BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Beton Konvensional

Beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat (semen). Beton mempunyai karakteristik tegangan hancur tekan yang tinggi serta tegangan hancur tarik yang rendah. Beton tidak dapat dipergunakan pada elemen konstruksi yang memikul momen lengkung atau tarikan, karena beton sangat lemah dalam menerima gaya tarik.

Beton memiliki kelebihan dan kekurangan antara lain sebagai berikut:

Kelebihan Beton:

- Beton mampu menahan gaya tekan dengan baik
- Beton segar dapat dengan mudah dicetak sesuai dengan keinginan
- Beton segar dapat segar dapat disemprotkan pada permukaan beton lama yang retak maupun dapat diisikan kedalam retakan beton dalam proses perbaikan
- Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang

Kekurangan Beton:

- Beton dianggap tidak mampu menahan gaya tarik, sehingga mudah retak, oleh karena itu perlu di beri baja tulangan sebagai penahan gaya tarik
- Untuk mendapatkan beton kedap air secara sempurna, harus dilakukan dengan pengerjaan yang teliti

Beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga harus dihitung dan teliti secara seksama agar setelah dikompositkan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktail, terutama pada struktur tahan gempa

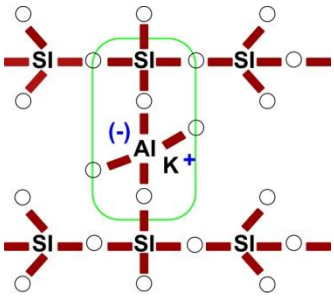
2.2 Riwayat Beton

Di zaman kuno blok-blok batu disusun tanpa bahan pengikat, sehingga untuk menjamin kestabilan struktur bentuknya tidak dapat direncanakan secara bebas. Lumpur (kadang-kadang dicampur dengan jerami) digunakan untuk mengikat blok-blok bata kering, sehingga hasilnya adalah struktur yang tidak tahan air karena bata dan lempung yang tidak dibakar akan menjadi lunak kembali bila terkena air. Di Babylonia Assyria kadang-kadang dipakai bitumen alami untuk mengikat batu atau bata menjadi satu kesatuan.

Selain baja, beton adalah bahan bangunan utama yang mendasari berkembangnya masyarakat modern sekarang ini. Hampir tidak ada aspek kehidupan sehari-hari yang tidak dipengaruhi secara langsung atau tidak langsung oleh beton. Gedung, jalan, jembatan jalan kereta api, pelabuhan, lapangan terbang, bangunan air, pusat pembangkit tenaga dan lain-lain adalah sebagian kecil contohnya (Setyarto YD, 2006).

2.3 Beton Geopolimer

Geopolimer adalah campuran beton di mana penggunaan material semen portland sebagai bahan pengikat digantikan oleh bahan lain seperti abu terbang (*fly ash)*, abu kulit padi (*rise husk ash*), dan lain-lain yang banyak mengandung silika dan alumunium (Davidovits, 1997). Penggantian bahan dasar semen portland dianggap lebih ramah lingkungan dan lebih efektif dengan memanfaatkan bahan sisa limbah pabrik industri sehingga lebih peduli lingkungan. Geopolimer merupakan produk beton geosintetik dimana reaksi pengikatan yang terjadi adalah reaksi polimerisasi. Dalam reaksi polimerisasi, silika (Si) dan alumunium (Al) mempunyai peranan yang penting dalam ikatan polimerisasi.reaksi silika dan alumunium dengan *alkaline* akan menghasilkan SiO dan AlO4 seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar II.1 Ikatan Polimerisasi yang Terjadi pada Beton Geopolimer

Suatu campuran beton dikatakan sebagai beton *geopolymer* jika memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

a) Pada beton segar (*fresh concrete*)

Beton geopolimer dalam keadaan segar memiliki sifat sebagai berikut :

- Memiliki *setting time* 1 jam pada suhu -20°C sampai 7-60 menit pada suhu 20°C,
- Penyusutan selama setting kurang dari 0.05%
- Kehilangan massa dari beton basah menjadi beton kering kurang dari 0.1% (ASTM 4843)

b) Pada beton keras (*hardened concrete*)

Beton geopolimer dalam keadaan keras memiliki sifat sebagai berikut :

- Memiliki kuat tekan lebih besar dari 90 Mpa pada umur 28 hari,
- Memiliki kuat tarik sebesar 1-15 Mpa pada umur 28 hari,
- Memiliki *water absorption* kurang dari 3%.

