

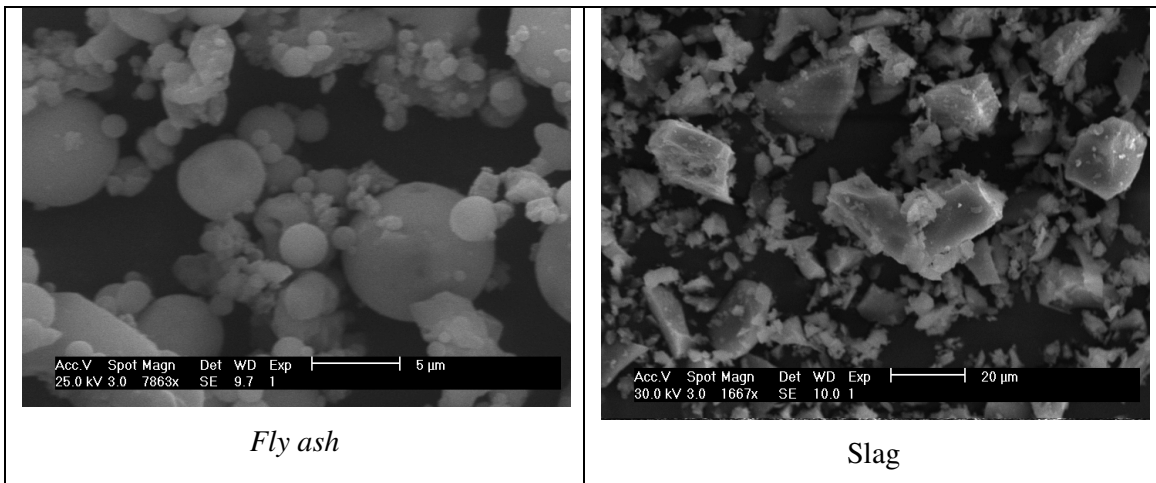
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pustaka yang relevan

Semen yang ditemukan oleh Joseph Aspadin pada tahun 1824 adalah bahan pengikat komposit beton yang merupakan bahan utama dalam industri konstruksi (Oficemen, 2011). Data menunjukkan peningkatan yang tajam pemakaian semen dalam kurun waktu 4 dasawarsa terakhir hingga mencapai 21 milyar ton pertahun dewasa ini (Mehta, 1986, Mehta, 2004, Mehta and Meryman, 2009).

Peningkatan jumlah pemakaian semen yang sangat besar menunjukkan bahwa beton merupakan bahan utama konstruksi bangunan. Disamping keuntungan yang diperoleh terdapat kerugian yang ditimbulkan akibat pemakaian beton sebagai bahan konstruksi ditinjau dari sisi lingkungan. Kerugian yang ditimbulkan adalah, dengan peningkatan jumlah pemakaian beton, jumlah emisi gas CO₂ ke atmosfer juga meningkat (Flower and Sanjayan, 2007). Hal ini disebabkan setiap satu ton semen yang dipakai untuk membuat beton akan memproduksi sebanyak 0,99 ton gas karbon dioxide (CO₂) (Humphreys and Mahasenan, 2002). Peningkatan emisi gas CO₂ ke atmosfer meningkatkan masalah efek rumah kaca dan menjadi penyebab peningkatan pemanasan global. Menurut Malhotra (1999), pemakaian semen dalam industri konstruksi secara global menyumbang 7% dari jumlah emisi gas CO₂ yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

Untuk mengurangi efek buruk terhadap lingkungan dari pemakaian semen, maka upaya penggantian semen sebagai bahan pengikat beton baik seluruhnya maupun sebagian perlu didukung. Bahan pengganti semen yang saat ini sering digunakan adalah silica fume, copper slag dan *fly ash* (abu terbang), dimana abu terbang merupakan bahan pengganti yang paling luas dipakai saat ini (Kosmatka et al., 2003). *Fly ash* adalah produk sampingan terutama dari pembangkit listrik tenaga batubara merupakan partikel yang sangat halus dengan diameter antara 1 – 150 mikron meter dan berbentuk butiran bulat (Siddique, 2004).



Gambar II-1 Perbedaan bentuk partikel *fly ash* dan slag

Salah satu teknologi pemanfaatan abu terbang yang mengurangi secara signifikan pemakaian semen dalam pembuatan beton dan menggunakan cara produksi yang identik dengan pembuatan beton normal adalah *high volume fly ash concrete (HVFA)*. *HVFA* adalah beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly ash* baik berupa kelas F *fly ash* maupun kelas C *fly ash* (Malhotra and Mehta, 2005). Meskipun pemakaian *fly ash* akan menurunkan kekuatan awal beton, namun dengan masih berlangsungnya reaksi pozzolanic maka kekuatan beton beton akan meningkat dalam jangka waktu yang lama (Bilodeau and Malhotra, 2000, Nawy, 1996).

