruksi pasangan umumnya. Kuat tekan minimumnya adalah 5,2 MPa.
- d. Mortar tipe O
Mortar tipe O merupakan mortar dengan kandungan kapur tinggi dan kuat tekan yang rendah. Mortar tipe ini direkomendasikan untuk dinding interior dan eksterior yang tidak menahan beban struktur, yang tidak menjadi beku dalam keadaan lembab atau jenuh. Mortar tipe ini sering digunakan untuk pekerjaan setempat, memiliki *workabilitas* yang baik dan biaya yang ekonomis. Kuat tekan minimumnya adalah 2,4 MPa.
- e. Mortar tipe K
Mortar tipe K memiliki kuat tekan dan kuat lekat lentur yang sangat rendah. Mortar tipe ini jarang digunakan untuk konstruksi baru, dan direkomendasikan dalam ASTM C270 hanya untuk konstruksi bangunan lama yang umumnya menggunakan mortar kapur. Kuat tekan minimumnya adalah 5,2 MPa.

Persyaratan spesifikasi properti mortar dapat dilihat pada **Tabel 3** sesuai dengan SNI 6882-2014:

Tabel 3. Persyaratan spesifikasi properti

Mortar	Tipe	Kekuatan tekan rata-rata pada umur 28 hari min, MPa (psi)	Retensi air, min, %	Kadar udara, maks, %	Rasio agregat (diukur dalam kondisi lembab, lepas)
			7		
			5	12	
Semen-kapur	M	17,2 (2 500)	7	12	
	S	12,4 (1 800)	5	14	
	N	5,2 (750)	7	c	
	O	2,4 (350)	5	14	
				7	c
			5		Tidak kurang dari 2 1/4 dan tidak lebih dari 3 1/2 jumlah dari volume-volume terpisah dari material sementisius
			7		
Semen mortar	M	17,2 (2 500)	5	12	
	S	12,4 (1 800)	7	12	
	N	5,2 (750)	5	14	
	O	2,4 (350)	7	c	
				5	14
			7	c	
			5		
Semen pasangan	M	17,2 (2 500)	7	18	
	S	12,4 (1 800)	5	18	
	N	5,2 (750)	7	20	
	O	2,4 (350)	5	D	
				7	20
			5	D	

Sumber: SNI 6882-2014

2.3 Penelitian terdahulu *bottom ash* mortar

Tsana Oktaviana dan Anni Susilowati dkk (2021) melakukan penelitian untuk menganalisa pengaruh campuran *bottom ash* terhadap sifat fisik dan meknik mortar semen. Pemanfaatan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus diharapkan dapat menjadi solusi untuk lingkungan sekitar dan dapat sebagai *reference* di bidang *construction*. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan membuat benda uji mortar semen dengan perbandingan campuran yaitu IPC: 3PS dan variasi *bottom ash* sebesar 0%,20%,40%,60%,80% terhadap berat pasir. Selain itu penelitian ini juga menggunakan metode statistik menggunakan *software* SPSS untuk menganalisis besarnya pengaruh *bottom ash*

terhadap mortar semen. Tahapan penelitian, yaitu persiapan alat dan bahan, menguji bahan, membuat benda uji, serta analisis hasil pengujiannya.

Setelah semua bahan memenuhi syarat, selanjutnya adalah membuat rancang campuran mortar semen. Kemudian melakukan pembuatan benda uji berupa kubus dan balok yang akan diuji pada umur 28 hari. Hasil analisis menunjukkan penggunaan *bottom ash* menurunkan nilai konsistensi sebesar 1,82% sampai dengan 45,45% dibandingkan tanpa penggunaan *bottom ash*. Penggunaan *bottom ash* 20% mampu meningkatkan kuat tekan sebesar 50% dan kuat lentur sebesar 28,3% pada umur 28 hari dibandingkan dengan mortar semen tanpa penggunaan *bottom ash*.

Aldi Vincent Sulistio dkk (2016) Dalam penelitian ini, *bottom ash* diberi treatment ayak dan tumbuk untuk digunakan sebagai pengganti pasir dalam campuran mortar. Hal pertama yang dilakukan adalah pengujian karakteristik fisik dan kimiawi dari *bottom ash*. Dilakukan pengujian *water content*, *sieve analysis*, *fineness* modulus, dan berat isi dari pasir dan *bottom ash* yang digunakan. Pengujian kuat tekan dan *flowability* pada mortar *high volume Bottom ash* (HVBA) menggunakan *bottom ash* sesudah diberi treatment dibandingkan dengan mortar HVBA yang menggunakan pasir.

Pengujian tersebut dijadikan tolak ukur untuk mengevaluasi pengaruh penggantian *bottom ash* terhadap pasir. Dari penelitian ini, dapat dievaluasi bahwa Perubahan kekuatan dari mortar dengan 100% penggantian pasir dengan *bottom ash* bervariasi. *Bottom ash* yang di ayak dengan halus memberikan penurunan kekuatan terbanyak, sedangkan *bottom ash* yang ditumbuk memberikan hasil yang bertolak belakang.

Hafiz Asad Ali dkk (2019) melakukan Penelitian tentang berbagai jumlah bahan tambahan semen komersial (SCM) yang tersedia untuk industri beton telah habis dan oleh karena itu berbagai jenis beton sedang hingga rendah limbah padat aktif dianggap sebagai SCM. Namun, menggunakan limbah seperti SCM membutuhkan efisiensi dan prosedur praktis untuk memperkirakan reaktivitas jangka panjangnya. Untuk tujuan ini, mekanik yang berbeda dan skema pengujian kimia telah ditentukan (misalnya uji *Chapelle*, kekuatan relatif, indeks aktivitas, uji reaktivitas kapur yang dimodifikasi, metode R3) untuk menilai reaktivitasnya.

Dalam penelitian ini, berbagai macam limbah padat termasuk *bottom ash* yang dibakar *incinerated bottom ash* (IBA), bubuk kaca soda-kapur berwarna berbeda, kaca lampu neon bubuk (FLGP) diuji untuk mengevaluasi reaktivitasnya. Telah ditemukan bahwa ada korelasi moderat antara kekuatan relatif 180 hari (RS 180 hari) dari mortar standar dan kadar air terikat atau konsumsi *portland* dari metode R3. Apalagi mortarnya nilai kekuatan uji reaktivitas kapur yang dimodifikasi cukup berkorelasi dengan RS 180 hari dari mortar standar.

Sebagai perbandingan, nilai konsumsi portlandit dari uji *Chapelle* memiliki korelasi yang buruk dengan RS 180 hari. Selain itu, bahan yang dipelajari dapat diklasifikasikan sebagai rendah reaktif (IBA), cukup reaktif (MGP, BGP, WGP, GGP, BGP, FLGP) dan SCM yang sangat reaktif (PFA).

