

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beton sebagai salah satu pilihan konstruksi bangunan lebih banyak digunakan dibandingkan dengan bahan konstruksi lain; seperti kayu dan baja. Pemilihan penggunaan bahan konstruksi beton dikarenakan beton mempunyai beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh bahan lain; diantaranya beton relatif murah karena bahan penyusunnya didapat dari bahan lokal, mudah dalam pengerjaan dan perawatan, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, tahan terhadap perubahan cuaca, lebih tahan terhadap api dan korosi (Krisbiyantoro, 2005). Beton adalah bahan bangunan dari campuran agregat halus dan agregat kasar yang kemudian dicampurkan dengan pasta terbuat dari semen dan air, dengan atau tanpa bahan tambah. Sifat yang paling penting dari beton adalah kuat tekan. Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas.

Bahan penyusun beton yang paling banyak jumlahnya adalah agregat, yaitu mencapai 70% – 75% dari volume beton (Dipohusodo, 1996). Berdasarkan SNI 2847:2013, agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-fumace slag*) yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton, mortar semen hidrolis. Dalam campuran beton, agregat berperan untuk menghemat penggunaan semen, mengurangi penyusutan beton, menghasilkan kekuatan yang tinggi, dan menghasilkan beton padat jika gradasi agregat baik. Walaupun berfungsi sebagai pengisi, tetapi karena komposisinya cukup besar dalam beton maka agregat menjadi penting. Secara umum, agregat

dapat dibedakan berdasarkan ukuran butir yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam dan buatan. Contoh agregat yang berasal dari sumber alam adalah pasir alami dan kerikil, sedangkan agregat buatan adalah yang berasal dari *stone crusher* seperti batu pecah.

Penggunaan agregat kasar dalam pembuatan beton seringkali dihadapkan pada pilihan agregat kasar tak dipecah (kerikil) atau agregat kasar dipecahkan. Menurut Paul Nugraha & Antoni (2007) kualitas terutama yang diharapkan dari agregat kasar yaitu kekuatan, bentuk butir, gradasi. Selain itu penting juga untuk mengetahui pengaruh bentuk dan tekstur permukaan butiran agregat kasar terhadap beton. Jenis agregat batu pecah berbentuk angular dengan tekstur permukaan kasar, sedangkan kerikil berbentuk bulat dengan permukaan rata dan halus. Bentuk butiran agregat kasar akan mempengaruhi kelecakan (*workability*) dan kekuatan beton. Bentuk agregat kasar bulat baik untuk kelecakan sedangkan bentuk angular baik untuk kekuatan yang tinggi, begitu juga dengan tekstur permukaan yang kasar akan menghasilkan lekatan yang lebih baik dibanding permukaan halus. Bentuk agregat kasar juga dapat menentukan mutu suatu beton, berdasarkan SNI 03-2834-2000 perkiraan kekuatan tekan beton yang dihasilkan dengan menggunakan agregat kasar tak dipecah lebih rendah dibanding menggunakan agregat kasar dipecahkan.

Salah satu masalah yang juga berpengaruh pada kuat tekan beton adalah porositas. Porositas beton diartikan sebagai nilai perbandingan volume pori atau rongga terhadap volume total beton. Penyebab porositas yaitu kerapatan yang tidak maksimal karena terdapat partikel-partikel bahan penyusun beton yang ukurannya relatif besar. Besar dan kecilnya porositas juga dipengaruhi oleh besar dan kecilnya

faktor air semen (FAS) yang digunakan. Faktor air semen (FAS) adalah nilai perbandingan antara berat air dengan berat semen. Menurut Chu Kia Wang dan C.G.Salmon (1990), semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan desaknya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pekerjaan (mudahnya beton untuk dilakukan cor) akan tetapi menurunkan kekuatan.

Jika faktor air semen terlalu rendah maka pengerjaan beton menjadi sulit sehingga pemadatan tidak maksimal dan akan mengakibatkan beton menjadi keropos serta menurunkan kekuatannya. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menaikkan kekuatan beton dengan membuat adukan yang mudah dikerjakan serta meminimalisir porositas. Salah satu cara yang dilakukan adalah pemberian bahan tambah pada beton berupa HRWR (*High Range Water Reducer*) dan abu terbang.

Penggunaan bahan tambah sudah lazim digunakan untuk beton dengan tujuan merubah sifat beton sesuai yang dikehendaki. Berdasarkan SNI 03-2495-1991, bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran beton selama pengadukan, dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifat beton.

HRWR (*High Range Water Reducer*) merupakan bahan tambah kimia tipe F yang termasuk dalam klasifikasi SNI 03-2495-1991. Bahan tambah ini digunakan untuk meningkatkan nilai *slump* dan memudahkan pekerjaan serta menaikkan kekuatan beton. Bahan tambah pengurang air yang besar (HRWR) berupa *superplasticizer*. Menurut ASTM C494, *superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif.

Berbagai produk bahan tambah *superplasticizer* memiliki tujuan penggunaan yang sama, meningkatkan nilai slump dan kemudahan pekerjaan serta kekuatannya dengan takaran tertentu. Produk *superplasticizer* yang lain adalah Sikament LN. Sesuai dengan ASTM C494-92 Tipe F, Sikament LN merupakan aditif pengurang air dan sangat efektif untuk meningkatkan pengerasan awal beton atau beton yang dipercepat dengan kemampuan kerja yang tinggi. Sikament LN sebagai aditif beton berfungsi sebagai campuran adukan beton untuk mengurangi keropos, memudahkan pengecoran dan mempercepat pengerasan beton (kekuatan awal beton) (Sika, 2016).

Penggunaan Sikament LN dengan variasi 0,7%, 1%, 1,3% (Arief, Mungok, & Samsurizal, 2014) pada campuran beton yang menggunakan agregat kasar kerikil terjadi peningkatan bila dibandingkan dengan beton tanpa tanpa *additive* yaitu 26,55 MPa. Kuat tekan rata-rata benda uji umur 28 hari berturut mencapai 36,54 MPa, 39,02 MPa, dan 46,22 MPa. Kesimpulan dalam penelitian tersebut adalah semakin besar penambahan Sikament LN dengan kontrol slump 7 – 10 cm akan meningkatkan kuat tekannya.

Abu terbang atau *fly ash* merupakan salah satu bahan tambah mineral yang bersifat pozzolan dan mempunyai partikel yang sangat halus, dapat berguna untuk mengurangi porositas beton. Abu terbang adalah sisa hasil pembakaran batu bara yang keluar dari tungku pembakaran PLTU. Secara fisik, material abu terbang memiliki kemiripan dengan semen dalam hal kehalusan butiran. Abu terbang dapat digunakan sebagai material pengganti atau penambah semen dalam beton. Selain sebagai *cementious*, material abu terbang juga dapat digunakan sebagai *filler* yaitu pengisi, sama fungsinya seperti agregat.

Pengaruh abu terbang sebagai *filler* untuk kuat tekan beton (Tilik, Marpaung, & Prabudi, 2014) mampu meningkatkan kuat tekan beton umur 28 hari dengan campuran 10% abu terbang sebagai *filler* beton sebesar 44,44 MPa, sedangkan 20% abu terbang didapatkan kuat tekan sebesar 36,05 MPa. Penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa secara mekanik sifat abu terbang mampu mengisi rongga dan mengurangi porositas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, timbul keingintahuan membuat beton dengan bahan penyusun dari agregat kasar tak dipecah (kerikil) menggunakan bahan tambah *superplasticizer* dan abu terbang. Bahan tambah *superplasticizer* menggunakan merek Sikament LN yang merupakan salah satu produk dari PT. Sika Indonesia. Penggunaan Sikament LN dengan kadar 0% – 2% dari berat semen dengan interval variasi sebesar 0,5%. Abu terbang sebanyak 15% sebagai pengisi (*filler*) pada beton akan mengurangi bahkan menutupi rongga udara diantara agregat dan mortar.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka identifikasi masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana prosedur perancangan beton menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan *superplasticizer* dan abu terbang sebagai *filler* serta pengujiannya?
- 2) Bagaimanakah pengaruh penggunaan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan bahan tambah *superplasticizer* dan abu terbang sebagai *filler* serta pengujiannya?

- 3) Seberapa besar perbedaan kuat tekan beton normal antara beton yang menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil) tanpa bahan tambah dan dengan bahan tambah *superplasticizer* dan abu terbang sebagai *filler*?

1.3 Pembatasan Masalah

Mengingat keterbatasan terutama dalam hal waktu dan tenaga, maka penelitian ini dibatasi pada:

- 1) Semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I (*Portland Cement Composite*).
- 2) Agregat yang digunakan adalah jenis agregat alami. Agregat halus berupa pasir beton asal Kota Cirebon dan agregat kasar tak dipecah berupa kerikil asal Kota Tangerang.
- 3) Bahan tambah kimia yang digunakan adalah jenis *superplasticizer* merek Sikament LN dari PT. Sika Indonesia, dengan kadar 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dari berat semen.
- 4) Bahan tambah mineral yang digunakan adalah abu terbang (*fly ash*) sebanyak 15% sebagai *filler* beton, untuk setiap benda uji yang dibuat.
- 5) Agregat kasar dengan ukuran maksimum 30 mm.
- 6) Benda uji menggunakan cetakan beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
- 7) Jumlah masing-masing perlakuan benda uji adalah 3 buah untuk dilakukan pengujian kuat tekan beton pada hari ke 7, 14, dan 28.
- 8) Metode perancangan *mix design* dengan f_c' rencana 35 MPa, kontrol *slump* 120 ± 20 mm, dan faktor air semen 0,4.

- 9) Menggunakan SNI 1974:2011, tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.
- 10) Penelitian dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, identifikasi masalah, pembatasan masalah diatas, maka masalah dapat dirumuskan menjadi: Bagaimana pengaruh penambahan variasi kadar *superplasticizer* 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dari berat semen dengan penambahan 15% abu terbang sebagai *filler* pada kuat tekan beton menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil)?

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

- 1) Menjelaskan variasi penggunaan kadar *superplasticizer* 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan abu terbang 15% sebagai *filler* terhadap kuat tekan beton yang menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil).
- 2) Sifat penelitian adalah *explanatory research*, bermanfaat untuk membuktikan teori terkait dengan penggunaan *superplasticizer* sebagai bahan tambah; penggunaan abu terbang sebagai *filler* beton; penggunaan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dalam beton.
- 3) Memberikan informasi dan menambah pengetahuan bagi pembaca terkait pengaruh penambahan *superplasticizer* dan abu terbang sebagai *filler* beton untuk meningkatkan kuat tekan beton normal.

BAB II

KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR, DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1 Kerangka Teoritis

Kerangka teoritis akan menjabarkan tentang beton, bahan penyusun beton, bahan tambah kimia dan mineral.

2.1.1 Beton

Beton pada dasarnya adalah campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampur dengan air dan semen sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta kadang-kadang ditambahkan *additive* (Tjokrodimuljo, 2007). Menurut SNI 2847:2013, beton (*concrete*) didefinisikan campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*).

2.1.1.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton

Beton memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan lain dan kekurangannya (Tjokrodimuljo, 2007) sebagai berikut:

1) Kelebihan Beton

Kelebihan utama beton adalah harganya relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar yang umumnya tersedia di dekat lokasi pembangunan, kecuali semen Portland. Selain itu beton termasuk bahan yang awet, tahan aus, tahan kebakaran, dan tahan terhadap pengkaratan atau pembusukan oleh kondisi lingkungan, sehingga biaya perawatan murah.

Secara struktural, kuat tekan beton cukup tinggi sehingga jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat. Pada beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk dan ukuran sesuai keinginan. Cetakan dapat pula dipakai beberapa kali sehingga secara ekonomi menjadi murah.