Dalam penggunaannya, beton geopolimer memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut :

a) Kelebihan beton geopolimer

- Tahan terhadap serangan asam sulfat,
- Tahan terhadap reaksi silika-alkali,
- Tahan terhadap api,
- Mempunyai rangkak dan susut yang kecil,
- Dapat mengurangi polusi udara.

b) Kekurangan beton geopolimer

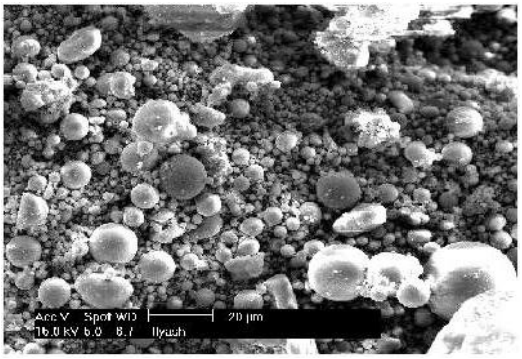
- Proses pembuatan yang sedikit lebih rumit dibandingkan beton konvensional karena jenis material yang digunakan lebih banyak dari pada beton konvensional
- Belum ada perhitungan *mix design* yang pasti.

2.4 *Binder*

Binder adalah bahan pengikat dalam campuran beton yang terdiri dari *fly ash* dan alkaline aktivator yang berupa sodium silikat (Na2SiO3) dan sodium hidroksida (NaOH).

2.4.1. *Fly Ash*

Fly ash, biasa dikenal sebagai abu berbentuk serbuk, yang merupakan hasil sisa dari pembakaran abu batu bara pada pembangkit tenaga listrik, yang dipisahkan dari gas pembakaran melalui pengumpul mekanik atau elektrostatik. *Fly ash* terdiri dari sebagian besar partikel yang mempunyai diameter 1-150 mikrometer yang lolos dari ayakan 45 mikrometer. Hal ini menarik untuk dijadikan sebagai pengganti semen karena memiliki aksi pozzolanik dimana *fly ash* sendiri memiliki sedikit aksi semen. Bila ada kelembapan *fly ash* akan bereaksi dengan kalsium hidroksida pada temperatur tepat untuk membentuk komposisi semen. Seperti semen portland, *fly ash* terdiri dari kalsium oksida, Alumunium oksida, dan Silikon oksida tetapi jumlah kalsium oksida lebih sedikit.



Gambar II.2 Scanning Electron Microscopy (SEM) dari Fly Ash
Sumber : Hardjito.D.,et.al. (2005)

Menurut klasifikasinya *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu (ACI, 1993) :

a. Kelas C

- *Fly ash* yang mengandung CaO di atas 10%, dan abu terbang (*fly ash*) yang dihasilkan melalui pembakaran lignit atau batu bara dengan kadar karbon ± 60% atau sub bitumen.
- Kadar ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) > 50%
- Kadar Na_2O mencapai 10%
- Memiliki sifat pozzolanik dan hidrolis.

b. Kelas F

- *Fly ash* yang mengandung CaO yang lebih kecil 10%, dan abu terbang (fly ash) yang dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis *anthrchacite* pada suhu 1560°C. Abu terbang (*fly ash*) ini mempunyai sifat pozolan.
- Kadar ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) > 70%
- Kadar Na_2O < 5%
- Memiliki sifat pozzolanik dan hidrolis yang lebih tinggi dari *fly ash* tipe C

c. Kelas N

- Pozzolan alam atau hasil pembakaran yang dapat digolongkan antara lain tanah *diatomic, opaline chertz dan shales, tuff* dan abu vulkanik, dimana biasa diproses melalui pembakaran atau tidak melalui proses pembakaran. Selain itu juga mempunyai sifat pozzolan yang baik.