Dalam penelitian yang telah dilaksanakan oleh P. Ramadoss dkk (2012) dilakukan untuk mempelajari sifat-sifat mortar pasangan bata yang menggabungkan abu dasar sebagai penggantian sebagian agregat halus pada 20, 30, 40 dan 50% dari berat. *Bottom ash* batubara (BA) dari pembangkit listrik termal dibuang dengan cara penimbunan, yang mengakibatkan kondisi pH tanah tinggi dan menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan sekitar. Pemanfaatan produk sampingan tersebut merupakan alternatif yang menarik untuk menjaga lingkungan. Hasilnya menunjukkan bahwa partikel BA berukuran besar, berpori dan bentuknya tidak beraturan. Dengan ukuran partikel yang mendekati ukuran pasir, dapat digunakan sebagai agregat halus pengganti pasir pada mortar semen. Dalam penelitian ini, kuat tekan mortar pasangan bata (CM 1:4 menurut massa) pada 7, 28, dan 45 hari dan balok-balok pasangan bata pada 28 hari, dan modulus pecah pada 28 hari diuji.

Diamati bahwa kekuatan tekan mencapai peningkatan maksimum 1,7% pada penggantian BA 20%, sehingga memimpin sampai pada kesimpulan bahwa BA dapat digunakan pada penggantian 20% dari agregat halus. *Modulus of rupture* pada 28 hari meningkat sebesar 2,0% pada penggantian BA 20%. Tes daya tahan menunjukkan nilai serapan mortar berbahan dasar abu dasar dalam kisaran 0,547–0,746 mm/min^{0.5} yang sebanding dengan nilai diperoleh peneliti sebelumnya.

Rey-Raap dan Gallardo ddk (2019) melakukan penelitian tentang konsentrasi merkuri dalam lampu fluorescent bekas (SFL) berada dalam

kisaran $2,37 \pm 0,50$ mg/g (rata-rata lampu kompak dan linier dari berbagai produsen, tempat dan bertahun-tahun). Seperti yang disimpulkan oleh penulis ini, pada akhir masa manfaat lampu 13,66% merkuri berdifusi dalam kaca selama jam kerja, sedangkan bubuk fosfor mengandung 85,76% merkuri (sisa 0,58% terletak pada fase uap). Meskipun kaca umumnya dapat didaur ulang beberapa kali tanpa kehilangan kualitas, menurut Mehta dan Ashish proses peleburan kembali sangat sensitif terhadap kontaminasi apa pun (hanya 5 g kaca yang terkontaminasi dapat mempengaruhi satu ton bahan selama pembuatan pabrik). Selain itu, ulasan yang berbeda telah merangkum berbagai aplikasi konstruksi di mana kaca telah berhasil digunakan kembali: sebagai agregat daur ulang dalam campuran aspal, sebagai agregat halus dalam beton, untuk menghasilkan kaca busa dan agregat ringan, untuk pembuatan batu bata tanah liat, sebagai bahan baku dalam gelas keramik (menggantikan sebagian frit biasa), untuk mensintesis bahan penyimpan panas, sebagai bahan baku dalam eko-semen, sebagai agregat daur ulang di dasar jalan dan subbase, sebagai prekursor dalam geopolimer atau untuk menggantikan sebagian semen Portland (PC).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Malkit Singh dkk (2014) *Bottom ash* batubara yang diproduksi dalam volume besar oleh pembangkit listrik tenaga panas berbahan bakar batubara dibuang ke darat berdampingan dengan situs mereka selama bertahun-tahun. Penimbunan *bottom ash* batubara di darat menyebabkan pencemaran udara serta menimbulkan bahaya bagi makhluk hidup. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi dasar batubara *bottom ash* sebagai agregat halus dalam mortar.

Pemanfaatan *bottom ash* batubara dalam pembuatan mortar akan memberikan cara pembuangan yang ekonomis dan ekologis serta melestarikan sumber daya alam. Hasil sifat mekanik mortar yang menggabungkan *bottom ash* batubara sangat mengembirakan. Evaluasi aspek durabilitas mortar yang menggunakan abu dasar batubara sebagai pengganti pasir sama pentingnya dengan peralatan mekanis.

Dalam penelitian ini aspek kuat tekan dan durabilitas mortar/beton seperti pengeringan penyusutan, penetrasi ion klorida, ketahanan terhadap serangan eksternal sulfat dan asam sulfat adalah diperiksa dengan melakukan uji

laboratorium. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mortar/beton *bottom ash* menunjukkan hasil yang lebih baik stabilitas dimensi, ketahanan yang sedikit lebih baik terhadap serangan asam sulfat dibandingkan dengan mortar konvensional. Kinerja mortar *bottom ash* di bawah serangan sulfat hampir identik dengan kontrol konkret. Tidak ada penurunan berat dan penurunan kuat tekan pada spesimen mortar abu dasar diamati setelah 180 hari perendaman dalam larutan magnesium sulfat 10%. Tidak ada tanda-tanda serangan sulfat diamati selama pemeriksaan citra SEM dan spektrum XRD sampel mortar/beton yang direndam dalam larutan sulfat hingga 180 hari. mortar *bottom ash* menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap penetrasi ion klorida.

Maria da Luz Garcia dkk (2012) melakukan penelitian Setiap tahun lebih dari 1 m³ beton diproduksi per orang di seluruh dunia dengan semen menyumbang 5–8% emisi CO₂ dan peningkatan penggunaan penambahan mineral. Limbah pengolahan kayu, berkelanjutan dan sumber terbarukan untuk produksi energi, menyebabkan sejumlah besar yang memiliki digunakan dalam mortar/beton dengan kekuatan dan daya tahan yang dapat diterima. Pembangkit listrik limbah kayu yang dioperasikan dengan parut menghasilkan volume besar *bottom-ash*, tidak dipelajari sampai saat ini.

Penelitian ini berfokus pada karakterisasi ground *bottom-ash* (GWA) dengan penilaian kekuatan dan daya tahan sebagai pengganti semen dalam mortar. Properti terkait daya tahan yang diuji pada 80 hari umumnya mengungkapkan kerugian marginal tetapi dari sekitar 3 bulan, kekuatan melampaui kontrol mencapai nilai 12% lebih tinggi pada 1 tahun. Meskipun diuji nonpozzolan karena kristalinitasnya, GWA dapat digunakan sebagai pengisi bahan berbasis semen yang selanjutnya berkontribusi terhadap konstruksi berkelanjutan.

Dilip Kumar dkk (2014) melaporkan peneliti telah dilakukan di bidang pemanfaatan *bottom ash* di masa lalu. Dalam penelitian ini Sebuah desain campuran telah dilakukan untuk beton mutu M30 dengan metode IS. Semen Portland biasa dari 43 Grade dipilih dan disiapkan dengan mencampurkan abu dasar dengan semen dan air untuk pembuatan Mortar. Yang merupakan bahan limbah dari pembakaran batubara Thermal pembangkit listrik (TPP) dan akumulasinya di dekat pembangkit listrik. Abu dasar diperoleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas

Nasional Tanaman (NTPC) Anpara di Distrik Sonbhadra di negara bagian Uttar Pradesh. Dalam makalah ini penulis menyelidiki Kompresi Pengujian kuat lentur dan kuat lentur beton pada umur yang berbeda yaitu 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari.

Bottom ash diganti 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% sebagai pengganti agregat halus. Ini menjelaskan berbagai pemanfaatan pasir dan semen *Portland* biasa serta sifat-sifatnya dalam mortar/beton menyebabkan masalah polusi yang parah. Pemanfaatannya sebagai mentah bahan pembuatan kubus (*Brick*) akan menjadi solusi yang sangat berguna dalam aspek ekonomi dan lingkungan kita. Penelitian ini menyajikan investigasi eksperimental yang dilakukan untuk mempelajari pengaruh penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus.