2) Kekurangan Beton

Penggunaan bahan dasar penyusun beton (agregat halus maupun agregat kasar) bermacam-macam sesuai dengan lokasi pengambilannya, sehingga dalam perencanaan dan cara pembuatannya bermacam-macam pula. Pada beton keras mempunyai beberapa kelas kekuatan sehingga harus disesuaikan dengan bagian bangunan yang dibuat, sehingga bermacam-macam pula perencanaan dan cara pelaksanaannya. Kekurangan yang paling utama dari beton yaitu kuat tarik rendah, sehingga getas atau rapuh dan mudah retak.

2.1.1.2 Faktor Air Semen (FAS)

Faktor air semen dinyatakan dengan perbandingan antara berat air dan berat semen. Menurut Tjokrodinuljo (2007), semakin besar faktor air semen (FAS), makin rendah kuat tekan betonnya. Walaupun semakin rendah faktor air semen, kekuatan beton semakin tinggi, akan tetapi pada faktor air semen kurang dari 0,35 atau kurang dari 25% dari berat semen, kuat tekan beton akan rendah. Hal ini terjadi karena kesulitan dalam pemadatan adukan beton, sehingga beton menjadi kurang padat. Fungsi faktor air semen yaitu:

- (a) Untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan.
- (b) Memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*).

Faktor air semen dapat dihitung dengan rumus seperti berikut:

$$\text{Faktor Air Semen} = \frac{\text{berat air}}{\text{berat semen}}$$

keterangan: berat air, dinyatakan dalam kg/liter

berat semen, dinyatakan dalam kg/mm^3

2.1.1.3 Slump

Menurut SNI 1972:2008, *slump* adalah penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji slump diangkat. Slump yang digunakan umumnya sebesar 50 – 100 mm. Apabila menggunakan *superplasticizer* nilai slump boleh melebihi 200 mm.

2.1.1.4 Keleccakan Beton

Beton yang ideal adalah yang cukup lecah untuk dipadatkan secara menyeluruh, namun tidak memerlukan air berlebihan. Keleccakan adalah kemudahan mengerjakan beton, dimana menuang (*placing*) dan memadatkan (*compacting*) tidak menyebabkan munculnya efek negatif berupa pemisahan (*segregation*) dan pendarahan (*bleeding*). Keleccakan terutama dipengaruhi oleh kadar air. Air diperlukan untuk membuat semen menjadi pasta dan menjadikannya lecah. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi keleccakan, yaitu (Nugraha & Antoni, 2007):

- (a) Gradasi, bentuk dan kualitas permukaan butir agregat.
- (b) Rasio antara agregat halus dan agregat kasar.
- (c) Diameter maksimum.
- (d) Absorpsi.

2.1.2 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton terdiri dari semen, air, agregat dengan atau tidak menggunakan bahan tambah, yang dideskripsikan secara teoritik pada sub bab berikut:

2.1.2.1 Semen Portland

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 tentang Semen Portland, mendefinisikan bahwa semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen Portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain.

Fungsi semen yaitu untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak atau padat. Selain itu pasta semen juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat. Volume semen hanya kira-kira sebanyak 10% saja dari volume beton. Dalam campuran beton, semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif berfungsi sebagai pengisi (Tjokrodinuljo, 2007).

SNI 15-2049-2004 mengklasifikasikan jenis dan penggunaan semen dalam 5 jenis, yaitu:

- 1) Jenis I yaitu semen yang digunakan untuk penggunaan umum (tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain).
- 2) Jenis II yaitu semen yang digunakan sebagai keperluan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

- 3) Jenis III yaitu semen yang digunakan sebagai keperluan untuk kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Jenis IV yaitu semen yang digunakan untuk keperluan kalor hidrasi rendah.
- 5) Jenis V yaitu semen yang digunakan dalam memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

1) Susunan Kimia Semen

Bahan dasar semen Portland terdiri dari bahan-bahan yang, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Susunan Unsur Semen Portland

Oksida	Persen (%)
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnesia, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda/ Potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Sumber: Tjokrodimuljo, 2007

2) Senyawa dan Sifat Kimia Semen

Menurut Paul Nugraha & Antoni (2007), senyawa utama dalam semen Portland antara lain Trikalsium Silikat $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C₃S), Dikalsium Silikat $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C₂S), Trikalsium Aluminat $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C₃A), Tetrakalsium Aluminoferrit $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C₄AF).

Senyawa tersebut menjadi kristal-kristal yang saling mengikat ketika menjadi klinker. Senyawa C₃S dan C₂S adalah senyawa senyawa yang memiliki sifat perekat, dengan komposisi 70% - 80% dari berat semen. C₃A adalah senyawa yang paling reaktif. C₄AF dan lainnya (oksida alumina dan besi) berfungsi sebagai

katalisator (*fluxing agents*) yang menurunkan temperatur pembakaran dalam kiln untuk pembentukan kalsium silikat (Nugraha & Antoni, 2007).

3) Sifat Fisika Semen

Semen Portland yang digunakan dalam beton harus memiliki kualitas tertentu agar berfungsi secara maksimal. Tjokrodinuljo (2007) membagi sifat fisika semen diantaranya:

(a) Kehalusan Butir

Butiran semen yang halus akan menjadi kuat dan menghasilkan panas hidrasi lebih cepat daripada semen dengan butiran yang lebih kasar. Semen berbutir halus meningkatkan kohesi pada beton segar dan dapat mengurangi *bleeding*, akan tetapi menambah kecenderungan beton untuk menyusut lebih banyak dan mempermudah terjadinya retak susut.

(b) Waktu Ikatan

Semen jika dicampur dengan air membentuk gel yang secara bertahap menjadi kurang plastis, dan akhirnya menjadi keras. Waktu untuk mencapai tahap tersebut disebut sebagai waktu ikatan. Waktu ikatan dibagi menjadi 2 bagian. Waktu ikatan awal (*initial time*) adalah waktu dari saat pencampuran semen dan air hingga kehilangan sifat plastisnya. Waktu ikatan akhir (*final setting time*) adalah waktu hingga mencapai pasta menjadi massa yang keras.

(c) Panas Hidrasi

Silikat dan aluminat pada semen bereaksi dengan air menjadi bahan perekat yang memadat lalu membentuk massa yang keras. Reaksi membentuk bahan perekat disebut hidrasi. Panas hidrasi diartikan sebagai banyaknya panas dalam kalori/gram pada semen yang terhidrasi. Pada saat proses hidrasi, bagian luar beton

kehilangan panas karena berhubungan dengan udara sekitar sehingga terjadi perbedaan temperatur antara bagian luar dan dalam beton. Tahap berikutnya yaitu pendinginan, temperatur bagian dalam beton menurun menyamai bagian luarnya maka dapat terjadi perubahan volume antara bagian dalam dan luar, sehingga dapat terjadi retakan. Kebutuhan air untuk hidrasi semen hanya sekitar 25% – 30% dari berat semennya.

(d) Berat Jenis

Berat jenis semen berkisar pada $3,15 \text{ mg/m}^3$. Nilai berat jenis tersebut berpengaruh terhadap perbandingan campuran beton, bukan terhadap kualitas semen.

2.1.2.2 Agregat

Berdasarkan SNI 2847:2013 agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-fumace slag*), yang digunakan dengan media perangkat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidraulis.

Agregat menempati 70 – 75% dari total volume beton maka kualitas agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas beton. Dengan agregat yang baik, beton dapat dikerjakan (*workable*), kuat, tahan lama, dan ekonomis. Terdapat pengaruh sifat agregat terhadap sifat beton dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Nugraha & Antoni, 2007).

Tabel 2.2 Pengaruh Sifat Agregat pada Sifat Beton

Sifat Agregat	Pengaruh pada	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, gradasi	Beton cair	Keleccakan, pengikatan, dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, dan ketahanan

Sumber: Nugraha & Antoni, 2007

Agregat dapat dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan sumbernya yaitu agregat alam dan agregat buatan (pecahan). Secara umum agregat dibedakan berdasarkan ukuran butiran, dibedakan menjadi 2, yaitu:

2.1.2.2.1 Agregat Kasar

Berdasarkan SNI 1969:2008 agregat kasar yaitu kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No. 4) sampai 40 mm (No. 1 1/2 inci).

Agregat kasar yang baik harus memenuhi syarat yang tercantum dalam SNI 03-1750-1990 tentang Agregat Beton, Mutu, dan Cara Uji, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Syarat Agregat Kasar

Persen Butir Lewat Ayakan, Besar Butir Maksimal			
Lubang Ayakan (mm)	40 mm	20 mm	12,5 mm
38,10	95 – 100	100	–
19,00	35 – 70	95 – 100	100
9,52	10 – 40	30 – 60	50 – 85
4,76	0 – 5	0 – 10	0 – 10

Sumber: SNI 03-1750-1990

Agregat kasar harus memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, sebagai berikut:

- (a) Butirannya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan $\leq 5\%$.
- (b) Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18%.
- (c) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06) lebih dari 1%.

- (d) Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- (e) Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
- (f) Modulus halus butir antara 6 – 7,1 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- (g) Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari: $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $\frac{1}{3}$ tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

Tri Mulyono (2004) membagi agregat menjadi alam dan buatan, untuk agregat kasar dalam SNI dibedakan menjadi agregat kasar tak dipecah dan agregat kasar dipecahkan. Terdapat perbedaan dari kedua agregat kasar tersebut terutama bentuk dan tekstur permukaan butir yang dapat mempengaruhi keadaan campuran beton.

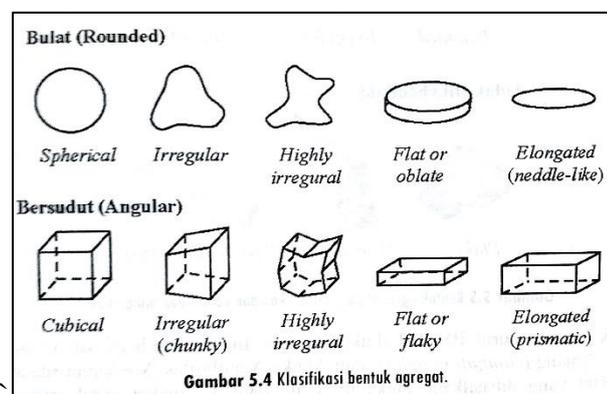
1) Agregat Kasar Tak Dipecah

Sebagian besar batu kerikil ditemukan di daerah pegunungan, di tanah aluvial, seperti endapan fluvial dekat sungai atau sebagai endapan sungai. Kesesuaian kerikil untuk digunakan sebagai agregat tergantung pada beberapa sifat diantaranya distribusi ukuran butiran, bentuk partikel, tekstur permukaan, dan pelapukan. Bentuk kerikil yang cenderung bulat dikarenakan gesekan oleh air sepenuhnya, sehingga memiliki permukaan yang halus dan licin. Berdasarkan karakteristik fisik dan struktural bebatuan, pada permukaan batuan kerikil alami memiliki lapisan lumut kerak atau dinamakan lapisan *lignit*. Tekstur permukaan partikel terutama mempengaruhi ikatan antara agregat dan pasta semen pada pengerasan beton (Langer W.H & Knepper D.H, 1995).

Menurut Tri Mulyono (2004) agregat kasar tak dipecahkan merupakan agregat alami berupa kerikil alami yang banyak didapatkan di sungai-sungai maupun pesisir pantai. Bentuk agregat dipengaruhi oleh beberapa faktor, secara alamiah bentuk agregat jenis ini dipengaruhi oleh proses geologi batuan.