Pemanfaatan abu terbang yang memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi memberikan kontribusi positif terhadap proses hidrasi semen, karena Silika akan mengikat Ca(OH)_2 untuk membentuk C-S-H gel yang membantu meningkatkan kekuatan beton. Seperti diketahui Ca(OH)_2 adalah produk hidrasi semen yang memiliki sifat mudah larut dalam air dan memiliki kekuatan yang rendah (Oner et al., 2005). Dalam kenyataan pemakaian teknologi *HVFA concrete* lebih banyak memanfaatkan abu terbang kelas F (Malhotra and Mehta, 2005). Hal ini disebabkan, abu terbang kelas F memiliki kadar silika (SiO_2) yang lebih tinggi dibandingkan abu terbang kelas C (ASTM C 618-03, 2003).

Di Indonesia abu batu bara (abu terbang) yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga batu bara (PLTU) semakin meningkat setiap tahun. Hal ini disebabkan meningkatnya produksi listrik di Indonesia dan konversi pembangkit listrik berbahan minyak dan gas menjadi batu bara. Pada tahun 2000 produksi abu terbang mencapai 250.000 pertahun dan meningkat sebelas kali lipat pada tahun 2009 (Sufriady, 2010). Jenis *fly ash* di Indonesia 85% nya adalah low rank *fly ash* (lignite dan sub bituminous), dimana jenis *fly ash* ini akan menghasilkan abu terbang kelas C (Sule and Matasak, 2012, Suprpto, 2009).

Pemakaian *fly ash* di dalam beton memiliki kekurangan yaitu, beton memerlukan waktu yang lama dalam proses hidrasinya, sehingga sangat penting menjaga lingkungan beton tersebut agar reaksi pozzolan dapat berlangsung dengan sempurna. Beton yang mengandung abu terbang lebih sensitif terhadap perawatan beton yang kurang baik dibandingkan beton normal. Sensitifitas perawatan beton meningkat dengan meningkatnya kandungan abu terbang di dalam beton (Ramezaniapur and Malhotra, 1995).

2.2. Studi pendahuluan

Dalam upaya memperbaiki kelemahan pemakaian abu terbang di dalam beton apalagi dalam jumlah yang cukup besar atau *high volume fly ash (HVFA) concrete*, maka telah dilakukan beberapa penelitian seperti:

- a. Penambahan bahan yang kaya akan kandungan silika dapat meningkatkan reaksi pozzolan abu terbang .
- b. Peningkatan kehalusan abu terbang sangat membantu meningkatkan kecepatan reaksi pozzolan di dalam abu terbang (Copeland et al., 2001, Xu, 1997).
- c. Penelitian tentang perawatan beton dalam jangka yang panjang akan menghasilkan kekuatan beton yang setara dengan beton normal setelah perawatan selama 91 hari (Hansen, 1990, Sivasundaram et al., 1990).
- d. Perawatan dengan meningkatkan suhu lingkungan menjadi 50⁰C dapat mempercepat perkembangan kuat tekan *HVFA concrete* sehingga setara dengan beton normal pada umur 28 hari (Elsageer et al., 2009).
- e. Pemakaian air kapur sebagai air pencampur *HVFA* mortar dapat mempercepat perkembangan kuat tekan mortar dimana akan setara dengan mortar semen setelah 28 hari bahkan lebih tinggi setelah 56 hari (Solikin et al., 2011).

Ada beberapa penelitian serupa yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu antara lain :

1. Alex Kurniawandy, Zulfikar Djauhari, Elpin Tua Napitu

Alex Kurniawandy, Zulfikar Djauhari, Elpin Tua Napitu (2011) dalam jurnal penelitian yang berjudul “Pengaruh Abu Terbang terhadap Karakteristik Mekanik Beton Mutu Tinggi”. Tujuan penelitian adalah melakukan kajian dengan variasi komposisi campuran abu terbang terhadap karakteristik mekanik beton mutu tinggi dengan parameter tinjauan adalah modulus elastis, nilai susut, kuat tekan dan kuat tarik belah. Melakukan kajian visualisasi antara beton yang mengandung *fly ash* dan beton normal dengan menggunakan *Scanning Electronic Microscope (SEM)*.