2.4 Semen *Portland*

Indonesia telah mampu memproduksi semen *Portland* yang terdiri atas 5 jenis dan penggunaan (semen *Portland* jenis I,II,III, IV dan V). Dewasa ini, Indonesia juga telah mengembangkan semen *Portland* Pozzolan dan semen *Portland* Komposit yang menggunakan material anorganik dan klinker semen.

Semen *Portland* (menurut SNI 15-2049-2004) adalah semen hidrolis dengan menggiling terak semen *Portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambah berupa satu atau lebih kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Jenis dan penggunaannya adalah sebagai berikut:

- a. Jenis I yaitu semen *portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- b. Jenis II yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- c. Jenis III semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

- e. Jenis V yaitu semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2.5 Komposisi Semen *Portland* (SNI 15-2049-2004)

Tabel 4. Syarat Kimia utama (SNI 15-2049-2004)
Satuan dalam %

No.	Uraian	Jenis semen <i>Portland</i>				
		I	II	III	IV	V
1	SiO ₂		20,0 (b,c)			
2	Al ₂ O ₃		6,0			
3	Fe ₂ O ₃		6,0 (b,c)	-	6,5	-
4	MgO, maksimum	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
5	SO ₃ , maksimum		3,5 ^{d)}		2,3 ^{d)}	2,3 ^{d)}
	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,0		3,5		
	Jika C ₃ A ≤ 8,0	3,5		4,5		
6	Hilang pijar, maksimum		3,0	3,0	2,5	3,0
7	Bagian tak larut, maksimum	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5
8	C3S, maksimum	-	-	-	35 ^{b)}	-
9	C2S, maksimum	-	-	-	40 ^{b)}	-
10	C3A, maksimum	-	8,0	15	7 ^{b)}	5 ^{b)}
11	C4AF + 2 C3A atau C4AF + C2F, maksimum	-	-	-	-	25 ^{b)}

Sumber: SNI 15-2049-2004

Tabel 5. Syarat fisika utama (SNI 15-2049-2004)

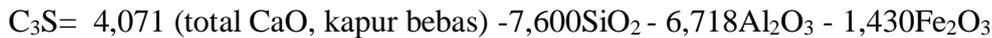
No	Uraian	Jenis Semen <i>Portland</i>				
		I	II	III	IV	V
1	Kehalusan: Uji Permeabilitas udara, m ² /kg Dengan alat: Turbidimeter, min Blaine, min	160 280	160 280	160 280	160 280	160 280
2	Kekekalan: Pemuaian dengan autoclave, maks%	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
3	Kuat tekan: Umur 1 hari, kg/cm ² , minimum Umur 3 hari, kg/cm ² , minimum Umur 7 hari, kg/cm ² , minimum Umur 28 hari, kg/cm ² , minimum	- 125 200 280	- 100 175 -	120 140 -	- 70 -	- 80 150 210

4	Dengan alat: Gilmore					
	-Awal, menit, minimal	60	60	60	60	60
	-Akhir, menit, maksimum	600	600	600	600	600
	Vicat					
	-Awal, menit, minimal	45	45	45	45	45
	-Akhir, menit, maksimum	375	375	375	375	375

Sumber: SNI 15-2049-2004

1) Komposisi Kimia Semen *Portland*

Klinker semen *Portland* mengandung empat senyawa kimia utama, yang disebut sebagai mineral-mineral klinker. Komposisi mineral klinker semen. Komposisi kimia yang potensial dari semen *Portland* dapat dianalisa dengan menggunakan komposisi Bogue, seperti yang diperlihatkan di bawah.



Kedua mineral kalsium silikat, CS dan C₂S (dalam bentuk B-C₂S) merupakan unsur utama dalam pengembangan kekuatan dan memiliki pengaruh yang besar terhadap ketahanan dan sifat struktural jangka panjang dari semen Portland. Namun, reaksi antara CaO (kapur dari batu kapur) dan SiO₂ (silika dari pasir) sangat sulit dicapai, bahkan pada suhu pembakaran yang tinggi. Untuk itu perlu ditambahkan sejumlah alumina (Al₂O₃) sebesar 5% dan oksida besi (Fe₂O₃) sebesar 3% untuk membentuk fluks cair yang membantu kapur dan silika dapat larut, dan kemudian bereaksi untuk menghasilkan CaS dan C₂S.

2) Hidrasi Semen *Portland*

Secara umum hidrasi semen *Portland* adalah proses terbentuknya padatan keras akibat reaksi kimia antara senyawa trikalsium silikat (C₃S), dikalsium silikat (C₂S), trikalsium alumant (C₃A), tetrakalsium aluminoferat (C₄AF), dan gips dalam semen *Portland* dengan air (H₂O). Proses hidrasi dan jumlah senyawa kimia semen *Portland* secara berurutan diperlihatkan pada **Tabel 6 dan Tabel 7**.

Tabel 6. Proses Hidrasi Semen *Portland*

Reaktan	Produk
$2C_3S + 6 H_2O$	$3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ + $3Ca(OH)_2$ (Kalsium silikat hidrat) + (Kalsium hidroksida)
$2C_2S + 4 H_2O$	$3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ + $Ca(OH)_2$
$C_3A + 12 H_2O + Ca(OH)_2$	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot 12H_2O$ (Kalsium aluminoferrat hidrat)
$C_4AF + 10 H_2O + 2 Ca(OH)_2$	$6CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot 12H_2O$ (Tetrakalsium aluminat hidrat)
$C_3A + 26 H_2O + 3 CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (Gips)	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ (Kalsium trisulfoluminat hidrat atau <i>ettringite</i>)
$2C_3A + 4H_2O + 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$ (Kalsium monosulfoluminat hidrat)

Sumber: SNI 15-2049-2004

Tabel 7. Jumlah Senyawa Kimia Semen *Portland*

Tipe Semen Portland	Kisaran Jumlah Senyawa (%)			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
I (min - maks)	40 - 63	9 - 31	6 - 14	5 - 13
I (rerata)	54	18	10	8
II (min - maks)	37 - 68	6 - 32	2 - 8	7 - 15
II (rerata)	55	19	6	11
III (min - maks)	46 - 71	4 - 27	0 - 13	4 - 14
III (rerata)	55	17	9	8
IV (min - maks)	37 - 49	27 - 36	3 - 4	11 - 18
IV (rerata)	42	32	4	15
IV (min - maks)	43 - 70	11 - 31	0 - 5	10 - 19
IV (rerata)	54	22	4	13

Sumber: SNI 15-2049-2004

2.6 Agregat halus dan Material Pozzolan

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (SNI 03-2834-2000). Menurut SK SNI S-04-1989-F agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. butirannya tajam dan keras,
2. kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan garam Na_2SO_4 bagian yang hancur maksimal 12%,
3. tidak mengandung lumpur lebih dari 5%,
4. tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan $NaOH$ 3%, yaitu warna cairan di atas

endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap dari Gardner Standard Colour,

5. modulus halus berkisar 1,50 – 3,80, dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Agregat halus (pasir) merupakan bahan yang lolos dari ayakan No. 4 yaitu, lebih kecil dari 3/16 inci (5mm) di dalam diameter). Agregat kasar (kerikil atau batu pecah) adalah semua bahan yang berukuran lebih besar dari ayakan no.4. Agregat alamiah yang memenuhi standar dipakai dalam kebanyakan konstruksi beton dan mortar. Materi pasir sebagai agregat halus harus bersih dari kandungan lumpur dan kotoran. Batu pecah (*cipping* dan *split*) berbentuk kotak dan tidak berbentuk pipih panjang.