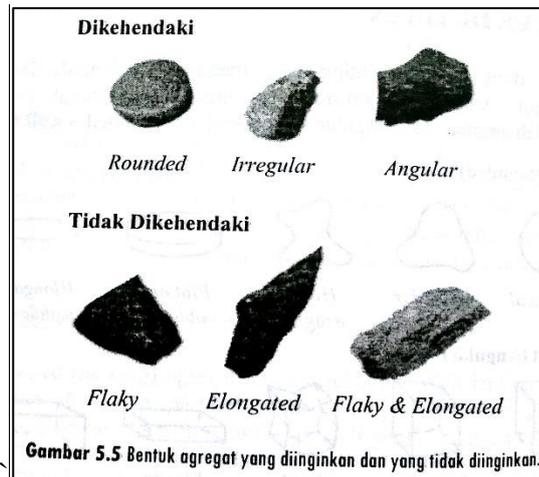
Menurut Paul Nugraha & Antoni (2007) agregat kasar tak dipecah (kerikil) cenderung memiliki bentuk bulat dan kadang agak pipih. Bentuk dari agregat tersebut akan mempengaruhi kelecakan (*workability*) dan kekuatan beton. Klasifikasi bentuk pada agregat kasar dapat dilihat pada Gambar 2.1. Agregat kasar dengan bentuk butiran bulat adalah yang terbaik untuk kelecakan beton. Bentuk yang pipih dan memanjang kurang baik karena sulit untuk dipadatkan. Bentuk yang dikehendaki adalah bentuk yang tidak pipih seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Sedangkan Tri Mulyono (2004) menambahkan dalam klasifikasi agregat berdasarkan bentuk, bahwa agregat kasar yang memiliki bentuk bulat, bulat sebagian atau tidak teratur, panjang, dan pipih kurang cocok untuk digunakan sebagai beton yang menekankan kepada kekuatan karena ikatan yang dihasilkan antar agregat tersebut kurang kuat (belum cukup baik).

Gambar 2.1 Klasifikasi Bentuk Agregat Kasar



Sumber: Paul Nugraha & Antoni (2007)

Gambar 2.2 Bentuk Agregat Kasar Yang Dikehendaki dan Yang Tidak Dikehendaki



Sumber: Paul Nugraha & Antoni (2007)

Bentuk permukaan butir agregat kasar juga dapat mempengaruhi mutu suatu beton. Menurut SNI 03-2834-2000 kuat tekan yang dihasilkan dari jenis agregat kasar tak dipecah lebih rendah bila dibandingkan dengan menggunakan agregat kasar dipecahkan, dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perkiraan Kekuatan Tekan Beton dengan Faktor Air Semen 0.5 dan Jenis Semen serta Agregat Kasar yang Biasa Dipakai Di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan Beton (MPa)				Bentuk Benda Uji
		Pada umur (Hari)				
		3	7	28	90	
Semen Portland Tipe I	Batu tak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II, IV	Batu tak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

Sumber: SNI 03-2834-2000

Dari segi tekstur permukaan butir, agregat kasar tak dipecah (kerikil) cenderung licin atau mengkilat (*glassy*) dan rata. Semakin licin atau mengkilat

permukaan agregat kasar maka akan semakin sulit beton untuk dikerjakan karena lekatan yang dihasilkan pada campuran beton lemah (Nugraha & Antoni, 2007). Secara teori, agregat kasar tak dipecah (kerikil) tidak memiliki pengaruh yang baik pada beton, akan tetapi agregat kasar jenis ini mudah didapatkan dan harganya yang lebih murah sehingga masih menjadi pilihan bagi konsumen.

2) Agregat Kasar Dipecahkan

Agregat kasar jenis ini merupakan agregat butiran yang berasal dari *stone crusher*, hasil residu terak tanur tinggi, pecahan genteng, pecahan beton, *extended shale*, *expanded slag*, dan lainnya. Bentuk agregat kasar dipecahkan dipengaruhi oleh mesin pemecah batu dan teknik yang digunakan (Mulyono, 2004).

Menurut Paul Nugraha & Antoni (2007) bentuk agregat kasar jenis ini cenderung berbentuk *angular* dan bersudut, contohnya seperti batu pecah atau split. Dengan bentuk seperti itu, maka permukaannya lebih besar dan akan menghasilkan kekuatan yang tinggi. Tri Mulyono (2004) berpendapat bahwa agregat kasar dengan bentuk bersudut cocok digunakan untuk beton yang menekankan pada kekuatan karena ikatan yang dihasilkan antar agregatnya baik (kuat). Agregat kasar dengan bentuk tersebut juga dapat digunakan untuk bahan lapis perkerasan (*rigid pavement*). Selain itu SNI 03-2834-2000 juga memperkirakan kekuatan yang dihasilkan dari bentuk jenis agregat kasar dipecahkan lebih tinggi dibanding agregat kasar tak dipecah, dapat dilihat pada Tabel 2.4. Agregat kasar dipecahkan memiliki tekstur permukaan butir yang kasar sehingga menghasilkan lekatan yang baik dalam campuran beton dan mudah untuk dikerjakan. Agregat kasar jenis ini sudah sering digunakan diberbagai konstruksi, terutama untuk kebutuhan struktur yang menekankan pada kekuatan yang tinggi.

2.1.2.2.2 Agregat Halus

Berdasarkan SNI 1970:2008, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi ‘alami’ batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm (No.4).

Agregat halus yang digunakan sebagai bahan pengisi beton harus memenuhi persyaratan SK SNI S-04-1989-F diantaranya:

- (a) Butirannya tajam dan keras, dengan indeksi kekerasan $\leq 2,2$.
- (b) Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca. Jika diuji dengan larutan Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18%.
- (c) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%.
- (d) Tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna menggunakan larutan NaOH sebanyak 3% yaitu warna cairan diatas endapan agregat halus tidak boleh gelap daripada warna standar atau pembanding.
- (e) Modulus halus butir antara 1,50 – 3,80 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- (f) Agregat halus dari laut atau pantai, diperbolehkan tetapi dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan.

2.1.2.3 Air

Air diperlukan dalam pembuatan beton untuk: (1) Bereaksi dengan semen; dan (2) Menjadi bahan pelumas antara butir-butir agregat, agar dapat mudah dikerjakan (diaduk, dituang, dan dipadatkan) (Tjokrodimuljo, 2007).

Menurut Edward G. Nawy (2008) penggunaan air dalam suatu campuran beton hanya berkisar antara 150 – 200 kg/m³ dan beton yang kuat dapat diperoleh dengan menggunakan air yang konsisten dan *workability* yang maksimal.

Air sebagai bahan bangunan harus memenuhi persyaratan yang tercantum dalam SK SNI S-04-1989-F, diantaranya:

- (a) Air harus bersih.
- (b) Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.
- (c) Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 1,5 gram/liter.
- (d) Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter.
- (e) Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO₃) lebih dari 1 gram/liter.

2.1.3 Bahan Tambah

Berdasarkan SNI 03-2495-1991, bahan tambahan adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran beton selama pengadukan, dalam jumlah tertentu untuk merubah beberapa sifat beton.

Pemberian bahan tambah pada adukan beton dengan maksud untuk: memperlambat waktu pengikatan, mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah daktilitas (mengurangi sifat getas), mengurangi retak-retak pengerasan, mengurangi panas hidrasi, menambah kekedapan, menambah keawetan, dan sebagainya (Tjokrodinuljo, 2007).

Tri Mulyono (2004) membagi bahan tambah yang digunakan dalam beton menjadi 2 yaitu bahan tambah kimiawi (*chemical admixture*) dan bahan tambah mineral (*additive*). Bahan tambah kimia (*chemical admixture*) lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja pelaksanaan, sedangkan bahan tambah mineral (*additive*) bersifat penyemenan dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja kekuatan beton. Bahan tambah *admixture* ditambahkan saat pengadukan dan atau saat pelaksanaan pengecoran, sedangkan bahan tambah *additive* ditambahkan saat pengadukan dilaksanakan.

2.1.3.1 Bahan Tambah Kimia (*Chemical Admixture*)

Bahan tambah kimia (*chemical admixture*) ada bermacam-macam. Menurut ASTM C 494-92 tentang *Standart Specification for Chemical Admixtures for Concrete*, bahan kimia pembantu terbagi menjadi:

- (a) Jenis A – Mengurangi air (*water reducer*): Bahan tambahan tipe A adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan;
- (b) Jenis B – Memperlambat pengikatan (*retarder*): Bahan tambahan tipe B adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk memperlambat waktu pengikatan beton;
- (c) Jenis C – Mempercepat pengikatan (*accelerator*): Bahan tambahan tipe C adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mempercepat waktu pengikatan dan menambah kekuatan awal beton;
- (d) Jenis D – A+B (*water reducer & retarder*): Bahan tambahan tipe D adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi campuran untuk

menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton;

- (e) Jenis E – A+C (*water reducer & accelerator*): Bahan tambahan tipe E adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan dan juga untuk mempercepat waktu pengikatan serta menambah kekuatan awal beton;
- (f) Jenis F – *Superplasticizer (water reducer high range)*: Bahan tambahan tipe F adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan;
- (g) Jenis G – *Water reducer high range & retarder*: Bahan tambahan tipe G adalah suatu bahan tambahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah air campuran sebesar 12% atau lebih, untuk menghasilkan beton sesuai dengan konsistensi yang telah ditetapkan dan juga untuk memperlambat waktu pengikatan beton.

Selain itu ada juga sebagai (1) Menambahkan buih udara (*air entrainment*) dan (2) Membuat kedap air (*waterproofing*).

2.1.3.2 Superplasticizer

Superplasticizer merupakan bahan tambah pengurang air yang besar (*HRWR/ High Range Water Reducer*), yang merupakan bahan tambah kimia tipe F dalam klasifikasi SNI 03-2495-1991. Bahan tambah ini digunakan untuk meningkatkan nilai *slump* dan kekuatan beton, menghasilkan beton dengan

kemudahan pekerjaan tanpa penambahan jumlah air yang berlebihan yang akan mengakibatkan *bleeding* atau segregasi.

Superplasticizer pertama kali diperkenalkan di Jepang dan kemudian di Jerman pada awal tahun 1960-an. Menurut ASTM C494, *Superplasticizer* adalah bahan kimia tambahan pengurang air yang sangat efektif. *Superplasticizer* merupakan polimer linear yang mengandung *sulfonic acid* (asam sulfonat).

Prinsip mekanisme kerja dari setiap *superplasticizer* sama yaitu menghasilkan gaya tolak menolak (*dispersion*) yang cukup antar partikel semen agar tidak terjadi penggumpalan partikel semen (*flocculate*) yang dapat menyebabkan terjadinya rongga udara di dalam beton, yang akhirnya akan mengurangi kekuatan atau mutu beton tersebut. *Superplasticizer* terbagi atas beberapa jenis yaitu *Sulphonate Melamine Formaldehyde Condensates* (SMFC), *Sulphonate Naphthalene Formaldehyde Condensates* (SNFC), dan yang terbaru adalah *Polycarboxylate ethers* (PCE). Pemakaian dosis yang tinggi pada *superplasticizer* dengan bahan dasar *naphthalene* atau *melamine* (berkisar pada dosis 1,5% atau lebih) akan menyebabkan mortar sulit mengeras dan kehilangan kekuatannya, sedangkan untuk bahan dasar *polycarboxylate* hanya berpengaruh pada penurunan kekuatan awal dan tidak berpengaruh terhadap kekuatan akhir (Nugraha & Antoni, 2007).

Selain itu Paul Nugraha & Antoni (2007) juga mengemukakan kelebihan dan kelemahan dari penggunaan bahan tambah *superplasticizer*, diantaranya:

1) Kelebihan *Superplasticizer*

- (a) Meningkatkan *workability*.
- (b) Mengurangi kebutuhan air (25 – 35%).

- (c) Memudahkan pembuatan beton yang sangat cair. Memungkinkan penuangan pada tulangan yang rapat atau bagian yang sulit dijangkau.

2) Kelemahan *Superplasticizer*

- (a) *Slump loss* terutama untuk tipe *naphthalene* perlu lebih diperhatikan.
- (b) Kemungkinan terjadi pemisahan (*segregasi*) dan *bleeding* jika *mix design* tidak dikontrol dengan baik.
- (c) Harga relatif mahal.