Penggunaan *fly ash* dalam campuran beton memiliki beberapa keunggulan, yaitu (ACI, 1993) :

a) Pada beton segar

- Kehalusan dan bentuk partikel *fly ash* yang bulat dapat meningkatkan *workability*
- Mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi.

b) Pada beton keras

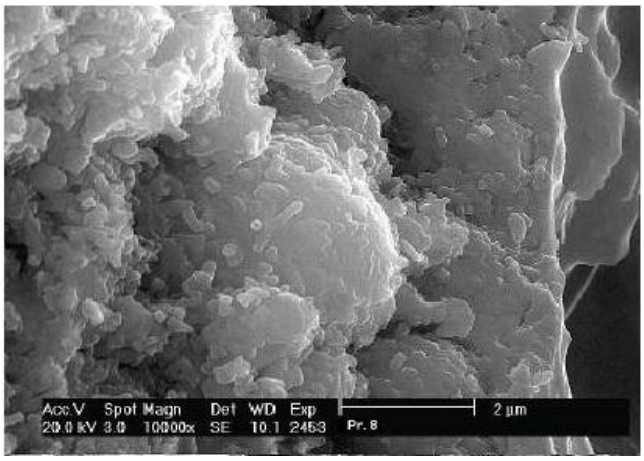
- Meningkatkan kuat tekan beton setelah ± 52 hari,
- Meningkatkan durabilitas beton,
- Meningkatkan kepadatan (*density*) beton,
- Mengurangi terjadinya penyusutan beton.

2.4.2 *Alkaline Aktivator* (Sodium Silikat dan Sodium Hidroksida)

Penggunaan *alkaline aktivator* dalam pembuatan *geopolymer* memiliki peranan penting sebagai salah satu bahan pengikat unsur alumunium dan silikat yang terkandung dalam *fly ash* sehingga terbentuk suatu ikatan polimerisasi dan mempercepat reaksi yang terjadi.

2.4.2.1 Sodium Hidroksida (NaOH)

Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Dalam campuran *fly ash* dan hidroksida yang diamati dalam ukuran mikrometer, terlihat adanya ikatan yang kurang kuat tetapi lebih padat dan tidak ada retakan seperti pada campuran sodium silikat dan *fly ash*, seperti pada gambar berikut:



Gambar II.3 Scanning Microscopy (SEM) dari Beton Geopolymer umur 28 hari
Sumber : Frantisek skvara, dkk, *Concrete bash on fly ash geopolymer*

2.4.2.2 Sodium Silikat (Na_2SiO_3)

Sodium silikat dapat dibuat dengan 2 proses yaitu proses kering dan proses basah. Pada proses kering, pasir (SiO_2) dicampur dengan *sodium carbonate* (Na_2CO_3) atau dengan *potassium carbonate* (K_2CO_3) pada temperatur 1100-1200°C. Hasil reaksi tersebut menghasilkan kaca (*cutlets*) yang dilarutkan ke dalam air dengan

tekanan tinggi menjadi cairan yang bening dan agak kental. Sedangkan dalam proses pembuatan basah, pasir (SiO_2) dicampur dengan *sodium hidroxide* (NaOH) melalui proses filtrasi akan menghasilkan sodium silikat yang murni.

Sodium silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan, untuk campuran beton lebih banyak digunakan dengan bentuk larutan. Sodium silikat atau yang biasa dikenal *water glass*, pada mulanya digunakan untuk membuat campuran sabun. Tetapi dalam perkembangannya sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, coating, campuran cat serta dalam beberapa keperluan industri, seperti kertas, serat, dan tekstil. Beberapa penelitian dapat membuktikan bahwa sodium silikat dapat digunakan untuk bahan campuran dalam beton (Hartono dan Sutanto, 2005). Dalam penelitian ini, sodium silikat digunakan sebagai salah satu bahan dari *Alkaline aktivator*.

Sodium silikat ini merupakan salah satu larutan alkali yang mempunyai peranan penting dalam proses polimerisasi karena sodium silikat mempunyai fungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi. Reaksi terjadi sangat cepat ketika larutan alkali banyak mengandung larutan silikat seperti sodium silikat ataupun potassium silikat dibandingkan reaksi yang terjadi akibat larutan alkali yang banyak mengandung larutan hidroksida.