1) Standar Pasir

Standar pasir menguji semen portland dan *Bottom ash* harus digunakan pasir kwarsa alam, berbentuk bulat, bersih, keras, serta memenuhi ketentuan tersebut di bawah ini.

- 1) Hingga Silika (SiO_2), minimum: 95,0%
- 2) Jumlah Silika (SiO_2) yang larut dalam HCl maksimum: 0,25%
- 3) Kadar Zat Organik, dibanding dengan standar warna: lebih jernih dari warna standar
- 4) Tingkat lumpur: 0,0%

2) Material Pozzolan

Material Pozzolan adalah material yang komposisi penyusunnya mengandung silika atau alumina-silika atau kombinasi keduanya. Material pozzolan tidak akan mengeras dengan sendirinya bila dicampur dengan air tetapi, ketika ditumbuk halus dan dengan adanya air, mereka bereaksi pada suhu kamar normal dengan kalsium hidroksida terlarut ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) untuk membentuk kekuatan dengan mengembangkan senyawa kalsium silikat dan kalsium aluminat. Senyawa-senyawa ini mirip dengan yang dibentuk dalam pengerasan material hidrolis.

Pozzolan juga merupakan bahan yang mengandung senyawa silika atau silika alumina dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen akan tetapi dalam bentuk yang halus dan dengan adanya air maka senyawa-senyawa

tersebut akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu normal membentuk senyawa kalsium hidrat yang bersifat hidraulis dan mempunyai angka kelarutan yang cukup rendah.

Pozzolan terutama terdiri dari silikon dioksida reaktif (SiO_2) dan aluminium oksida (Al_2O_3). Sisanya adalah besi oksida (Fe_2O_3) dan oksida lainnya. Proporsi kalsium oksida yang reaktif untuk pengerasan dapat diabaikan. Jumlah silikon dioksida yang reaktif harus tidak kurang dari 25,0% dari massa.

2.7 Limbah Gelas Lampu Neon

Gelas lampu neon merupakan gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir, serta berbagai penyusun lainnya. Seperti halnya limbah anorganik lain, kaca lampu akan sulit mengalami proses dekomposisi secara biologis, fisis, maupun kimia.

Bahan Berbahaya dan Beracun yang selanjutnya disingkat B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemari dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Uap merkuri dari gelas lampu yang pecah dapat lepas ke udara dan membahayakan lingkungan dan makhluk hidup disekitarnya, karena dapat terhirup kedalam tubuh. Merkuri dalam gelas lampu yang dibuang sembarangan juga dapat mencemari udara, tanah dan air tanah. Apabila uap merkuri ini mencemari lingkungan dan berubah bentuk menjadi senyawa merkuri organik, dampaknya sangat berbahaya untuk kesehatan lingkungan dan bisa menimbulkan berbagai gangguan kesehatan pada manusia mulai dari gangguan syaraf, ginjal, hati, penglihatan dan pendengaran bahkan bisa sampai mengakibatkan kelumpuhan dan kematian. Karena alasan ini limbah gelas lampu dikategorikan sebagai limbah B3 atau limbah bahan berbahaya dan beracun yang harus ditangani dengan metode yang aman dan tepat sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (NOMOR P.12/MENLHK/SETJEN/PLB.3/5/2020).

Limbah kaca lampu *fluorescent* bekas (SFLG), yang diproses secara manual dan mekanis di pabrik pengolahan limbah lampu, digunakan untuk menggantikan

sebagian hingga 50% berat semen *Portland* (PC). Manfaat lain yang diperoleh dari penggantian sebagian PC dengan limbah SFLG adalah manfaat yang diperoleh dari pengurangan jumlah semen yang digunakan. Seperti dilaporkan sebelumnya, antara 560 dan 710 kg CO₂ per ton semen yang diproduksi dilepaskan ke atmosfer pada tahun 2017 (CO₂ bersih, variasi tergantung pada wilayah produksi). Menurut Asosiasi Semen Eropa yang berbasis di Brussel, hampir 4 miliar ton semen diproduksi di seluruh dunia pada tahun 2018, yang menyiratkan bahwa sekitar 2,3–2,9 miliar ton CO₂ dilepaskan secara global oleh industri semen pada periode ini.

Oleh karena itu, penggunaan kembali SFLG sebagai bahan tambahan semen juga akan berkontribusi untuk melestarikan sumber daya alam dan meminimalkan energi dan jejak karbon yang terkait dengan produksi PC.

Hal ini bertujuan untuk menggunakan limbah SFLG untuk menggantikan sebagian PC yang, selain mengurangi jumlah PC yang digunakan, akan memberikan alternatif pemanfaatan kembali untuk limbah yang umumnya disimpan di tempat pembuangan sampah berbahaya karena menghilangkan kebutuhan merkurnya yang spesifik dan pengobatan mahal. Tidak ada perlakuan sebelumnya untuk meminimalkan kandungan merkuri (didifusikan dalam kaca, atau disediakan oleh debu fosfor yang menempel) yang akan diterapkan sebelum digunakan dalam binder campuran PC. Selain itu, jika merkuri dienkapsulasi oleh matriks pengikat dan jumlah merkuri yang terlindi di bawah batas yang ditetapkan dalam peraturan, limbah berbahaya ini dapat menjadi inert pada akhir masa pakai komponen semen, dan dapat mengurangi dampak Pencemaran lingkungan (AM Pitarch, dkk 2021). [2]

Untuk menemukan cara mengurangi jumlah limbah kaca di negara-negara yang masih belum dikelola, dan telah terbukti bahwa daur ulang kaca tingkat tinggi dapat dicapai penelitian dari. Di Amerika, hampir sepuluh koma tiga puluh tujuh juta limbah kaca dikumpulkan setiap tahunnya untuk tujuan daur ulang. Namun, ketidakkonsistenan komposisi kimia dan adanya pengotor membuat proses daur ulang kaca menjadi sulit. Selain itu, kurangnya pabrik daur ulang lokal ditambah dengan biaya transportasi yang tinggi membuat proses daur ulang menjadi mahal. Penggunaan limbah kaca pada beton dan mortar telah dicoba dalam beberapa tahun terakhir untuk menggantikan agregat kasar, pasir, dan semen. Beberapa peneliti

telah mempelajari penggunaan limbah kaca berukuran lebih dari 4,75 mm sebagai pengganti agregat kasar pada beton sejak tahun 1960-an menurut penelitian dari Nafisa Tamanna, dkk 2020. Pada tahun 2020 diperkirakan akan digunakan 2880 juta metrik ton pasir dan kerikil. Kaca juga memainkan peran utama dalam meningkatkan TPA.