2.1.3.3 Sikament LN

Sikament LN merupakan bahan tambah kimia (*chemical admixtures*), termasuk dalam tipe F yaitu *Superplasticizer*. Sikament LN adalah produk PT. Sika Indonesia. Sikament LN sebagai aditif pengurang air dan sangat efektif untuk meningkatkan pengerasan awal beton atau beton yang dipercepat dengan kemampuan kerja yang tinggi. Bahan tambah jenis ini dapat diaplikasikan pada pekerjaan beton secara umum, maupun beton mutu tinggi. Kegunaan dari Sikament LN sebagai campuran adukan beton untuk mengurangi keropos, memudahkan pengecoran dan mempercepat pengerasan beton (kekuatan awal beton) dengan pengurangan air hingga 20% yang akan menghasilkan peningkatan kekuatan tekan beton pada umur 28 hari sampai lebih dari 40%. Kemasan produk 20 lt berwarna coklat tua. Secara kimia unsur yang terkandung dalam Sikament LN adalah *Modified Naphthalene Formaldehyde Sulfonate*, dengan berat jenis pada temperatur 20°C sebesar $1,22 \pm 0,01$ kg/L. Proporsi campuran yang direkomendasi sekitar 0,30% – 2,0% dari berat total semen dalam campuran beton, tergantung dengan kemudahan dan kekuatan beton yang direncanakan (Sika, 2016).

2.1.3.4 Bahan Tambah Mineral

Bahan tambah mineral (*additive*) merupakan bahan yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton, lebih banyak digunakan untuk kinerja tekan beton. Beberapa bahan tambah mineral adalah pozzolan, *fly ash*, *slag*, dan *silica fume*. Beberapa keuntungan penggunaan bahan tambah mineral antara lain (Cain, 1994: 500-508) dalam Tri Mulyono (2004):

- (a) Memperbaiki kinerja *workability*.
- (b) Mengurangi panas hidrasi.
- (c) Mengurangi biaya pekerjaan beton.
- (d) Mempertinggi daya tahan terhadap serangan sulfat.
- (e) Mempertinggi daya tahan terhadap serangan reaksi alkali-silika.
- (f) Mempertinggi usia beton.
- (g) Mempertinggi kekuatan tekan beton.
- (h) Mempertinggi keawetan beton.
- (i) Mengurangi penyusutan.
- (j) Mengurangi porositas dan daya serap air dalam beton.

2.1.3.5 Abu Terbang

Berdasarkan SNI 03-6414-2002 mendefinisikan abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat pozolanik.

Dalam penggunaan pada campuran beton, abu terbang dapat sebagai *cementious* dan bahan pengisi (*filler*). Butiran abu terbang yang sangat halus bahkan lebih halus dari semen, dapat menambah internal kohesi dan mengurangi porositas

daerah transisi yang merupakan daerah terkecil dalam beton sehingga beton menjadi lebih kuat, sehingga cocok digunakan sebagai pengisi (*filler*) pada beton.

1) Jenis Abu Terbang

Berdasarkan SNI 03-6863-2002 spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton terdapat 3 jenis abu terbang yaitu:

- (a) Abu terbang jenis N, hasil kalsinasi dari pozzolan alam, misalnya tanah *diatomic, shale* (batu serpih), *tuff*, dan batu apung.
- (b) Abu terbang jenis F, dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit dan *bituminous* pada suhu $\pm 1560^{\circ}\text{C}$. Abu terbang jenis ini merupakan pozzolanik alam mengandung $< 10\%$ kapur (CaO). Disebut *low calcium fly ash* karena tidak bersifat *cementitious*, melainkan hanya bersifat pozzolan.
- (c) Abu terbang jenis C, hasil pembakaran dari *sub bituminous* atau *lignite* dengan kadar karbon sekitar 60%. Abu terbang jenis ini disebut *high calcium fly ash* dan memiliki sifat seperti semen dengan kadar kapur $> 10\%$. Kandungan CaO yang cukup tinggi membuat abu terbang jenis ini tidak hanya memiliki sifat pozzolan, melainkan juga bersifat *cementitious*.

2) Persyaratan Kimia dan Fisik Jenis Abu Terbang

Karakteristik kimia jenis abu terbang berdasarkan SNI 03-6863-2002 terdapat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Karakteristik Kimia Jenis Abu Terbang

No.	Komposisi Kimia	Jenis Abu Terbang (%)		
		Jenis C	Jenis F	Jenis N
1.	SiO ₂	50,90	51,90	58,20
2.	Al ₂ O ₃	15,70	25,80	18,40
3.	Fe ₂ O ₃	5,80	6,98	9,30
4.	CaO	24,30	8,70	3,30

5.	MgO	4,60	1,80	3,90
6.	SO ₂	3,30	0,60	1,10
7.	Na ₂ dan K ₂ O	1,30	0,60	1,10

Sumber: SNI 03-6863-2002

Sementara itu, ASTM C618-05 juga membagi 3 jenis abu terbang beserta persyaratannya, dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Persyaratan Jenis Abu Terbang

	Kelas N	Kelas F	Kelas C
Persyaratan Kimia			
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min	70,0	70,0	50,0
SO ₃ , maks	4,0	5,0	5,0
Kadar air, maks	3,0	3,0	3,0
<i>Loss on ignition</i> / hilang pijar, maks	10,0	6,0	6,0
Persyaratan Fisika			
Kehalusan: sisa diatas ayakan 4 µm (No. 325), maks	34	34	34
Indeks keaktifan pozzolan dengan semen portland			
- Pada umur 28 hari, min	75	75	75
- Pada umur 7 hari, min	75	75	75
Air, maks	115	105	105
Pengembangan dengan <i>autoclave</i> , maks	0,8	0,8	0,8
Kerapatan, maks	5	5	5
Persentase tertahan diatas ayakan 4 µm (No. 325), maks	5	5	5

Sumber: ASTM C 618-05

3) Karakteristik Abu Terbang

Sifat-sifat karakteristik dari abu terbang menurut I Wayan Suarnita (2011) meliputi warna, komposisi, sifat pozzolan, kepadatan dan hilang pijar.

(a) Warna

Abu terbang berwarna abu-abu, bervariasi dari abu-abu muda sampai abu-abu tua. Makin muda warnanya sifat pozzolannya makin baik.

(b) Komposisi

Unsur pokok abu terbang adalah silikat dioksida SiO_2 (30% – 60%), aluminium oksida Al_2O_3 (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 (SO_3).

(c) Sifat Pozzolan

Kehalusan butiran abu terbang mempunyai pengaruh pada sifat pozzolan, makin halus makin baik sifat pozzolannya.

(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 m^2/kg – 300 m^2/kg .

(e) Hilang pijar

Hilang pijar menentukan sifat pozzolan abu terbang. Apabila hilang pijar 10% – 20% berarti kadar oksida kurang, sehingga daya ikatnya berkurang.

2.1.3.6 Kelebihan Penggunaan Abu Terbang

Menurut Paul Nugraha & Antoni (2007) abu terbang dalam campuran beton memiliki berbagai keunggulan, yaitu:

- (a) Pada beton segar: Kehalusan dan bentuk partikel abu terbang yang bulat meningkatkan *workability*; mengurangi terjadinya *bleeding* dan segregasi.
- (b) Pada beton keras: Abu terbang memberikan kontribusi peningkatan kuat tekan beton pada umur setelah 52 hari; meningkatkan durabilitas beton; dan meningkatkan kepadatan beton; serta mengurangi terjadinya penyusutan beton.

2.1.4 Proporsi Campuran Beton

Parameter berikut harus dipilih terlebih dahulu: (1) kekuatan yang diperlukan, (2) minimal kandungan semen atau rasio faktor air semen maksimal, (3) ukuran nominal agregat maksimum, (4) kadar udara, dan (5) nilai *slump* yang diinginkan. Campuran percobaan kemudian dibuat dengan memvariasikan jumlah relatif agregat halus dan kasar serta bahan lainnya. Berdasarkan pertimbangan kemampuan kerja dan ekonomi, campuran proporsi yang tepat dipilih. Ketika kualitas campuran beton ditentukan oleh rasio bahan air-semen, prosedur percobaan campuran dasarnya terdiri dari menggabungkan pasta (air, bahan semen, dan, bahan tambah lainnya) dari proporsi yang benar dengan jumlah yang diperlukan dari agregat halus dan kasar untuk menghasilkan nilai *slump* yang diperlukan sesuai kemampuan kemudahan pengerjaan (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2003).

Sampel wakil bahan semen, air, agregat, dan pencampuran harus digunakan. Kuantitas per meter kubik dihitung. Untuk menyederhanakan perhitungan dan menghilangkan kesalahan yang disebabkan oleh variasi dalam kadar air agregat, agregat harus *prewetted* kemudian dikeringkan ke kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Kadar air agregat harus ditentukan dan *batch* bobot dikoreksi sesuai.

Volume absolut dari bahan granular (seperti semen dan agregat) adalah volume bahan padat dalam partikel, tidak termasuk volume ruang udara antara partikel. Volume absolut menggunakan nilai kepadatan relatif (berat jenis) untuk semua bahan dalam menghitung volume absolut masing-masing (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2003).

2.1.5 Kuat Tekan Beton

Sifat yang paling utama dari beton adalah kuat tekan. Kuat tekan beton adalah besarnya beban yang bekerja pada satuan luas beton, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tertentu oleh mesin tekan (Tjokrodimuljo, 2007).

Faktor-faktor terpenting yang mempengaruhi kekuatan beton adalah sebagai berikut (Winter, 2012):

- (a) Porositas beton: *void* dalam beton dapat diisi dengan udara atau air. Beton berpori akan lebih lemah karena porositas beton ditentukan oleh rasio air dan semen dalam campuran.
- (b) Rasio air semen: rasio air semen adalah rasio berat air terhadap berat semen yang digunakan dalam campuran beton. Rasio air semen yang rendah dapat menyebabkan kekuatan yang lebih tinggi dan daya tahan, tetapi dapat membuat campuran lebih sulit dikerjakan.

Untuk menghitung kuat tekan benda uji yaitu dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama waktu pengujian, dengan luas penampang melintang rata. Hasilnya dinyatakan dengan dibulatkan ke satu desimal dengan satuan 0,1 MPa (SNI 1974:2011).

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A}$$

keterangan: Kuat tekan beton dengan benda uji silinder, (MPa atau N/mm²);

P = gaya tekan aksial, dinyatakan dalam Newton (N);

A = luas penampang melintang benda uji, dinyatakan dalam mm².

2.2 Penelitian Relevan

Berikut ini beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi penelitian diantaranya:

- 1) **Menentukan Kuat Tekan Optimum Beton Dengan Perbandingan Komposisi Kerikil Asal Batang Kuantan dan Batu Pecah Asal Bangkinang** (Ardiansyah & Sefyet, 2015) penelitiannya menggunakan 5 variasi campuran yaitu 10% kerikil 90% batu pecah, 30% – 70%, 50% – 50%, 70% – 30%, dan 90% – 10%. Hasil kuat tekan pada umur 28 hari untuk setiap campuran 10% – 90% = 38,53 MPa, 30% – 70% = 38,28 MPa, 50% – 50% = 35,41 MPa, 70% – 30% = 35,07 MPa, dan 90% – 10% = 32,92 MPa. Kuat tekan beton cenderung bertambah seiring penambahan persentase batu pecah, hal tersebut karena batu pecah memiliki bentuk bersudut sehingga permukaan lebih besar dan berpengaruh terhadap mutu beton.
- 2) **Studi Eksperimen Kuat Tekan Beton Menggunakan Semen PPC Dengan Tambahan Sikament LN** (Arief, Mungok, & Samsurizal, 2014) penggunaan bahan tambah Sikament LN yang menggunakan agregat kasar kerikil yang dicampurkan kedalam campuran beton dengan variasi 0,7%, 1%, 1,3% kontrol *slump* 7 – 10 cm. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan kuat tekan pada umur 28 hari secara berurut mencapai 36,54 MPa, 39,02 Mpa, dan 46,22 MPa, sedangkan kuat tekan beton tanpa Sikament LN sebesar 26,55 MPa.
- 3) **Pengaruh Abu Terbang Sebagai *Filler* Untuk Kuat Tekan Beton** (Tilik, Marpaung, & Prabudi, 2014) dengan menambahkan abu terbang sebagai filler beton pada campuran beton menggunakan kerikil alami, pada kadar 10% memperoleh hasil kuat tekan 44,44 MPa, pada kadar 20% memperoleh kuat

tekan 36,05 MPa, dan pada kadar 30% hasil kuat tekannya 29,15 MPa, sedangkan untuk beton tanpa abu terbang 0% yaitu 43,82 MPa. Terjadi peningkatan nilai kuat tekan dari beton normal ke beton penambahan abu terbang 10%, kemudian mengalami penurunan di 20% dan 30%.