2.5 Proses *Curing*

Agar memperoleh beton geopolimer berbahan dasar *fly ash* yang optimal, maka harus memperhatikan perawatan setelah beton geopolimer dicetak. Metode perawatan (*curing*) yang ada saat ini adalah dengan memberi panas dan kelengasan (Sanjaya dan Yuwono, 2006).

Pada beton geopolimer proses polimerisasi juga dapat dipercepat dengan pemberian panas sehingga dapat menaikkan temperatur, salah satunya dengan memasukkan benda uji ke dalam oven sehingga diperoleh hasil yang sangat signifikan. Untuk saat ini cara yang paling efektif meningkatkan kekuatan beton geopolimer adalah dengan menggunakan oven.

2.6 Daktilitas

Daktilitas merupakan kemampuan suatu material untuk mengalami respon inelastik yang dominan dalam memikul beban agar tidak terjadi kegagalan tiba-tiba. Secara matematis, nilai daktilitas (μ) didefinisikan sebagai perbandingan antara suatu parameter regangn ultimit (μu) dengan regangan pada saat terjadinya leleh pertama pada material yang ditinjau (μy), seperti yang diberikan dalam persamaan berikut :

$$\mu = \frac{\Sigma u}{\Sigma y}$$

2.7 Penelitian yang Sudah Pernah Dilakukan

Untuk berbagai *mix design* yang sudah pernah dilakukan, kita dapat menentukan hasil paling optimal yang dapat dipergunakan dalam percobaan.

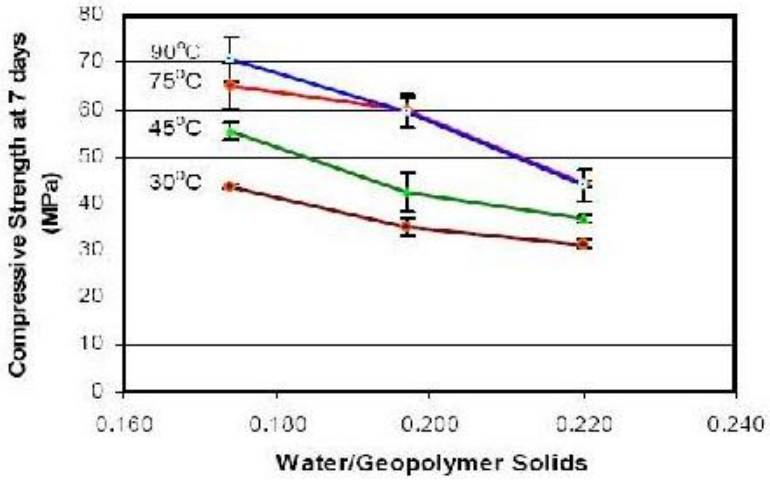
2.7.1 Penelitian oleh Djuwantorohardjito dan B.V. Rangan (2005)

Di dalam penelitian ini, literatur yang digunakan adalah Penelitian yang dilakukan Hardjito dan Rangan dengan penelitian yang berjudul *Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete*. Penelitian yang dilakukan Hardjito dan Rangan dilakukan dengan membuat sampel beton silinder berukuran 15 x 30 cm^2 dan dilakukan *curing* selama 24 jam pada suhu 60°C dengan metode mamasukkan benda uji ke dalam oven kemudian dilakukan pengujian *comprehessive stength* atau kuat tekan beton pada umur beton 7 hari. Selain itu dapat diambil kesimpulan *mix design* yang dilakukan di dalam literatur dan hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio sodium silikat : NaOH yang paling optimum adalah 2.5 dengan moralitas sodium hidroksida sebesar 12M, selain itu dapat diketahui bahwa *water / geopolymer solid* sangat mempengaruhi kekuatan beton dimana semakin besar *water / geopolymer solid* maka semakin kecil kuat tekannya, sedangkan umur beton tidak mempengaruhi pertambahan kekuatan seperti beton konvensional, agar lebih jelas dapat dilihat hasilnya di dalam tabel dan gambar berikut :