2. P. Kumar Mehta

P. Kumar Mehta (2004) dalam jurnal yang berjudul “ *High Performance High volume Fly ash Concrete for Sustainable Development*”. volume tinggi *fly ash* sistem beton membahas isu yang keberlanjutan dan memungkinkan industri konstruksi beton untuk menjadi lebih berkelanjutan . Tinjauan singkat disajikan dari teori dan praktek dengan konstruksi campuran beton yang mengandung lebih dari 50 % *fly ash* oleh massa semen pada material. Mekanisme dibahas dimana penggabungan volume tinggi *fly ash* pada beton mengurangi kebutuhan air, meningkatkan *workability*, meminimalkan retak akibat susut termal dan pengeringan , dan meningkatkan daya tahan untuk Penguatan korosi, serangan sulfat, dan ekspansi alkali - silika . Untuk negara-negara seperti China dan India, teknologi ini dapat memainkan peran penting dalam memenuhi besar permintaan untuk infrastruktur secara berkelanjutan.

3. Inderpreet Kaur

Inderpreet Kaur (2005) dalam thesis yang berjudul “ *Mechanical Properties of high volume Fly ash (HVFA) Concrete Subjected to Elevated Temperature up to 120°C*”. Tujuan dari penelitian ini digunakan menentukan karakteristik mekanik antara lain kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan modulus elastisitas yang menggunakan campuran *fly ash* yang bervariasi antara 30%, 40%, dan 50% pada *fly ash* dengan suhu kamar yang berbeda antara 80°C, 100°C, dan 120°C.

Perbedaan penelitian yang saya lakukan dengan penelitian yang sebelumnya adalah berbeda pada pengaruh perbedaan sumber *fly ash* dan cara pengujian pada berat volume dan serapan air beton serta tidak memperhatikan suhu kamar pada *fly ash*.

2.3. *Fly ash/ abu terbang*

Fly ash (abu terbang) adalah bagian dari sisa pembakaran batu bara pada boiler pembangkit listrik tenaga uap dan industri yang berbentuk partikel halus dan bersifat pozzoland, berarti abu terbang tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar (24°C-27°C) dengan adanya media air membentuk senyawa yang sifatnya mengikat. Pada pembakaran abu batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap terbentuk 2 jenis abu yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel yang terbawa gas buang disebut *fly ash* (abu terbang) sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut abu dasar. (Tjokrodimulyo, 1996) dalam (Suarnita, 2011).

Fly ash (abu terbang) dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ASTM C618-03) sebagai berikut:

Tabel II-1 Senyawa Kimia pada *Fly ash*

Senyawa Kimia	Kelas		
	N	F	C
Oksida Silika (SiO ₂) + Oksida Alumina (Al ₂ O ₃) + Oksida Besi (Fe ₂ O ₃), minimum %	70	70	50
Trioksida Sulfur (SO ₃), maksimum %	4	5	5
Kadar air, maksimum %	3	3	3
Kehilangan panas, maksimum %	10	6	6

1.Keunggulan Penggunaan *Fly ash* (Abu Terbang)

Penggunaan *fly ash* (abu terbang) dalam campuran beton memiliki berbagai keunggulan antar lain (Nugraha,Antoni, 2007:106) :

a. Pada beton segar

- 1) Kehalusan dan bentuk partikel *fly ash* (abu terbang) yang bulat dapat meningkatkan workability.
- 2) Mengurangi terjadinya kelecakan.

b. Pada beton keras

- 1) Kontribusi peningkatan kuat tekan beton pada umur setelah 52 hari.
- 2) Meningkatkan durabilitas beton.
- 3) Meningkatkan kepadatan (*density*) beton.
- 4) Mengurangi terjadinya penyusutan beton.

2. Kelemahan Penggunaan *Fly ash* (Abu Terbang)

Kelemahan penggunaan *fly ash* (abu terbang) adalah (Suarnita, 2011:5) :

- a. Pemakaian abu terbang kurang baik untuk pengerjaan beton yang memerlukan waktu pengerasan dan kekuatan awal yang tinggi karena proses pengerasan dan penambahan kekuatan betonnya agak lambat yang disebabkan karena terjadi reaksi pozzoland.
- b. Pengendalian mutu harus sering dilakukan karena mutu *fly ash* (abu terbang) sangat tergantung pada proses (suhu pembakarannya) serta jenis batu baranya.