- 4) **Penambahan *Superplasticizer* Pada Campuran Beton yang Menggunakan *Fly Ash* Sebagai Bahan Tambah Beton Berdasarkan SNI 03-6468-2000** (Ratih Widyaningrum, 2013) menggunakan *superplasticizer* merek Rheobuild 1100 dengan variasi kadar 0,8%, 1%, 1,2%, dan 1,4%. Kadar *fly ash* pada setiap variasi sebanyak 25%. Hasil penelitian menunjukkan kuat tekan optimum pada kadar *superplasticizer* 1% yaitu 44,78 MPa. Untuk kadar *superplasticizer* 0% = 41,24 MPa, 0,8% = 42,78 MPa, 1,2% = 42,57 MPa, 1,4% = 40,82 MPa, pada kadar 1,4% sudah menimbulkan segregasi dan *bleeding* pada campuran beton.

2.3 Kerangka Berpikir

Beton telah dikenal sebagai bahan konstruksi dengan kekuatan tekan yang memadai, mudah dibentuk, kaku, dan ekonomis. Dengan bahan-bahan penyusunnya yang mudah didapat, baik alami maupun buatan. Masing-masing bahan penyusun beton akan memberikan efek pada beton tersebut. Dengan melihat komposisi terbesar dari volume beton yaitu agregat, maka peranan agregat dalam beton juga penting. Pemilihan agregat kasar akan berpengaruh terhadap kelecakan, lekatan, bahkan mutu. Berdasarkan landasan teori, agregat kasar dipecahkan lebih unggul dibandingkan agregat kasar tak dipecah yaitu kerikil, karena memiliki bentuk dan tekstur permukaan yang cocok dalam campuran beton sehingga akan menimbulkan efek yang baik terhadap betonnya. Banyak inovasi yang telah dilakukan untuk meningkatkan kekuatan tekan beton dan memiliki sifat yang

diinginkan para peneliti. Solusi untuk mewujudkan keinginan tersebut yaitu dengan pemberian bahan tambah kimia ataupun mineral kedalam campuran beton.

Untuk dapat meningkatkan kuat tekan beton, beton haruslah padat. Untuk dapat menjadikannya lebih padat maka harus meminimalisir porositas. Semakin tinggi porositas kuat tekan beton menjadi rendah. Untuk meminimalisir porositas salah satunya dapat memberikan bahan tambah yang bersifat pozzolan dan memiliki butiran yang halus, yaitu bahan tambah mineral abu terbang (*fly ash*). Butiran material abu terbang yang halus akan berguna sebagai pengisi (*filler*) seperti agregat halus dalam beton sehingga akan membuat beton lebih padat. Dalam penelitian relevan terbukti bahwa penambahan abu terbang dengan takaran tertentu dapat meningkatkan kuat tekan beton. Keadaan campuran beton yang padat tersebut, baik untuk kekuatan tekannya, namun kurang baik untuk kemudahan pekerjaan beton. Kesulitan dalam memadatkan beton akan menjadi kendala karena akan membuat beton mudah keropos jika faktor air semen yang digunakan terlalu kecil. Umumnya nilai faktor air semen minimum sekitar 0,4 dan maksimum 0,65. Selain itu, untuk menjadikan campuran beton lebih mudah dikerjakan dapat menggunakan *superplasticizer* yaitu bahan tambah kimia pengurang air yang besar berfungsi meningkatkan nilai *slump*, *workability*, dan kekuatan beton, tergantung takaran yang digunakan. Sesuai prinsip kerja dari *superplasticizer* yaitu akan menghasilkan gaya tolak menolak antar partikel semen agar tidak terjadi penggumpalan partikel semen yang dapat menyebabkan terjadinya rongga udara dalam beton yang dapat mengurangi kekuatan beton.

Berdasarkan landasan teori dan penelitian sebelumnya, timbul keingintahuan membuat beton menggunakan bahan penyusun agregat kasar tak

dipecah (kerikil) dengan bahan tambah kimia *superplasticizer* dan bahan tambah mineral abu terbang. Mengingat banyaknya produk *superplasticizer*, maka penelitian ini menggunakan *superplasticizer* merek Sikament LN yang memiliki fungsi sama seperti *superplasticizer* pada umumnya. Penelitian ini akan melakukan beberapa variasi terhadap penggunaan *superplasticizer* Sikament LN yaitu 0% sebagai kontrol, 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% yang ditambahkan kedalam campuran beton dengan tambahan 15% abu terbang sebagai *filler* beton pada setiap benda uji. Guna mengetahui komposisi terbaik yang menghasilkan kuat tekan optimum beton campuran abu terbang menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan penambahan variasi *superplasticizer* Sikament LN, dimana pada penggunaan *superplasticizer* disesuaikan ASTM C494 Tipe F.

2.4 Hipotesa Penelitian

Berdasarkan landasan teori dan kerangka berpikir diatas, maka hipotesis penelitian ini diduga akan terjadi perubahan nilai kuat tekan beton pada penambahan *superplasticizer* Sikament LN 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% pada campuran beton yang menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan bahan tambah 15% abu terbang sebagai *filler*, serta dapat memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu 35 MPa.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi penggunaan kadar terbaik *superplasticizer* Sikament LN yang menghasilkan kuat tekan optimum pada campuran beton menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan tambahan abu terbang sebagai *filler* beton.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta terletak di Jalan Rawamangun Muka Jakarta Timur. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Juni – September 2017.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode eksperimen. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Campuran beton menggunakan bahan penyusun agregat kasar tak dipecah (kerikil) yang ditambahkan 15% abu terbang sebagai *filler* beton dengan penambahan *superplasticizer* Sikament LN dengan variasi kadar 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% dari berat semen.

3.4 Teknik Pengambilan Sampel

Sesuai dengan rencana penelitian teknik pengambilan sampel mencakup populasi dan sampel yang dijabarkan sebagai berikut:

3.4.1 Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah benda uji silinder berukuran diameter

15 cm dan tinggi 30 cm yang menggunakan penambahan *superplasticizer* Sikament LN dengan variasi kadar 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% dari berat semen, pada campuran beton beragregat kasar tak dipecah (kerikil) ditambah 15% abu terbang sebagai *filler* beton.

3.4.2 Sampel

Sampel yang akan diuji dalam penelitian berjumlah 45 benda uji, yang merupakan keseluruhan dalam populasi yang akan dilakukan uji kuat tekan. Jumlah sampel yang digunakan mengacu pada SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan SNI 2458:2008 tentang Tata Cara Pengambilan Contoh Beton Segar.

Tabel 3.1 Rencana Uji Laboratorium

Pengujian	Ukuran Contoh Benda Uji	Persentase <i>Superplasticizer</i>	Umur Pengujian Beton (hari)		
			7	14	28
Kuat Tekan Beton	Silinder 15 cm × 30 cm	0%	3	3	3
		0,5%	3	3	3
		1,0%	3	3	3
		1,5%	3	3	3
		2,0%	3	3	3
Total Benda Uji			15	15	15
Jumlah			45		

3.5 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya persiapan, pemeriksaan material bahan penyusun beton, perencanaan proporsi campuran, pengadukan, pembuatan benda uji, perawatan benda uji, dan pengujian kuat tekan benda uji.

3.5.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan mencakup segala hal yang mendukung terlaksananya proses penelitian hingga selesai. Dimulai dari perizinan peminjaman Laboratorium Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, persiapan dan pelaksanaan pengadaan bahan material penyusun beton seperti pasir, kerikil, semen, serta bahan tambah abu terbang dan *superplasticizer* Sikament LN, dan pengadaan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian.

3.5.2 Tahap Pemeriksaan Bahan

Bahan-bahan yang sudah tersedia harus dilakukan pemeriksaan sebelum digunakan dalam penelitian. Adapun pemeriksaan bahan yang dilakukan dapat diuraikan sebagai berikut:

3.5.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat alami yaitu agregat kasar tak dipecah berupa kerikil yang didapat dari toko material terdekat dengan Universitas Negeri Jakarta berasal dari Kota Tangerang. Adapun pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat kasar yaitu:

1) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Tujuan pengujian mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan (absorpsi) dari agregat kasar.

1.1) Pengertian

Yang dimaksud dengan:

- (a) Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.
- (b) Berat jenis kering permukaan jenuh ialah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.
- (c) Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.
- (d) Penyerapan ialah perbandingan berat air yang terdapat pada pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

1.2) Cara Pengujian atau Prosedur

Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- (a) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan;
- (b) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, 24 jam;
- (c) Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1 – 3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk);
- (d) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam;
- (e) Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang;
- (f) Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj);
- (g) Letakkan benda uji dalam keranjang, goncangkan batu untuk mengeluarkan udara dan tentukan beratnya dalam air (Ba).

1.3) Perhitungan

$$(a) \text{ Berat jenis curah (bulk specific gravity)} = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

$$(b) \text{ Berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry)} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

$$(c) \text{ Berat jenis semu (apparent specific gravity)} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

$$(d) \text{ Penyerapan} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Keterangan: B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

2) Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Tujuan pengujian memperoleh nilai modulus halus butir (MHB). Alat yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya:

- (a) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2%
- (b) Perangkat saringan agregat kasar dengan ukuran lubang 37,5 mm, 25 mm, 19,1 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, No.4 (4,75 mm), No.8 (2,38 mm), No.16 (1,19 mm), No.30 (0,59 mm), No.50 (0,297 mm), No.100 (0,149 mm), No.200 (0,075 mm)
- (c) Oven
- (d) Alat pemisah contoh (*sample splitter*)
- (e) Mesin penggetar saringan
- (f) Talam

3) Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Tujuan pengujian untuk memperoleh angka persentase dari kadar air yang terkandung dalam agregat kasar. Kadar air agregat adalah besarnya perbandingan antara berat air yang terkandung dalam agregat dengan berat

agregat dalam keadaan kering, dinyatakan dalam persen. Kadar air dihitung

dengan rumus: $\frac{W3 - W5}{W5} \times 100\%$

Keterangan: W3 = Berat contoh semula (gram)

W5 = Berat contoh kering (gram)

3.5.2.2 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian berupa pasir beton yang didapat dari toko material terdekat dengan Universitas Negeri Jakarta berasal dari Kota Cirebon. Adapun pemeriksaan yang dilakukan terhadap agregat halus yaitu:

1) Pengujian Kadar Lumpur pada Agregat Halus

Tujuan pengujian untuk menentukan persentase kadar lumpur dalam agregat halus. Kandungan lumpur harus lebih kecil dari 5%, merupakan ketentuan dalam peraturan bagi penggunaan agregat halus untuk pembuatan beton. Alat yang digunakan dalam pengujian yaitu gelas ukur kapasitas 1000 ml, plastik, dan karet penutup. Kadar lumpur pasir dihitung dengan rumus:

$$\frac{V1}{V1 + V2} \times 100\%$$

Keterangan: V1 = Volume lumpur dalam gelas ukur

V2 = Volume pasir dalam gelas ukur

2) Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus

Tujuan pengujian untuk memperoleh nilai modulus halus butir (MHB).