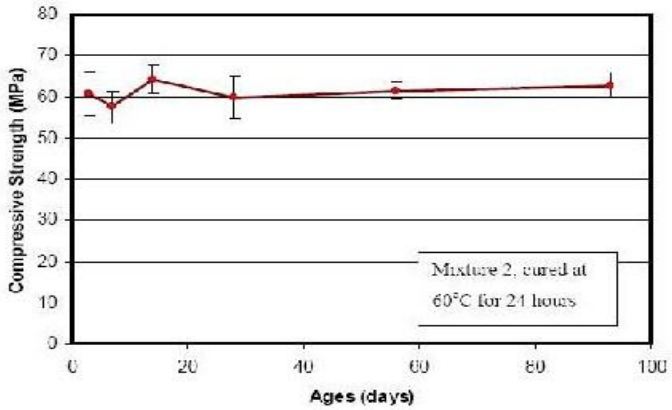
Tabel II.1 Hubungan Molaritas dan Perbandingan Sodium Hidroksida (NaOH) dan Sodium Silikat Terhadap Kuat Tekan Beton

Mixture	Concentration of NaOH liquid (in Molars)	Ratio of sodium silicate to NaOH solution (by mass)	Comprehessive strength at 7 th day (Mpa)
			Cured for 24 hours at 60°C
1	8M	0.4	17
2	8M	2.5	57
3	14M	0.4	48
4	14M	2.5	64

Sumber : Hardjito dan Rangan (2005, p. 47)



Gambar II.4 Hubungan antara Water/Geopolymer Solid (w/s) dan Kuat Tekan

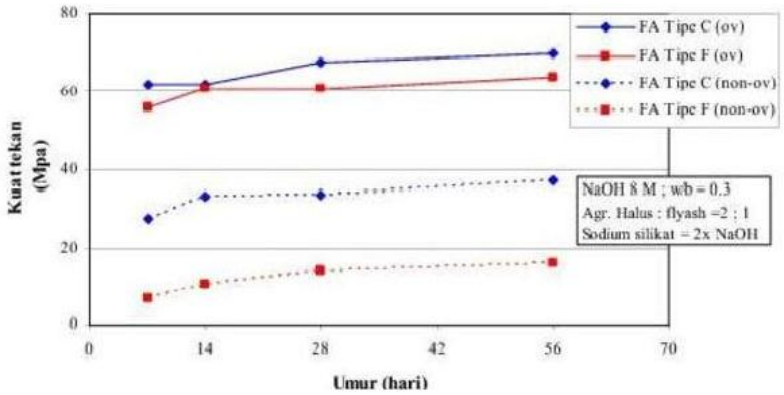


Gambar II.5 Hubungan Umur Beton dengan Kuat Tekan

2.7.2 Penelitian oleh Kosnatha dan Prasetio (2006)

Penelitian yang dilakukan oleh Konsantha dan Prasetio ini dilakukan dengan membuat mortar berbentuk silinder dengan diameter 5 cm dan tinggi 10 cm serta beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pada penelitian

dilakukan proses *curing* selama 24 jam dengan suhu 90°C dengan metode memasukkan benda uji ke dalam oven kemudian dilakukan pengujian *comprehessive strength* atau kuat tekan beton pada umur 7 hari. Dapat diambil kesimpulan mix design yang dilakukan di dalam literatur dan hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa kekuatan meningkat saat beton geopolimer di masukkan oven daripada dibiarkan dalam suhu ruangan, agar lebih memudahkan dipahami akan dijelaskan pada gambar berikut :