Kaca bagian yang tidak terhindarkan dari ekonomi, di mana ia mewakili lebih dari 21 juta ton produk konsumen setiap tahun, namun tidak ada pengelolaan limbah kaca yang tepat yang dibuat oleh konsumen. Dari total kaca yang diproduksi di India hanya 45% yang digunakan kembali yang menunjukkan bahwa ada persyaratan untuk perolehan dan pengelolaan limbah kaca yang tepat. Sejumlah besar botol kaca penyegar pasca-pembeli dibuang setiap hari di seluruh dunia, hanya sebagian kecil yang dicuci untuk digunakan kembali atau dilebur kembali untuk membuat kaca baru. Di Hong Kong, sebagian besar limbah kaca digunakan sekali atau beberapa kali sebelum dibuang ke tempat pembuangan sampah. Seperti yang ditunjukkan oleh ulasan pemerintah, sekitar 1–2% kaca limbah di Hong Kong digunakan Kembali dalam penelitian (Prasetyo, CD, 2020). [12]

Seperti yang ditunjukkan oleh Badan Perlindungan Lingkungan AS, pada 2013, orang Amerika menciptakan 10,37 juta ton kaca di aliran limbah padat perkotaan, yang sebagian besar adalah wadah makanan dan minuman. Dari kaca limbah gelas lampu neon yang dibuang, 278 ton kaca (27%) diperoleh kembali untuk didaur ulang, yang membawa sekitar 7,59 juta ton limbah kaca dibuang ke tempat pembuangan sampah. Dalam perluasannya, pada tahun 2013, Uni Eropa menciptakan 1.5 juta ton limbah kaca dari penghancuran dan perombakan, dan sekitar 15,9 juta ton limbah kemasan kaca.

Menurut penelitian dari T O Ogundairo 2019. Produksi limbah lampu neon yang dihasilkan sekitar 2,088 juta ton, limbah kaca negara nigeria pada tahun 2018. Berdasarkan data dari Anita Intan Nura Diana dkk, 2020 menyebutkan bahwa data sampah limbah kaca non di Indonesia mencapai 0,7 juta ton. Dari penelitian diatas, diketahui jenis sampah yang dihasilkan di Indonesia. Dalam Industri kaca menggunakan ini dalam menciptakan semua kebutuhan masyarakat dalam berbagai bentuk. Sifat kaca yang tidak dapat terurai secara hayati membuatnya tersirat untuk

digunakan kembali berulang kali. Pekerjaan penelitian ke arah ini sedang naik; dan pekerjaan yang ada dari berbagai peneliti bahwa serbuk kaca memiliki sifat laten untuk menciptakan dimensi baru untuk membuat industri semen dan konstruksi lebih ramah lingkungan.

Tabel 8. Kondisi limbah Gelas Lampu di Dunia

Negara	Jumlah Limbah <i>glass powder</i>	Jumlah penduduk	jumlah <i>glass powder</i> orang (ton)	jumlah <i>glass powder</i> per orang (kg/jiwa/thn)	jumlah <i>glass powder</i> per orang (kg/jiwa/hri)	Tahun	Sumber
AMERIKA	10,37 Juta ton	316,1 Juta	0.0328	32.806	0.0899	2013	<i>Environmental Protection Agency 2020</i>
EROPA	1.5 Juta ton	742,4 Juta	0.0020	2.0205	0.0055	2013	
NIGERIA	2,088 juta ton	198,4 Juta	0.0105	10.5242	0.0288	2018	<i>Science and Engineering 2019</i>
INDONESIA	0,7 Juta ton	270,2 Juta	0.0026	2.5907	0.0071	2020	Penambahan serbuk limbah kaca dan abu daun bambu terhadap kinerja <i>paving block 2020</i>

2.8 Safety Pengolahan Limbah Gelas Lampu

Di dalam tabung lampu, terdapat berbagai kandungan gas, salah satunya adalah merkuri, yang apabila tidak ditangani dengan tepat akan dapat mencemari lingkungan kita yang pada akhirnya akan berdampak pada kesehatan tubuh manusia. Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) merupakan upaya kita untuk menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan aman, sehingga dapat mengurangi probabilitas kecelakaan kerja /penyakit akibat kelalaian yang mengakibatkan demotivasi dan dan defisiensi produktivitas kerja. Menurut UU Pokok Kesehatan RI No. 9 Th. 1960 Bab I Pasal II Kesehatan Kerja adalah suatu kondisi Kesehatan yang bertujuan agar masyarakat pekerja memperoleh derajat Kesehatan setinggi-tingginya, baik jasmani, rohani maupun social, dengan usaha pencegahan dan pengobatan terhadap penyakit atau gangguan Kesehatan yang disebabkan oleh

pekerjaan dan lingkungan kerja maupun penyakit umum. Dari hal tersebut kami melakukan pnegelohan limbah gelas lampu dengan menggunakan *safety* yaitu :

1. Pelindung mata

Alat ini digunakan untuk bahan-bahan yang bersifat aerosol atau mudah memercik. Trauma mata dapat mengakibatkan kerusakan mata serius sampai menimbulkan kebutaan.