Alat yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya:

- (a) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2%
- (b) Perangkat saringan agregat halus dengan ukuran lubang 9,5 mm, No.4 (4,75 mm), No.8 (2,38 mm), No.16 (1,19 mm), No.30 (0,59 mm), No.50 (0,297 mm), No.100 (0,149 mm), No.200 (0,075 mm)
- (c) Oven

- (d) Alat pemisah contoh (*sample splitter*)
- (e) Mesin penggetar saringan
- (f) Talam

3) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Tujuan pengujian mendapatkan angka untuk berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan penyerapan (absorpsi) dari agregat halus.

3.1) Pengertian

Yang dimaksud dengan:

- (a) Berat jenis curah ialah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.
- (b) Berat jenis kering permukaan jenuh ialah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C.
- (c) Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dengan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C.
- (e) Penyerapan ialah perbandingan berat air yang terdapat pada pori terhadap berat agregat kering, dinyatakan dalam persen.

3.2) Cara Pengujian atau Prosedur

Urutan pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

- (a) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam;

- (b) Dinginkan pada suhu ruang selama 1 – 3 jam, kemudian rendam dalam air selama 24 ± 4 jam;
- (c) Buang air perendam dengan hati-hati, tebarkan agregat halus diatas talam, keringkan dengan cara membalik-balikan benda uji; lakukan pengeringan hingga keadaan kering permukaan jenuh;
- (d) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung; keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak;
- (e) Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer; masukkan air suling hingga 90% isi piknometer, putar piknometer sambil diguncangkan samai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya;
- (f) Rendam piknometer dalam wadah berisi air selama 24 jam;
- (g) Tambahkan air dalam wadah hingga mencapai tanda batas piknometer;
- (h) Timbang piknometer berisi air dan benda uji (Bt);
- (i) Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam;
- (j) Dinginkan benda uji dan timbang (Bk);
- (k) Tentukan berat piknometer berisi air penuh (B).

3.3) Perhitungan

(a) Berat jenis curah = $\frac{Bk}{(B + 500 - Bt)}$

$$(e) \text{ Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500}{(B + 500 - Bt)}$$

$$(f) \text{ Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$$

$$(g) \text{ Penyerapan} = \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Keterangan: Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer + air (gram)

Bt = berat piknometer + benda uji + air (gram)

500 = berat contoh kering pasir (oven)

(d) Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Tujuan pengujian memperoleh angka persentase dari kadar air yang terkandung dalam agregat halus. Alat yang digunakan dalam pengujian yaitu timbangan dengan ketelitian 0,1% dari berat contoh, oven, dan talam logam.

Perhitungan kadar air dinyatakan dengan rumus $\frac{W3 - W5}{W5} \times 100\%$

Keterangan: W3 = Berat contoh semula (gram)

W5 = Berat contoh kering (gram)

(e) Pengujian Kadar Zat Organik Agregat Halus

Tujuan pengujian memperoleh angka dengan standar warna larutan yang telah ditentukan terhadap larutan benda uji pasir. Alat yang digunakan dalam pengujian ini yaitu timbangan dengan ketelitian 0,01% dari berat contoh, gelas ukur kapasitas 200 ml, dan standar warna. Bahan yang digunakan adalah pasir, larutan NaOH sebanyak 3%, dan air aquades.

3.5.2.3 Semen Portland

Semen yang digunakan dalam penelitian adalah Semen Portland Tipe I (*Portland Cement Composite*) yang didapat dari toko material terdekat dengan Universitas Negeri Jakarta. Adapun pemeriksaan yang terhadap semen diantaranya:

1) Pengujian Berat Jenis Semen

Tujuan pengujian menentukan berat jenis semen. Berat jenis semen adalah perbandingan antara berat volume kering semen pada suhu kamar dengan berat volume air suling pada suhu 25°C yang volumenya sama dengan volume semen. Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya:

- (a) Timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram
- (b) Botol Le Chatelier
- (c) Bak air
- (d) Termometer 2 buah
- (e) Spatula
- (f) Corong
- (g) Semen 64 gram
- (h) Kerosin atau minyak tanah
- (i) Air bersih untuk merendam botol Le Chatelier
- (j) Kertas tisu

2) Pengujian Konsistensi Normal Semen

Tujuan pengujian menentukan waktu pengikatan permulaan semen hidrolis (dalam keadaan konsistensi normal). Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian ini diantaranya:

- (a) Mesin aduk (*mixer*) dengan daun-daun pengaduk dari baja tahan karat serta mangkuk yang dapat dilepas
- (b) Alat vicat beserta cetakan benda uji yang berbentuk kerucut terpancung
- (c) Timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram

- (d) Spatula karet
- (e) Gelas ukur dengan kapasitas 200 ml, ketelitian 1 mm
- (f) *Stop watch*
- (g) Sarung tangan karet
- (h) Semen 300 gram
- (i) Air suling

3.5.2.4 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PDAM dan telah memenuhi persyaratan sebagai bahan bangunan yang tercantum dalam SK SNI S-04-1989-F tentang Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A.

3.5.2.5 Abu Terbang

Abu terbang yang digunakan didapat dari *batching plant* Adhimix Precast, berasal dari PLTU Suralaya, Cilegon, Banten. Adapun pemeriksaan yang dilakukan terhadap abu terbang yaitu:

1) Pengujian Berat Jenis Abu Terbang

Tujuan pengujian mendapatkan berat jenis abu terbang. Peralatan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram, botol Le Chatelier, bak air, 2 buah thermometer, spatula, corong, kerosin/ minyak tanah, dan tisu.

Dihitung dengan rumus: $Berat\ Jenis = \frac{berat\ abu\ terbang}{V_2 - V_1} \times d$

Keterangan:

V1 = Pembacaan pertama pada skala botol

V2 = Pembacaan kedua pada skala botol

V2 – V1 = Isi cairan yang dipindahkan oleh abu terbang dengan suhu berat tertentu

d = Berat isi air pada suhu 25°C

2) Pengujian Kandungan Senyawa Kimia

Tujuan pengujian mengetahui kandungan senyawa kimia dari abu terbang. Pengujian dilakukan di Laboratorium *Fire, Material & Safety Engineering* Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

3.5.2.6 Superplasticizer Sikament LN

Superplasticizer Sikament LN yang digunakan berasal dari PT. Sika Indonesia. Sikament LN merupakan buatan pabrik yang telah dibuat memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai penambahan campuran beton, sehingga tidak perlu dilakukan pemeriksaan.

3.5.3 Tahap Perencanaan Proporsi Campuran

Perencanaan proporsi campuran untuk beton yang digunakan mengacu pada buku *Design of Concrete Mixes* oleh N. Krishna Raju (1983) yang berpatokan pada ASTM dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Mencari faktor air semen (FAS)
- 2) Mencari persentase agregat halus: $W = \frac{K - C}{C - P} \times 100\%$
- 3) Mencari persentase agregat kasar: $100\% - W$
- 4) Proporsi berat bahan:

$$\begin{array}{l} \text{Semen} \quad : \quad \text{Agregat Halus } (N_f) \quad : \quad \text{Agregat Kasar } (N_C) \\ 1 \quad : \quad \frac{A/C \times W}{100} \quad : \quad \frac{A/C \times (100 - W)}{100} \end{array}$$

- 5) Perhitungan kebutuhan bahan dasar (mencari nilai C)

$$\frac{C}{\rho_C \cdot \rho_W} + \frac{N_f \cdot C}{\rho_{fa} \cdot \rho_W} + \frac{N_C \cdot C}{\rho_{ca} \cdot \rho_W} + \frac{W \cdot C}{\rho_W} + 0,01 \cdot v = 1 \text{ m}^3$$

- 6) Komposisi beton untuk 1 m³

$$\text{Semen} = C$$

Air = faktor air semen $\times C$

Agregat halus = $N_f \times C$

Agregat kasar = $N_c \times C$

Keterangan: C = berat kebutuhan semen

ρ_c = BJ semen

ρ_{fa} = BJ agregat halus

ρ_{ca} = BJ agregat kasar

ρ_c = BJ air

3.5.4 Tahap Pengadukan

Berdasarkan SNI 03-3976-1996, waktu pengadukan minimal untuk campuran beton yang volumenya lebih kecil atau sama dengan 1 m³ adalah 1,5 menit. Jika ada penambahan setiap 1 m³, maka akan ditambah durasi pengadukan 0,5 menit dan ditambah lagi 1,5 menit setelah semua bahan tercampur.

3.5.5 Tahap Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dalam penelitian yaitu uji *slump* yang dilakukan sesuai SNI dan sesaat setelah pengadukan.

3.5.5.1 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* yang dilakukan mengacu pada SNI 1972:2008 tentang Cara Uji Slump Beton. Campuran beton segar dimasukan ke dalam cetakan berbentuk kerucut terpancung dan dipadatkan dengan batang penusuk. Cetakan kerucut diangkat dan beton dibiarkan sampai terjadi penurunan pada permukaan bagian atas beton. Jarak antara posisi permukaan semula dan posisi setelah penurunan pada pusat permukaan atas beton diukur dan dicatat sebagai nilai *slump* beton.

3.5.6 Tahap Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan sesuai SNI 2493:2011 tentang Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Tahap pembuatan benda uji adalah mengisi cetakan silinder dengan adukan beton dalam 3 lapis. Tiap lapis dilakukan pemadatan sebanyak 25 kali tusukan secara merata. Ratakan permukaan adukan beton dan letakan benda uji ditempat yang bebas getaran selama 24 jam.

3.5.7 Tahap Perawatan Benda Uji

Benda uji yang telah didiamkan selama 24 jam pada tempat bebas getaran, dikeluarkan dari cetakan. Benda uji dilakukan perawatan (*curing*) dengan cara merendam ke bak berisi air.

3.5.8 Pengujian Beton Keras

Pengujian beton keras dilakukan setelah beton mencapai umur rencana sesuai rencana pengujian.

3.5.8.1 Pengujian Berat Isi Beton Keras

Beton diangkat setelah dilakukan perawatan (*curing*) selama 7, 14, dan 28 hari. Terlebih dahulu benda uji dikeringkan dan dibersihkan jika ada kotoran yang menempel, kemudian ditimbang. Berat isi dapat dihitung dengan rumus: $D = \frac{w}{v}$

Keterangan: D = berat isi beton (kg/m^3)

W = berat benda uji (kg)

V = volume takaran (m^3)

3.5.8.2 Tahap Pengujian Kuat Tekan Benda Uji

Tujuan pengujian untuk menentukan kekuatan tekan beton. Pengujian kuat tekan didasarkan pada SNI 1974:2011 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan

Benda Uji Silinder. Benda uji yang akan dilakukan uji tekan pada umur 7, 14, 28 hari, dilapisi menggunakan belerang (*capping*) terlebih dahulu untuk meratakan permukaan atas benda uji.