3. Sifat-Sifat *Fly ash* (Abu Terbang)

Sifat-sifat abu terbang antara lain (Suarnita, 2011:3) :

a. Warna

Abu terbang berwarna abu-abu, bervariasi dari abu-abu muda sampai abu-abu tua. Makin muda warnanya sifat pozzolannya makin baik. Warna hitam yang sering timbul disebabkan karena adanya karbon yang dapat mempengaruhi mutu abu terbang.

b. Komposisi

Unsur pokok abu terbang adalah silikon dioksida SiO₂ (30%-60%), aluminium oksida Al₂O₃ (15%-30%), karbon dalam bentuk batu bara yang tidak terbakar

(bervariasi hingga 30%). Kalsium oksida Cao (1%-7%) dan sejumlah kecil magnesium oksida MgO dan sulfur trioksida SO₃.

c. Sifat Pozzolan

Sifat pozzolan adalah sifat bahan yang dalam keadaan halus dapat bereaksi dengan kapur padam aktif dan air pada suhu kamar (24°C-27°C) membentuk senyawa yang padat tidak larut dalam air.

d. Kepadatan (*density*)

Kepadatan abu terbang bervariasi, tergantung pada besar butir dan hilang pijarnya. Biasanya berkisar antara 2.43 gr/cc sampai 3 gr/cc. Luas permukaan spesifik rata-rata 225 m²/kg – 300 m²/kg. Ukuran butiran yang kecil kadang-kadang terselip dalam butiran yang besar yang mempunyai fraksi lebih besar dari 300 µm.

e. Hilang pijar

Hilang pijar menentukan sifat pozzolan abu terbang. Apabila hilang pijar 10% - 20% berat kadar oksida kurang sehingga daya ikatnya kurang yang berarti sifat pozzolannya kurang.

2.4. Beton

Beton adalah suatu campuran antar semen, agregat kasar, agregat halus dan air yang di campur menjadi satu dan biasanya ditambah dengan zat aditif seperti *fly ash* (abu terbang) yang digunakan untuk mengikat dan mengisi rongga-rongga pada agregat kasar dan agregat halus.

II.3.1. Kelebihan dan Kekurangan Beton

Tabel II-2 Kelebihan dan kekurangan beton

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Dapat dibuat dengan mudah • Mampu memikul beban yang berat • Tahan terhadap temperature yang tinggi • Biaya pemeliharaan yang kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Bentuk yang telah dibuat sulit diubah • Berat • Daya pantul suara yang besar • Tegangan tarik rendah

Sumber: (Mulyono 2004:4-5)

II.3.2. Sifat-sifat beton

Menurut Subakti (1995:142) sifat-sifat beton adalah :

a. Kedap air (*watertight*)

- b. Awet (*durable*)
- c. Tidak banyak mengalami penyusutan (*shrinkage*)
- d. Tidak retak-retak (*crack*)
- e. Tidak timbul karang beton (*honeycombing*)
- f. Tidak menjadi lapuk (*efflorescence*)
- g. Tidak pecah-pecah (*Spaling*)
- h. Permukaan halus tahan terhadap pengausan (*abrasion*)

II.3.3. Parameter-parameter yang paling memenuhi kekuatan beton

- a. Kualitas semen
- b. Proporsi semen terhadap campuran
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat
- d. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat
- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton
- f. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton
- g. Perawatan beton
- h. Kandungan klorida tidak melebihi 015 % dalam beton yang diekspos dan 1% bagi beton yang tidak diekspos (Nawy, 1985) dalam (Mulyono,2004).

II.3.4. Kinerja beton

Ada 3 kinerja beton yang dibutuhkan dalam pembuatan beton antara lain (Mulyono, 2004:6) :

1. Harus memenuhi kriteria konstruksi adalah dapat dengan mudah dikerjakan dan dibentuk serta mempunyai nilai ekonomis.
2. Kekuatan tekan.
3. Durabilitas (keawetan).

II.3.5. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton

a. Semen

Menurut Mulyono (2004:19) semen merupakan bahan campuran yang secara aktif setelah berhubungan dengan dengan air. Sedangkan menurut SNI 15-2049-2004 semen portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain.