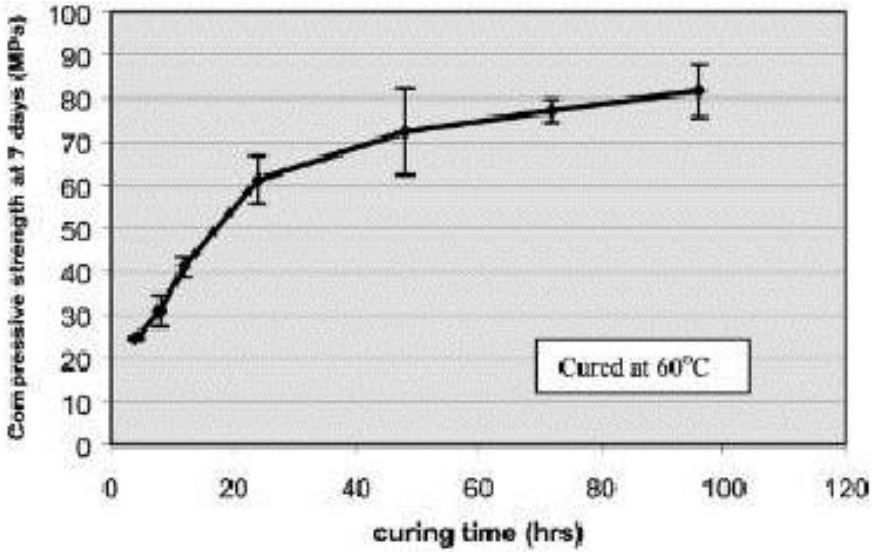


Gambar II.6 Perbandingan Kekuatan Mortar Berdasarkan Umur Mortar dan Proses Curing
Sumber : Kosnatha dan Prasetio (2006, p. 16)

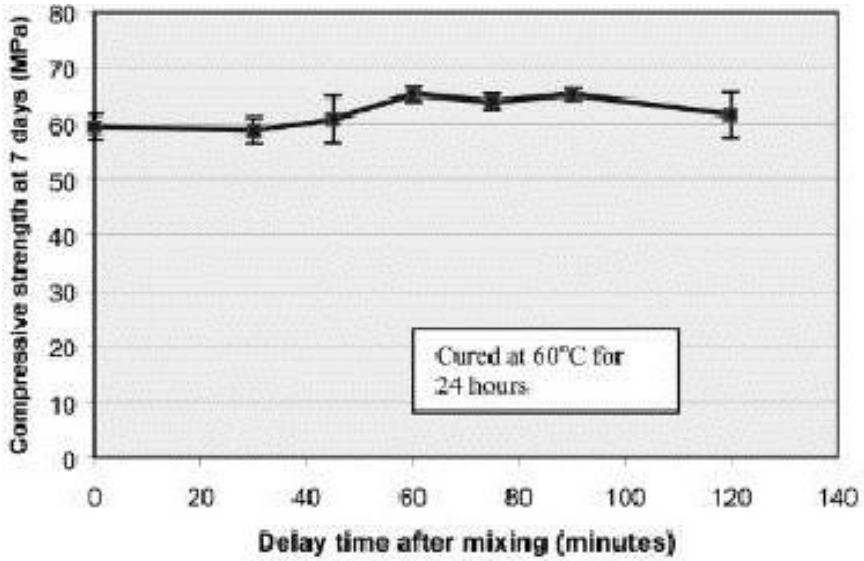
2.7.3 Penelitian oleh Djuwantoro Hardjito, Steenie E. Wallah, Dody M.J. Sumajouw, dan B. Vijaya Rangan (2004)

Dalam penelitian ini digunakan literatur penelitian yang dilakukan oleh Djuwantoro Hardjito, Steenie E. Wallah, Doddy M.J. Sumajouw, dan B. Vijaya Rangan yang berjudul *On The Development of Fly Ash Based Geopolymer Concrete*.Penelitian beton geopolimer ini menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan ukuran 100 x 200 mm berbahan dasar *fly ash* kelas F dan dengan proses *curing* 60°C. Penelitian ini membandingkan komposisi campuran sodium silikat dan NaOH terhadap kekuatan beton, efek curing waktu dalam kekuatan beton, dan efek *delay time* setelah beton selesai di cetak dan sebelum beton dirawat terhadap peningkatan kekuatan beton. Selain itu dapat diambil kesimpulan *mix design* yang dilakukan di dalam literatur dan hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa peningkatan waktu curing lebih dari 60 jam tidak menambah kekuatan secara luar biasa dan waktu *delay* sebelum dioven tidak

mempengaruhi kekuatan beton, agar lebih mudah dipahami maka dapat dilihat hasilnya di dalam gambar berikut :



Gambar II.7 Hasil Penelitian Hubungan antara Curing Time dan Kuat Tekan
Sumber : Hardjito et. al. (2004, p. 469)



Gambar II.8 Hasil Penelitian Hubungan Delay Time Curing dengan Kuat Tekan
Sumber : Hardjito et. al. (2004, p. 470)