3.6 Teknik Pengumpulan Data

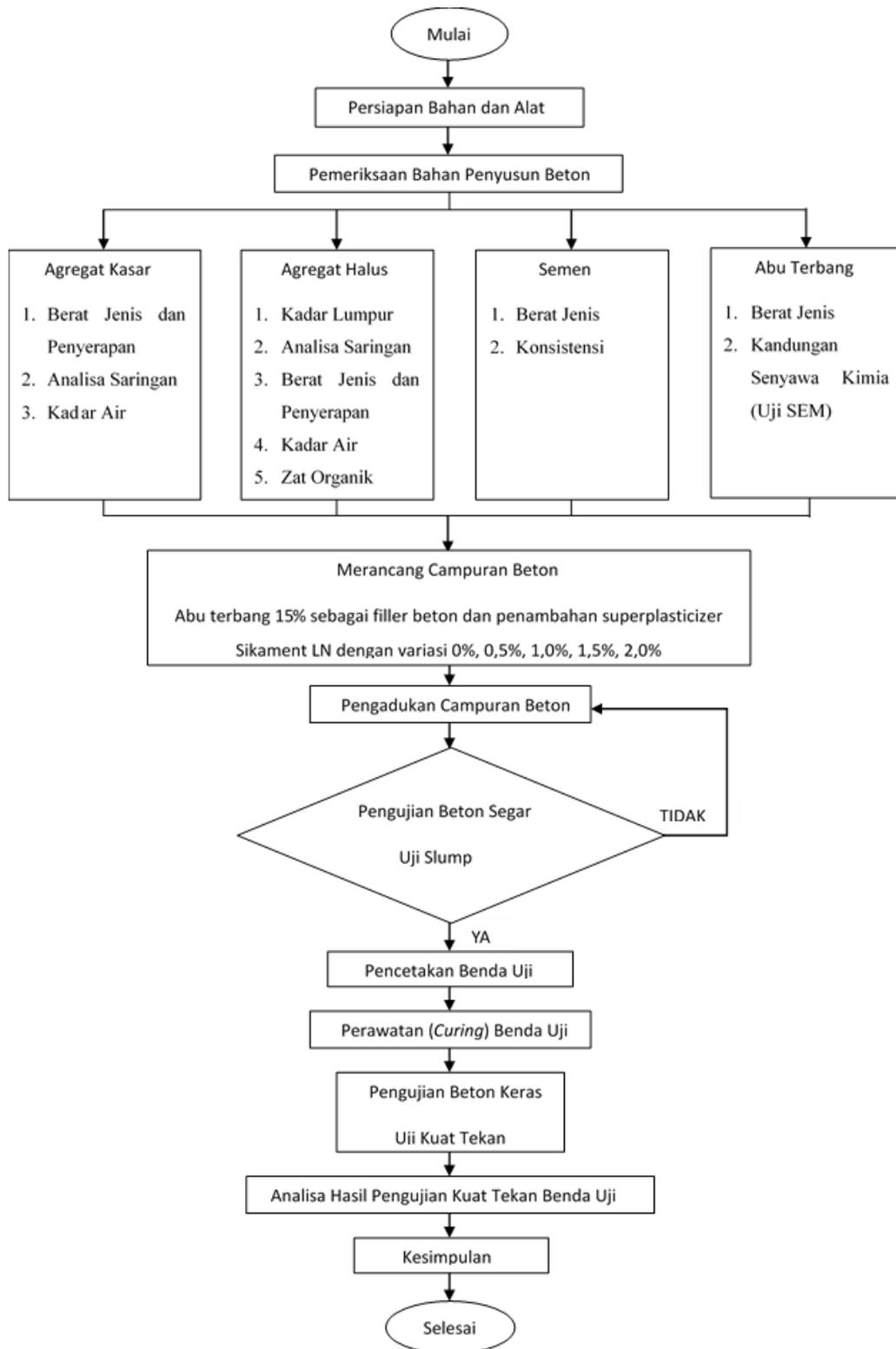
Teknik pengumpulan data dalam penelitian adalah hasil pengujian dengan melakukan pemeriksaan kuat tekan menggunakan mesin uji tekan beton. Instrumen penelitian yang dilakukan adalah uji kuat tekan pada beton.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dihasilkan merupakan hasil kuat tekan beton. Hasil pengolahan data akan dibuat dalam bentuk grafik dan tabel dengan bantuan program *Microsoft Excel* yang kemudian disimpulkan. Tahap pembuatan hingga pengujian kuat tekan benda uji akan disajikan dalam *jobsheet*.

3.8 Diagram Air Penelitian

Diagram alir penelitian mengikuti Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian didapat berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, yaitu membuat campuran beton normal menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan tambahan abu terbang sebagai filler beton yaitu bahan tambah sebagian pasir sebanyak 15% dan *superplasticizer* Sikament LN dengan persentase 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0%. Hasil penelitian mencakup hasil pengujian bahan-bahan penyusun campuran beton, hasil perhitungan proporsi campuran beton, hasil pengujian *slump* beton segar, hasil pengujian berat isi beton keras, dan hasil pengujian kuat tekan beton.

4.1.1 Pengujian Bahan Penyusun Campuran Beton

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan penyusun beton, seperti semen, agregat kasar, agregat halus, dan abu terbang.

4.1.1.1 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian adalah semen Tipe I yang didapat dari toko material terdekat dengan Universitas Negeri Jakarta. Hasil uji pendahuluan yang dilakukan terhadap semen dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Pendahuluan Semen

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1.	Berat Jenis Semen	3,05 gr/ml
2.	Konsistensi Normal Semen	28

4.1.1.2 Kerikil

Kerikil yang digunakan dalam penelitian didapat dari toko material di daerah Rawamangun, Jakarta Timur yang berasal dari Kota Tangerang. Kerikil yang akan dilakukan pemeriksaan dan digunakan untuk bahan penyusun beton terlebih dahulu dicuci dengan air bersih dan dikeringkan hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Hasil uji pendahuluan kerikil dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Pendahuluan Kerikil

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1.	Berat Jenis dan Penyerapan	
	a. BJ Semu	2,53 gr/cm ³
	b. BJ Kering	2,43 gr/cm ³
	c. BJ SSD	2,47 gr/cm ³
	d. Penyerapan Air	1,48 %
2.	Modulus Halus Butir	7,58
3.	Kadar Air	3,87 %

4.1.1.3 Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian didapat dari toko material di daerah Rawamangun, Jakarta Timur yang berasal dari Kota Cirebon. Pasir yang akan dilakukan pemeriksaan dan digunakan untuk bahan penyusun beton terlebih dahulu dicuci dengan air bersih dan dikeringkan hingga mencapai kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Hasil uji pendahuluan pasir dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Pendahuluan Pasir

No.	Jenis Pengujian	Hasil
1.	Berat Jenis dan Penyerapan	
	e. BJ Semu	3,14 gr/cm ³
	f. BJ Kering	2,67 gr/cm ³
	g. BJ SSD	2,85 gr/cm ³
	h. Penyerapan Air	5,39 %

2.	Modulus Halus Butir	3,78
3.	Kadar Air	1,82 %
4.	Kadar Lumpur	3,9 %
5.	Zat Organik	No. 1

4.1.1.4 Abu Terbang

Abu terbang yang digunakan dalam penelitian didapat dari *batching plant* PT. Adhimix Precast daerah Tanjung Duren, Jakarta Barat yang berasal dari PLTU Suralaya, Banten, Jawa Barat. Pengujian yang dilakukan terhadap abu terbang diantaranya berat jenis dan kandungan senyawa kimia. Hasil pemeriksaan laboratorium terhadap berat jenis abu terbang sebesar $2,3 \text{ gr/cm}^3$. Hasil pengujian kandungan senyawa kimia dan hasil perhitungan oksidasi pada senyawa tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Hasil Uji Kandungan Senyawa Abu Terbang

No.	Unsur Kimia	Massa Atom Hasil (%)
1.	Oksigen (O)	48,03
2.	Karbon(C)	32,86
3.	Alumunium (Al)	5,05
4.	Silika (Si)	8,83
5.	Kalsium (Ca)	1,62
6.	Besi (Fe)	3,61

Tabel 4.5 Hasil Oksidasi Senyawa Abu Terbang

No.	Komposisi Kimia	Kandungan (%)
1.	CO ₂	50,11
2.	Al ₂ O ₃	11,90
3.	SiO ₂	18,36
4.	CaO	6,29
5.	Fe ₂ O ₃	13,34

Perhitungan oksidasi abu terbang dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu massa atom relatif unsur kimia dan massa atom hasil uji SEM. Untuk perhitungan oksidasi dapat dicontohkan seperti berikut: (detail perhitungan oksidasi abu terbang dapat dilihat pada Lampiran 15)

$$(a) \text{ Oksida CO}_2 = (1 \times 12) + (2 \times 16)$$

$$= 44$$

$$\text{O}_2 = \frac{12}{32} \times 32,86 \% = 12,32 \%$$

$$\text{CO}_2 = 32,86 \% + 12,32 \% = 45,18 \%$$

Kemudian dibandingkan terhadap jumlah keseluruhan massa oksida dan dinyatakan dalam persen, sehingga hasil oksidasi CO₂ sebesar 50,11%.

4.1.2 Perhitungan Proporsi Campuran Beton

Perhitungan proporsi campuran beton berdasarkan metode absolut 1 m³. Kuat tekan beton rencana 35 MPa dengan slump 12 ± 2 cm dan faktor air semen (FAS) 0,40. Perhitungan proporsi campuran beton menggunakan data-data hasil pengujian pendahuluan yang telah dilakukan terhadap agregat kasar, agregat halus, semen, dan abu terbang, sehingga didapatkan proporsi setiap bahan penyusun beton (perhitungan lengkap pada Lampiran 13), dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Proporsi Bahan Campuran Beton per-meter kubik (m³)

Bahan	Berat (kg)
Semen	458
Agregat Kasar	1044
Agregat Halus	592
Air	183
Abu Terbang	104
Jumlah	2383,3

Setelah direncanakan sesuai dengan perhitungan proporsi bahan menggunakan metode absolut, selanjutnya akan diperhitungkan untuk kebutuhan 1 benda uji. Benda uji sebanyak 45 buah, menggunakan 4 variasi penambahan superplasticizer Sikament LN dengan persentase 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0%. Proporsi masing-masing bahan penyusun beton untuk 1 benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Proporsi Bahan Campuran Beton untuk 1 Benda Uji (kg)

Proporsi bahan per 0,0053 m ³	Campuran ke-				
	1	2	3	4	5
Semen	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Agregat Halus	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Agregat Kasar	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Air	1	1	1	1	1
Abu Terbang	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
<i>Superplasticizer (SP)</i>	0	0,01	0,02	0,04	0,05
Jumlah	12,60	12,61	12,62	12,63	12,64

4.1.3 Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* dilakukan pada beton segar. Uji *slump* dilakukan segera setelah pencampuran bahan-bahan penyusun beton, sebelum pencetakan benda uji. *Slump* yang direncanakan adalah 12 ± 2 . Hasil pengujian *slump* pada beton segar sesuai dengan perencanaan, dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Uji *Slump* Beton Segar

Campuran	Benda Uji	Nilai <i>Slump</i> (cm)
1	Beton 0 % <i>superplasticizer</i>	10,9
2	Beton 0,5 % <i>superplasticizer</i>	11,5
3	Beton 1,0 % <i>superplasticizer</i>	12,0
4	Beton 1,5 % <i>superplasticizer</i>	13,2
5	Beton 2,0 % <i>superplasticizer</i>	13,9

4.1.4 Berat Isi Beton Keras

Penimbangan berat isi beton dilakukan setelah beton mengeras dan melalui tahap perawatan (*curing*), kemudian diangkat dan dibersihkan dari kotoran serta dikeringkan. Berikut adalah hasil berat isi beton untuk volume berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Uji Berat Isi Beton Keras

Sampel	Hari	Campuran				
		Beton 0 % SP	Beton 0,5 % SP	Beton 1,0 % SP	Beton 1,5 % SP	Beton 2,0 % SP
		Berat (kg/m ³)				
1	7	2217,9	2168,3	2202,8	2230,2	2232,1
2		2151,9	2187,3	2203,7	2179,2	2232,1
3		2146,0	2129,8	2220,2	2224,5	2267,9
Rata-rata		2171,9	2161,9	2208,9	2211,3	2244,0
1	14	2193,2	2282,1	2243,4	2251,9	2221,1
2		2202,6	2235,8	2221,3	2211,3	2205,7
3		2200	2417,5	2161,3	2188,7	2194,3
Rata-rata		2198,6	2311,8	2208,7	2217,3	2207,0
1	28	2154,7	2198,1	2219,2	2206,6	2226,4
2		2180,8	2222,1	2172,6	2208,5	2264,1
3		2202,3	2199,6	2176,4	2226,4	2217,9
Rata-rata		2179,3	2206,6	2189,4	2213,8	2236,1

4.1.5 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan pada beton keras dapat dilakukan setelah beton dikaping menggunakan belerang yang dilelehkan. Nilai kuat tekan yang didapat merupakan hasil pembagian dari beban maksimum yang diterima oleh benda uji dengan luas penampang benda uji. Pengujian kuat tekan beton yang dilakukan pada umur 28 hari dengan melihat perkembangan pada umur 7 dan 14 hari. Berikut adalah hasil kuat tekan beton normal (0% *superplasticizer*) dan dengan penambahan *superplasticizer*, dapat dilihat pada Tabel 4.10 sampai Tabel 4.12.