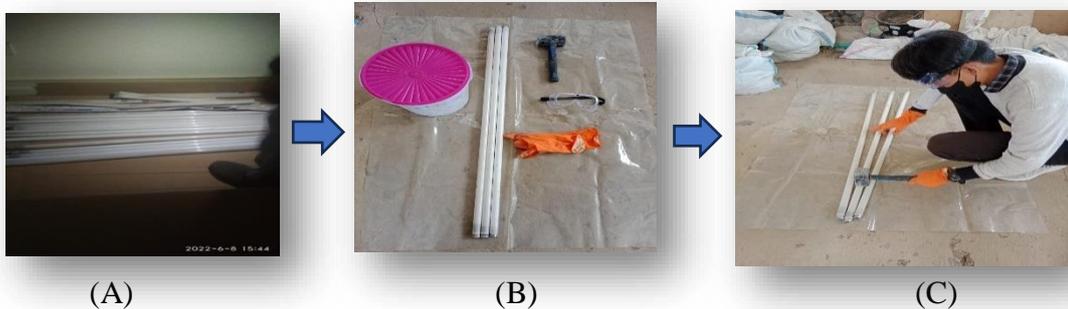
2. Masker

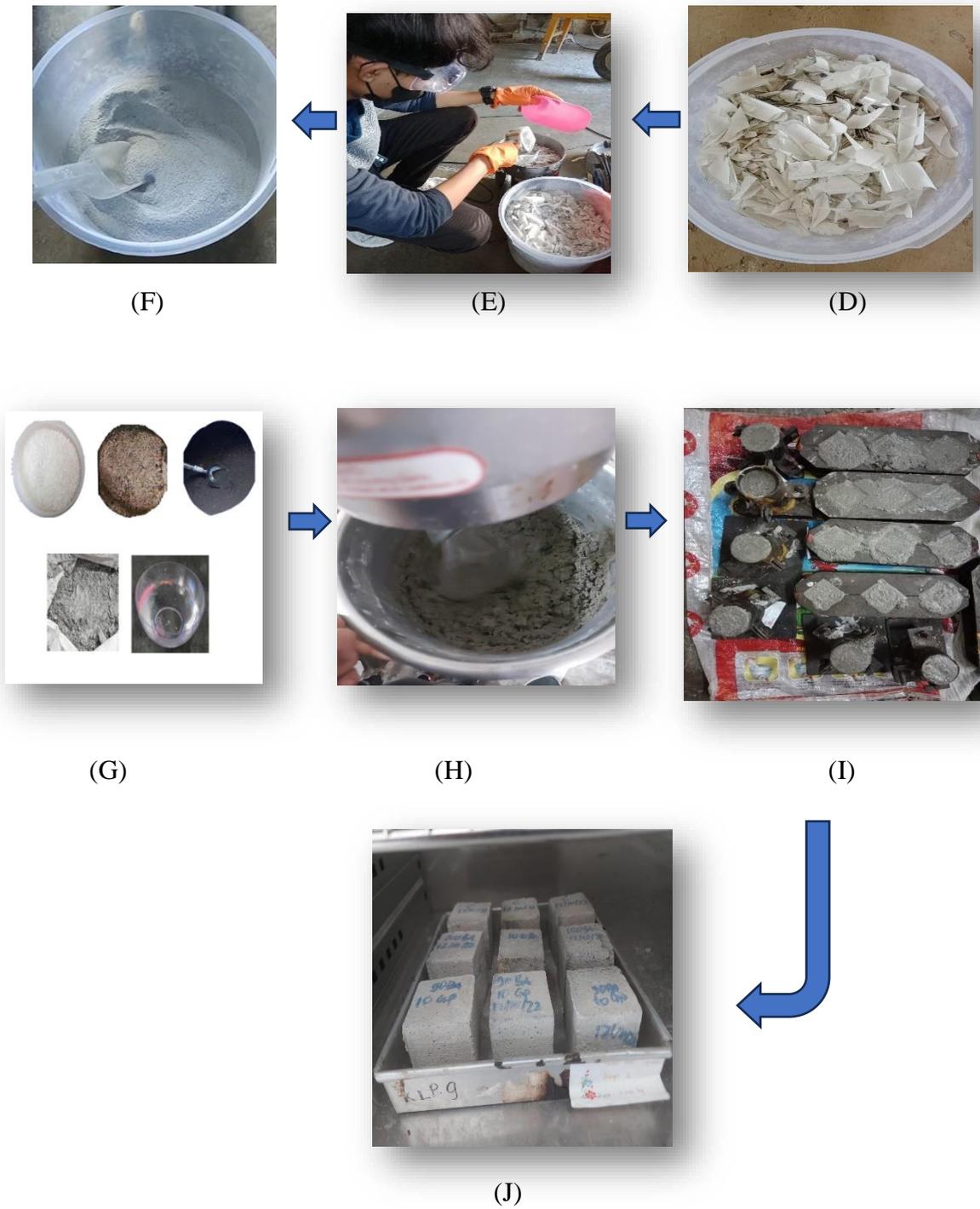
merupakan salah satu pelindung pernafasan. Sehingga tidak dibenarkan menggunakan masker namun, hidung tetap terbuka. Masker digunakan untuk mencegah kemungkinan uap yang menyebabkan iritasi atau spora jamur yang mudah terbang di udara untuk masuk ke saluran pernafasan.

3. Sarung tangan

disposable wajib digunakan ketika peneliti atau praktikan berada di laboratorium mikrobiologi. Penggunaan sarung tangan harus mampu menutup sampai bagian karet dari jas laboratorium. Perhatikan bahwa sarung tangan yang digunakan tidak robek atau berlubang, dan gunakan sesuai dengan ukuran tangan, tidak terlalu sempit atau terlalu longgar. Bahan Latex cukup sering digunakan di dalam laboratorium karena memiliki keuntungan murah, dan penampilan yang bagus, namun sering menyebabkan alergi. Jika sarung tangan yang digunakan terkontaminasi dengan bahan infeksius atau diduga infeksius, atau robek, lakukan penggantian dengan sarung tangan baru.

proses pembuatan mortar dari limbah gelas lampu neon dan *bottom ash* pengganti pasir sebagai berikut:





Gambar 1. Proses pembuatan mortar ramah lingkungan
Sumber: Dokumnetasi Individu

Adapun penjabaran dari tiap bagian dalam tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pada gambar poin A adalah pengumpulan limbah Gelas lampu neon.
2. Pada gambar poin B adalah bahan dan alat untuk menghancurkan gelas limbah lampu neon yaitu berupa martelu, kacamata google, sarung tangan karet, alas plastic, dan toples ukuran 16 liter.
3. Yang berikut adalah poin C melakukan proses pemecahan limbah gelas lampu neon dengan mengguna alas plastik.
4. Pada gambar poin D dilihat bahwa hasil limbah gelas lampu yang sudah di pecahkan menggunakan palu kemudian disimpan di toples ukuran 16 liter.
5. Pada poin E adalah limbah gelas lampu yang sudah dihancurkan menggunakan palu, setelah hancur gelas lampu neon di masukkan ke alat penghancur benda padat yaitu grinder.
6. Pada poin F adalah hasil limbah lampu neon setelah di hancurkan dengan alat penghancur grinder.
7. Pada poin G adalah bahan campuran pembuatan mortar ramah lingkungan yang berupa limbah gelas lampu neon yang sudah di hancurkan oleh alat grinder, pasir, *bottom ash*, dan semen porland.
8. Pada poin H bahan yang dimasukkan ke *mixer* selama 3 kali yaitu dengan durasi 2 meint untuk putaran pertama, 1 menit untuk putaran kedua dan 30 detik untuk durasi ketiga.
9. Pada poin I tuangkan bahan sampel mortar ke dalam cetakan kubus berukuran 5 x 5 x 5 cm dan di simpan selama 24 jam.
10. Pada poin akhir yaitu poin J adalah hasil dari pembuatan limbah dari gelas lampu neon dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir sehingga menjadi bahan yang ramah lingkungan dan dapat digunakan dalam pembuatan bangunan.

2.9 Dampak Penambangan Pasir

Aktivitas penambangan menyebabkan perubahan bentang lahan serta berubahnya kualitas tanah. Akibat adanya hal tersebut struktur penutup tanah menjadi rusak karena tanah bagian atas (*top soil*) digantikan dengan tanah lapisan bawah yang kurang subur. Demikian juga populasi hayati tanah yang ada di tanah lapisan atas menjadi terbenam, sehingga menjadi hilang atau mati dan tidak

berfungsi sebagaimana mestinya. Akibatnya daya dukung tanah lapisan atas pasca penambangan untuk pertumbuhan tanaman menjadi rendah (Walter Leal Filho, dkk. 2021). [13]

Permintaan pasir meningkat secara non-linier, khususnya di Asia dan khususnya untuk produksi beton. Cina menggunakan lebih banyak pasir untuk produksi beton pada tahun 2011 dan 2013 daripada Amerika Serikat yang digunakan selama abad ke-20. Skala masalah dapat dinilai dengan lebih baik jika seseorang mempertimbangkan fakta bahwa satu ton semen membutuhkan hingga 10 ton pasir untuk membuat beton. Pada tahun 2018, China dan India menyumbang lebih dari 60% produksi semen global, dengan China memproduksi lebih banyak dari gabungan semua negara lain. Menariknya, negara-negara kecil seperti Singapura yang sebagian besar menggunakan pasir untuk reklamasi lahan merupakan bagian yang signifikan dari impor pasir. Proporsi impor pasir Singapura berkisar antara 2,3% dan 14% dari tahun 1995 hingga 2017. Untuk mengakomodasi permintaan global yang meningkat, ada tekanan baru untuk menambang pasir dalam jumlah yang lebih banyak dan untuk menemukan pengganti alternatif. Menemukan pengganti mungkin menjadi lebih penting jika tingkat penggunaan pasir melebihi tingkat pembaruannya. tabel 14 penambangan pasir di negara-negara sebagai berikut:

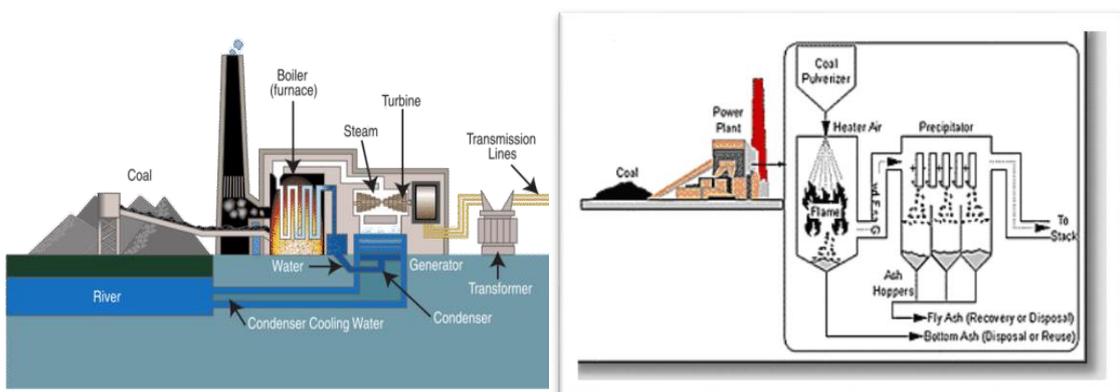
Tabel 9. penambangan pasir di negara-negara

no	Penambangan pasir di negara	Tingkat penambangan pasir	sumber
1	Jepang, Italia, dan Laos	0 sampai 0,1 ton	
2	Vietnam, dan Mali	0,1 sampai 5 ton	Penggunaan Pasir yang Berkelanjutan: Melaporkan Masalah Global.Keberlanjutan
3	Thailand, Malaysia	5 sampai 10 ton	
4	Amerika Serikat, India, Kamboja, dan Brasil	10 sampai 15 ton	
5	Etiopia	15 sampai 55 ton	2021.
6	Cina	> 55 ton	

Segala aktivitas yang berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya alam akan menimbulkan dampak, baik dampak positif maupun negatif. Pemanfaatan sumber daya alam kini telah menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Ketika manusia mengeksploitasi sumber daya alam secara berlebihan, maka fungsi lingkungan serta kelestarian sumber daya alam akan mengalami penurunan. Salah satu aktivitas pemanfaatan sumber daya alam yang memberikan dampak negatif adalah penambangan batu dan pasir. Aktivitas penambangan tersebut akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan di sekitar. Manusia umumnya tidak memperdulikan dampak dari aktivitas penambangan yang mereka lakukan, karena mereka hanya peduli dengan keuntungan yang didapat dari hasil penambangan tersebut. Untuk itu dalam penelitian ini kami menggunakan *bottom ash* sebagai bahan pengganti pasir dan gelas limbah lampu neon sebagai bahan tambahan dalam pembuatan mortar yang ramah lingkungan.

2.10 *Bottom Ash* (Abu Endapan)

Bottom ash adalah limbah hasil pembakaran batu bara dimana jumlahnya akan terus bertambah selama industri terus berproduksi. Penanganan limbah ini dilakukan dengan cara menimbunnya di lahan kosong sehingga apabila volume limbah semakin bertambah maka semakin luas pula area yang diperlukan untuk menimbunnya (Petrus, H., dan Manurung, H. 2021). [18]



Gambar 2. Proses terbentuknya *bottom ash*
Sumber: Petrus, H., dan Manurung, H. 2021.

Bottom ash mempunyai butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Partikel *bottom ash* mempunyai batasan ukuran dari kerikil sampai pasir. *Bottom ash*

merupakan material dengan gradasi yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda dan lebih mendekati ukuran pasir. *Bottom ash* yang berasal dari pabrik tekstil di Karangwuni, Klaten memiliki komposisi kandungan kimiawi SiO_2 sebesar 30,877%, Fe 5,63%, Al 12,77%, Mg 0,073%, dan CaO 6,203%. *Bottom ash* mempunyai karakteristik fisik berwarna abu – abu gelap, berbentuk butiran, berporos, mempunyai ukuran butiran antara pasir hingga kerikil. Terdapat dua kategori *bottom ash* berdasarkan jenis tungku pembakarannya, yaitu *dry bottom boiler* menghasilkan *dry bottom ash* dan *slag-tap boiler* menghasilkan *wet bottom ash* dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Sifat Fisik khas *Bottom Ash*

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	Wet	Dry
Bentuk	Angular/bersiku	Berbutir kecil
Warna Hitam	Hitam	Abu-abu gelap
Tampilan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1,5 s/d in (100%)
	No.10 (40-60%)	No.4 (50-90%)
	No.40 ($\leq 10\%$)	No.10 (10-60%)
	No.200 ($\leq 5\%$)	No.40 (0-10%)
<i>Specific Gravity</i>	2,3-2,9	2,1-2,7
<i>Dry Unit Weight</i>	960-1140 kg/m	720-1600 kg/m
Penyerapan	0,3-1,1%	0,8-2,0%

Sumber: Petrus, H., dan Manurung, H. 2021.

2.11 Air

Air merupakan bahan yang penting pada beton yang menyebabkan terjadinya reaksi kimia dengan semen. Pada dasarnya air yang layak diminum, dapat dipakai untuk campuran mortar/beton. Akan tetapi dalam pelaksanaan banyak air yang tidak layak untuk diminum memuaskan dipakai untuk campuran mortar/beton. Mengingat beton dan mortar merupakan material komposit dimana air memiliki peran utama agar terjadi proses kimiawi dengan semen untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah saat proses pengerjaan atau biasa dikenal dengan *workabilitas* beton atau mortar. Selain itu, air merupakan bahan utama selain dari agregat yang digunakan untuk membuat beton dan mortar.

Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton maupun mortar. Air yang mengandung senyawa- senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan-bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran

mortar/beton akan sangat menurunkan kekuatannya dan juga dapat mengubah sifat-sifat dari semen serta mengganggu reaksi hidrasi antara air dan semen.

Karena karakteristik pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total (semen + agregat halus + agregat kasar) material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya mortar/beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya (Farhan, M. 2016). [8]

1) Spesifikasi air sebagai bahan bangunan

Air yang dimaksud disini adalah air sebagai bahan yang digunakan untuk pembuatan campuran mortar dan adukan plesteran. Air berfungsi untuk melakukan reaksi hidrolis dengan semen sehingga dapat membentuk pasta. Jumlah air harus diperhitungkan agar dapat mencukupi kebutuhan untuk melaksanakan reaksi hidrolis dengan semen dan diserap oleh pori-pori agregat. Persyaratan air sebagai bahan bangunan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. air harus bersih,
- b. tidak mengandung lumpur, minyak dan benda-benda merusak lainnya yang dapat dilihat secara visual,
- c. tidak mengandung benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gr/liter,
- d. tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gr/liter, serta kandungan klorida (Cl), tidak lebih dari 500 p.p.m dan senyawa sulfat tidak lebih dari 1000 p.p.m,
- e. bila dibandingkan dengan kuat tekan beton yang memakai air suling, maka penurunan kekuatan kuat tekan beton yang memakai air yang diperiksa tidak boleh lebih dari 10%,
- f. air yang mutunya diragukan harus dianalisa secara kimia dan dievaluasi mutunya,