Bahan utama pembentuk semen Portland adalah kapur (CaO), silika (SiO₃), alumina (Al₂O₃), sedikit magnesia (MgO), dan terkadang sedikit alkali. Untuk mengontrol komposisinya, terkadang ditambahkan oksida besi (Mulyono, 2004:27).

b. Agregat

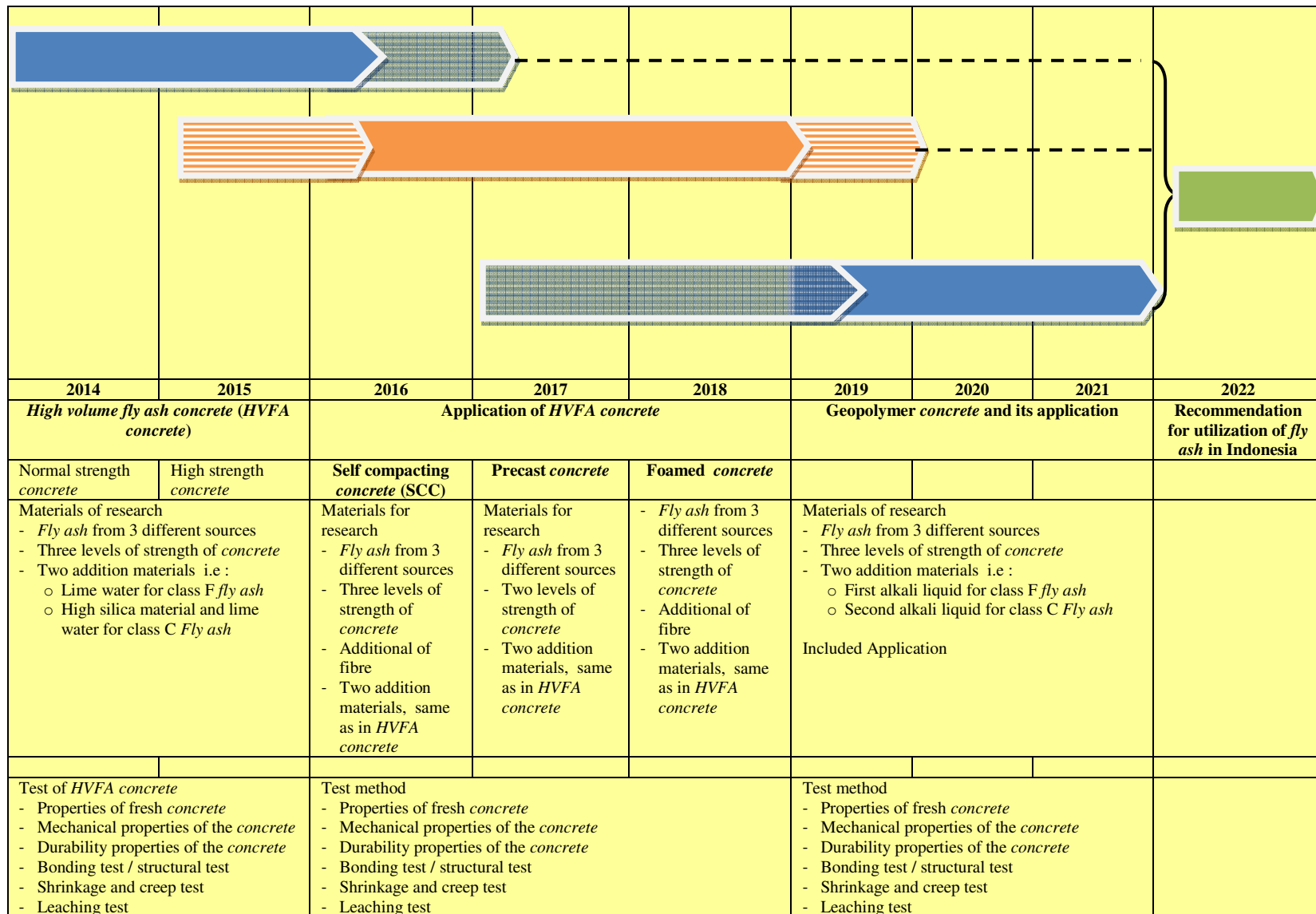
Kandungan dalam suatu agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Komposisi agregat tersebut berkisar 60%-70% dari berat campuran beton. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya yang cukup besar, agregat ini pun menjadi penting. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*). Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batas ukuran agregat halus dan ukuran kasar yaitu 4,8 mm (*British Standard*) atau 4,75 mm (*Standar ASTM*). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,8 mm (4,75mm). Sedangkan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,8 mm (4,75 mm). Agregat yang biasanya dibuat dalam suatu campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40mm (Mulyono, 2004:65).

c. Air

Air diperlukan dalam pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton. Air yang berlebihan dalam suatu campuran beton akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. (Mulyono, 2004:51).

2.5. Peta jalan penelitian (*road map research*)

Untuk memperjelas tahapan penelitian dan target yang hendak dicapai pada setiap tahapannya, maka dibuatlah peta jalan penelitian yang memuat tahapan penelitian yang akan dilakukan selama 9 tahun.



Gambar II-2 peta jalan penelitian