2.7.4 Penelitian oleh B.V. Rangan (2008)

Dalam penelitian ini digunakan literatur penelitian yang dilakukan oleh B.V Rangan dalam laporan penelitian GC4 Curtin University yang berjudul *Fly Ash Based Geopolymer Concrete*. Penelitian beton geopolimer ini menggunakan sampel beton berbentuk silinder dengan ukuran 100 x 200 mm^2 berbahan dasar *fly*

ash kelas F dan dirawat selama 24 jam dengan suhu berbeda. Dari penelitian tersebut dapat dilihat bahwa jumlah air mempengaruhi tingkat kemudahan dikerjakannya campuran beton geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Sedangkan jumlah air yang semakin banyak akan menurunkan kekuatan tekan beton. Perbandingan alkali dengan *fly ash* yang semakin besar dalam campuran memperlemah kekuatan beton itu sendiri. Untuk memperjelas dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel II.2 Hasil Penelitian Terhadap Kandungan Air di Dalam Beton Geopolimer dengan Kuat Tekan (Rangan, 2008)

Water-to-geopolymer solids ratio, By mass	Workability	Design comprehessive strength (wet mixing time of 4 minutes steam curing at 60°C for 24 hours after casting), MPa
0.16	Very Stiff	60
0.18	Stiff	50
0.2	Moderate	40
0.22	High	35
0.24	High	30

Sumber : Rangan (2008, p. 18)

Tabel II.3 Hubungan Alkaline Activator / Fly Ash dengan Kuat Tekan (Rangan, 2008)

Alkaline liquid/fly ash, By mass	Water/geopolymer solids, By mass	Workability	Comprehessive strength, Mpa
0.3	0.165	Stiff	58
0.35	0.19	Moderate	45
0.4	0.21	Moderate	37
0.45	0.23	High	32

2.7.5 Resume Hasil Studi Literatur

Dari studi literatur terdahulu yang telah dijelaskan di atas dapat dirangkum menjadi sebagai berikut :

Tabel II.4 Hasil Perbandingan Studi Literatur

No.	Nama Peneliti	Tipe Fly Ash	Molaritas NaOH (Molar)	Suhu Oven (°C)	Rasio Perbandingan	Ket.	Hasil
1.	Djuwantoro Hardjito dan B.V. Rangan, 2005 Sample silinder 15cm x 30cm	Tipe F	8 & 14	60	0,4 – 2,5	– Pengaruh water/geopolymer solid terhadap kuat tekan beton geopolimer – Pengaruh umur beton terhadap kuat tekan beton geopolimer.	– Rasio sodium silikat :NaOH yang paling optimum adalah 2,5 dengan molaritas NaOH sebesar 12M. – Water/geopolymer solid sangat mempengaruhi kekuatan beton dimana semakin besar water maka semakin kecil kuat tekannya. – Umur beton tidak mempengaruhi pertambahan kekuatan seperti beton konvensional.
2.	Kosnatha dan Prasetio, 2005 Sample silinder 15cm x 30cm	Tipe F dan Tipe C	8	90	2	-	Kekuatan meningkat saat beton geopolimer di masukkan oven daripada dibiarkan dalam suhu ruangan.
3.	Djuwantoro Hardjito, S.E. Wallah, Dody M.J.S, dan B.V. Rangan, 2004 Sample silinder 10cm x 20cm	Tipe F	8 - 14	60	-	Membandingkan komposisi campuran Na_2SiO_3:NaOH terhadap kekuatan beton, efek curing waktu, dan efek delay time	– Peningkatan curing lebih dari 60 jam tidak menambah kekuatan secara luar biasa – Waktu delay sebelum dioven tidak mempengaruhi

							kekuatan beton
4.	B.V. Rangan, 2008 Sample silinder 10cm x 20cm	Tipe F	8	60	-	– Penelitian terhadap kandungan air di dalam beton geopolimer dengan kuat tekan – Hubungan alkaline aktivator/fly ash dengan kuat tekan	– Jumlah air mempengaruhi workability beton geopolimer berbahan dasar fly ash – Semakin banyak air, semakin banyak mengurangi kekuatan tekan beton – Perbandingan alkali dengan sly ash yang semakin besar dalam campuran memperlemah kekuatan beton itu sendiri.