2.12 Kuat Tekan Mortar

Kuat tekan mortar/beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Perancangan mortar/beton harus memenuhi kriteria perancangan standar yang berlaku. Peraturan dan tata cara perancangan tersebut antara lain adalah ASTM, ACI, JIS, ataupun SNI. Perancangan tersebut juga dimaksudkan untuk mendapatkan mortar/beton yang harus memenuhi kinerja utamanya yaitu kuat tekan sesuai rencana dan mudah untuk dikerjakan serta ekonomis dalam pembiayaannya. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan tekan mortar/beton tersebut yaitu: proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode perancangan, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan yang terutama dipengaruhi oleh lingkungan setempat. Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Pengujian dilaksanakan menggunakan mesin tekan beton. Prosedur pengujian berdasarkan. Pengujian kuat tekan beton normal menggunakan benda uji silinder beton dimensi Diameter 15 cm dan Tinggi 30 cm. Benda uji memiliki 3 variasi yaitu 20 Mpa, 25 MPa, dan 30 MPa. Dalam hal pengujian uji kuat tekan ini mengacu pada peraturan SNI 2493:2011. [13]

2.13 Perendaman pH

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Ia didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Koefisien aktivitas ion hidrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada perhitungan teoretis. Skala pH bukanlah skala absolut. Ia bersifat relatif terhadap sekumpulan larutan standar yang pH-nya ditentukan berdasarkan persetujuan internasional. Konsep pH pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Søren Peder Lauritz Sørensen pada tahun 1909 tidaklah diketahui dengan pasti makna singkatan "p" pada "pH". Beberapa rujukan mengisyaratkan bahwa p berasal dari singkatan untuk *power* (pangkat), yang lainnya merujuk kata bahasa Jerman *Potenz* (yang juga berarti pangkat), dan ada pula yang merujuk pada kata

potential. Jens Norby mempublikasikan sebuah karya ilmiah pada tahun 2000 yang berargumen bahwa p adalah sebuah tetapan yang berarti logaritma negatif.

Air murni bersifat netral, dengan pH-nya pada suhu 25 °C ditetapkan sebagai 7,0. Larutan dengan pH kurang daripada tujuh disebut bersifat asam, dan larutan dengan pH lebih daripada tujuh dikatakan bersifat basa atau alkali. Pengukuran pH sangatlah penting dalam bidang yang terkait dengan kehidupan atau industri pengolahan kimia seperti kimia, biologi, kedokteran, pertanian, ilmu pangan, rekayasa (keteknikan), dan oseanografi. Tentu saja bidang-bidang sains dan teknologi lainnya juga memakai meskipun dalam frekuensi yang lebih II - 18 rendah.

2.14 CO₂

CO₂ merupakan zat, energi, dan/atau komponen lain yang berasal dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar (Permen LHK Nomor 9 Tahun 2014). Selain itu menurut (EPA, 2016). CO₂ merupakan istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan gas dan partikel yang dilepaskan ke udara atau dipancarkan oleh berbagai sumber.

1) Penyebab CO₂

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca ini disebabkan oleh berbagai interaksi antara komponen-komponennya dan faktor eksternal seperti erupsi vulkanik, variasi sinar matahari serta aktivitas manusia seperti CO₂ bahan bakar fosil, perubahan penggunaan lahan, limbah, dan aktivitas industri (DITJEN PPI KLHK, 2017 dalam Patrianty, 2020). Adapun sumber CO₂ dapat digolongkan menjadi 4 macam (Equaldo & Idrawati, 2012). Sumber CO₂ tersebut yaitu:

- a. Sumber yang bergerak, diantaranya alat transportasi (kendaraan bermotor, pesawat udara, kereta api, kapal bermotor serta penegasan/*evaporasi gasoline*).
- b. Sumber yang tidak bergerak, diantaranya mencakup bidang konstruksi (perumahan, daerah perdagangan, tenaga dan pemasaran industri, serta tenaga uap yang digunakan sebagai energi pada berbagai industri).
- c. Proses industri, diantaranya meliputi proses kimiawi, metalurgi, kertas dan penambangan minyak.

d. Pembuangan sampah, diantaranya hasil buangan rumah tangga dan perdagangan, buangan hasil pertambangan dan pertanian.

2) CO₂ dalam Bidang Konstruksi

Mortar/beton sebagai bahan konstruksi umum yang sering digunakan diketahui mengeluarkan sejumlah besar limbah berbahaya bagi lingkungan. Diantara bahan konstruksi, beton merupakan bahan yang mengeluarkan sejumlah besar gas rumah kaca (GRK) di seluruh siklus hidupnya mulai dari proses produksi, konstruksi, pemeliharaan, proses pembongkaran dan pembuangan, dan penilaian dampak (Taehyoung dkk., 2017). Beton mengeluarkan sejumlah besar GRK dari produksi bahan bakunya, termasuk semen, agregat, dan bahan tambahan, hingga transportasi dan produksi beton. Selain itu, perubahan alih fungsi lahan juga berpengaruh terhadap timbulan gas CO₂ dimana adanya proses konstruksi seperti pembangunan perumahan memberikan sumbangsi yang cukup besar terhadap emisi GRK khususnya pada CO₂ (Feng Ma dkk., 2016). [4]

Berdasarkan tahapan siklus beton dalam bidang konstruksi dapat digolongkan ke tahapan yaitu tahapan bahan baku dan manufaktur.

a. Tahap Bahan Baku Mortar/Beton

Tahapan ini menggambarkan CO₂ yang dihasilkan dari setiap bahan baku penyusun beton untuk setiap 1 m³ produksinya. Besaran kandungan emisi yang dilepaskan pada tahap ini didapatkan dari penjumlahan CO₂ tiap bahan baku setiap 1m³ dan mengalikannya dengan nilai CO₂ tiap bahan baku dengan intensitas CO₂ tiap bahan baku menurut Svendsen (2022) pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Intensitas CO₂ Bahan pada Bangunan

Material	Satuan	GRK yang terkandung (KgCO ₂ eq)
<i>Concrete block</i>	Kg	0,24
Semen	Kg	0,913
<i>Autoclaved aerated concrete (AAC)</i>	Kg	0,71
<i>Fiber cement weatherboard</i>	Kg	2,2
<i>Gypsum plaster</i>	Kg	0,44
<i>Concrete roof tile</i>	Kg	0,39
<i>Flat glass</i>	Kg	2
<i>Laminated glass</i>	Kg	2,8
<i>powder glass</i>	Kg	0,0022

Material	Satuan	GRK yang terkandung (KgCO₂eq)
Aspal	Kg	0,2
Air	Kg	0,000195
<i>High density polyethylene (HDPE)</i>	Kg	6,4
<i>Low density polyethylene (LDPE)</i>	Kg	6,4
<i>Polypropylene (PP)</i>	Kg	7,4
<i>Polyurethane (PU)</i>	Kg	7,7
<i>Polyvinyl chloride (PVC)</i>	Kg	11,2
<i>Clay brick</i>	Kg	0,32
<i>Gravel</i>	Kg	0,036
<i>Bottom ash</i>	Kg	0,0027
Pasir	Kg	0,025

Sumber: Danish Energy Agency, 2022