Tabel 4.10 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Campuran	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1 (Beton Normal, 0 % SP)	1A7	22,4	19,5
	2A7	15,3	
	3A7	20,9	
2 (Beton 0,5 % SP)	1B7	23,8	22,4
	2B7	24,7	
	3B7	18,7	
3 (Beton 1,0 % SP)	1C7	23,5	24,3
	2C7	26,2	
	3C7	23,2	

4 (Beton 1,5 % SP)	1D7	22,4	25,0
	2D7	26,6	
	3D7	26,2	
5 (Beton 2,0 % SP)	1E7	23,5	25,3
	2E7	25,5	
	3E7	26,8	

Tabel 4.11 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Campuran	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1 (Beton Normal, 0 % SP)	1A14	25,5	27,4
	2A14	28,3	
	3A14	28,3	
2 (Beton 0,5 % SP)	1B14	27,9	30,1
	2B14	34,0	
	3B14	28,3	
3 (Beton 1,0 % SP)	1C14	34,0	32,6
	2C14	30,0	
	3C14	34,0	
4 (Beton 1,5 % SP)	1D14	28,3	31,0
	2D14	32,8	
	3D14	32,0	
5 (Beton 2,0 % SP)	1E14	32,8	30,9
	2E14	28,6	
	3E14	31,1	

Tabel 4.12 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

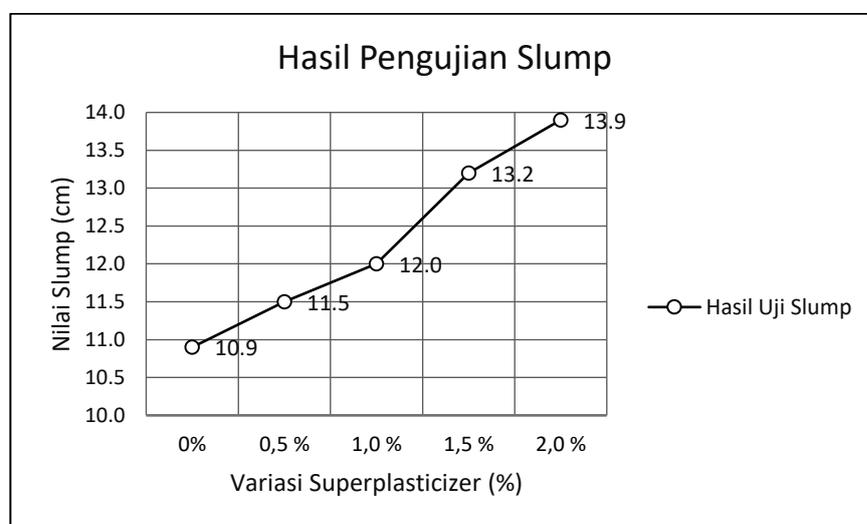
Campuran	Kode Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)
1 (Beton Normal, 0 % SP)	1A28	34,8	36,5
	2A28	38,5	
	3A28	36,2	
2 (Beton 0,5 % SP)	1B28	39,6	40,0
	2B28	39,6	
	3B28	40,8	
3 (Beton 1,0 % SP)	1C28	42,5	42,9
	2C28	42,5	
	3C28	43,9	
4 (Beton 1,5 % SP)	1D28	38,5	39,9
	2D28	41,6	
	3D28	39,6	
5 (Beton 2,0 % SP)	1E28	38,6	38,0
	2E28	39,1	
	3E28	36,2	

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Pembahasan hasil penelitian berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan melalui eksperimen yaitu campuran beton dengan menggunakan variasi penambahan *superplasticizer* Sikament LN sebesar 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2,0% dari berat semen dengan kuat tekan rencana 35 MPa dan *slump* 12 ± 2 cm.

4.2.1 Analisa Hasil Pengujian *Slump*

Hasil pengujian *slump* pada beton segar tanpa penambahan *superplasticizer* Sikament LN dan dengan variasi penambahan *superplasticizer* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian *Slump*

Berdasarkan Gambar 4.1, didapatkan nilai *slump* pada beton tanpa penambahan *superplasticizer* Sikament LN dan beton dengan penambahan variasi *superplasticizer* sebesar 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% secara berturut yaitu 10,9 cm, 11,5 cm, 12,0 cm, 13,2 cm, dan 13,9 cm. Hasil pengujian *slump* dikatakan sesuai rencana yaitu 12 ± 2 cm. Nilai pengujian *slump* menunjukkan bahwa semakin besar penambahan variasi *superplasticizer* pada campuran beton akan membuat campuran beton menjadi encer dan mengakibatkan nilai *slump* meningkat.

Tentunya dengan memperhatikan penggunaan dosis *superplasticizer* yang direkomendasikan oleh produsen, untuk meminimalisir ketidaksesuaian dengan kegunaan.

4.2.2 Analisa Berat Isi Beton Keras

Hasil berat isi beton keras dapat dilihat pada Tabel 4.13.

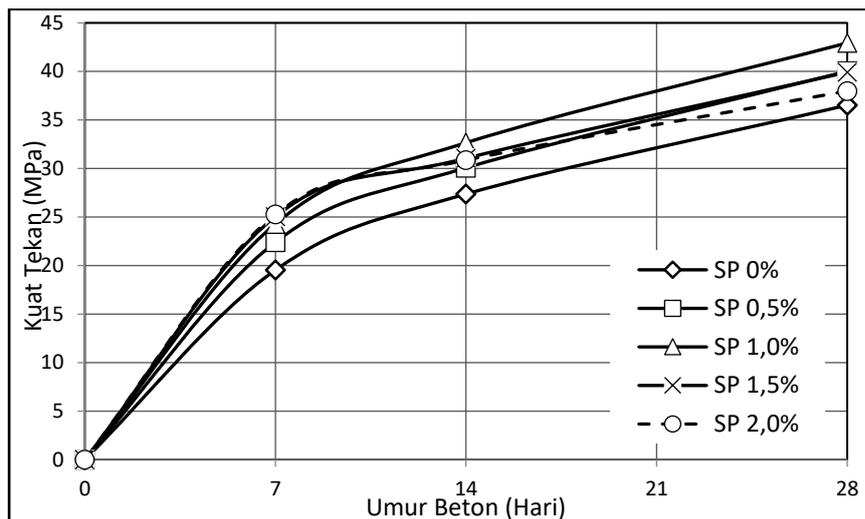
Tabel 4.13 Hasil Rata-rata Berat Isi Beton Keras

Berat Isi Beton Keras (kg/m³)			
Variasi <i>Superplasticizer</i> (%)	Hasil Pengujian 7 Hari	Hasil Pengujian 14 Hari	Hasil Pengujian 28 Hari
0	2171,9	2198,6	2179,3
0,5	2161,8	2311,8	2206,6
1,0	2208,9	2208,7	2189,4
1,5	2211,3	2217,3	2213,8
2,0	2244,0	2207,0	2236,1

Berdasarkan Tabel 4.13 hasil berat isi beton keras cenderung fluktuatif. Salah satu penyebab yang sangat berpengaruh terhadap berat isi beton yang cenderung naik turun adalah pemadatan saat pencetakan benda uji yang kurang maksimal. Berat isi beton tidak menjadi faktor yang mempengaruhi kekuatan beton.

4.2.3 Analisa Kuat Tekan Beton

Grafik hasil pengujian kuat tekan beton tanpa penambahan *superplasticizer* Sikament LN dan dengan variasi penambahan *superplasticizer* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Perkembangan Kuat Tekan Rata-rata Beton Dengan Variasi *Superplasticizer*

Berdasarkan grafik yang disajikan pada Gambar 4.2 tersebut didapatkan bahwa hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari untuk setiap variasi penambahan *superplasticizer* telah memenuhi kuat tekan yang direncanakan yaitu 35 MPa.

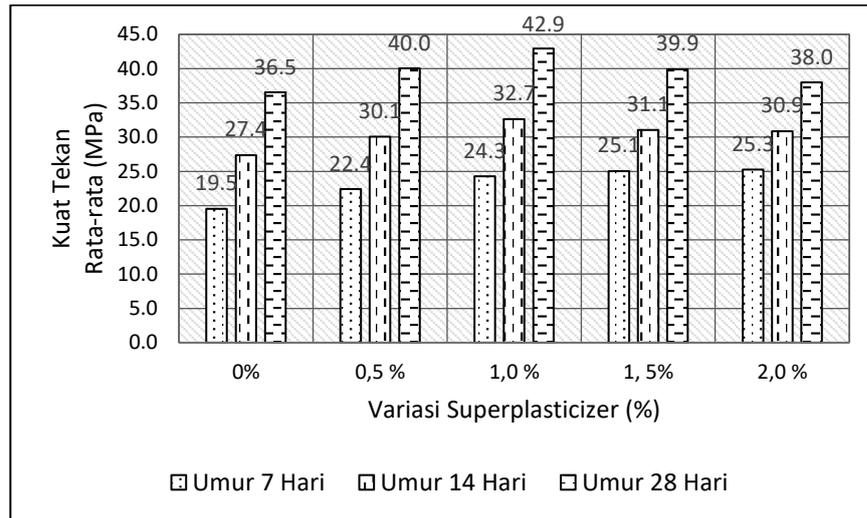
Pada umur beton 7 hari mengalami peningkatan kuat tekan seiring bertambahnya variasi persentase *superplasticizer* karena masih mengalami kekuatan awal beton yaitu 3 – 7 hari. Kenaikan signifikan terjadi pada penambahan *superplasticizer* 0,5% yaitu 22,4 MPa, naik 14,7% dari beton normal. Untuk penambahan *superplasticizer* 1,0% mengalami kenaikan 24,4% dari beton normal, begitu juga dengan penambahan *superplasticizer* 1,5% dan 2,0% mengalami kenaikan 28,2% dan 29,3% dari beton normal. Peningkatan kekuatan yang terjadi pada variasi 1,0% hingga 2,0% penambahan *superplasticizer* tidak terlalu signifikan, kurang dari 5%.

Hasil pengujian kuat tekan untuk umur 14 hari pada penambahan *superplasticizer* 0,5% sebesar 30,1 MPa, mengalami kenaikan 10% dari beton tanpa penambahan *superplasticizer*. Penambahan *superplasticizer* sebanyak 1,0%

mencapai kuat tekan optimal yaitu 32,6 MPa yang mengalami kenaikan 19,3% dari beton normal. Untuk penambahan 1,5% juga mengalami kenaikan sebesar 13,5% dari beton normal, namun terjadi penurunan kekuatan yaitu 31,0 MPa dan penambahan 2,0% *superplasticizer* memiliki nilai kuat tekan 30,9 MPa mengalami kenaikan 12,8% terhadap beton normal.

Untuk hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari, pada beton tanpa penambahan *superplasticizer* menghasilkan kuat tekan 36,5 MPa, sementara itu untuk beton dengan komposisi *superplasticizer* 0,5% mencapai 40,0 MPa mengalami kenaikan 9,6% dari beton normal. Penambahan *superplasticizer* dengan dosis 1,0% menghasilkan kuat tekan 42,9 MPa mengalami kenaikan sebesar 17,5% dari beton normal dan penambahan 1,5% serta 2,0% berturut mengalami kenaikan 9,3% dan 4% dari beton normal, dengan nilai kuat tekan 39,9 MPa dan 37,9 MPa.

Pada umur beton 14 hari dan 28 hari menunjukkan nilai kuat tekan optimal terjadi pada variasi penambahan *superplasticizer* 1,0%, sedangkan pada variasi *superplasticizer* 1,5% dan 2,0% mengalami penurunan nilai kuat tekan. Sedangkan pada beton umur 7 hari menunjukkan nilai kuat tekan yang terus meningkat seiring penambahan variasi *superplasticizer*.

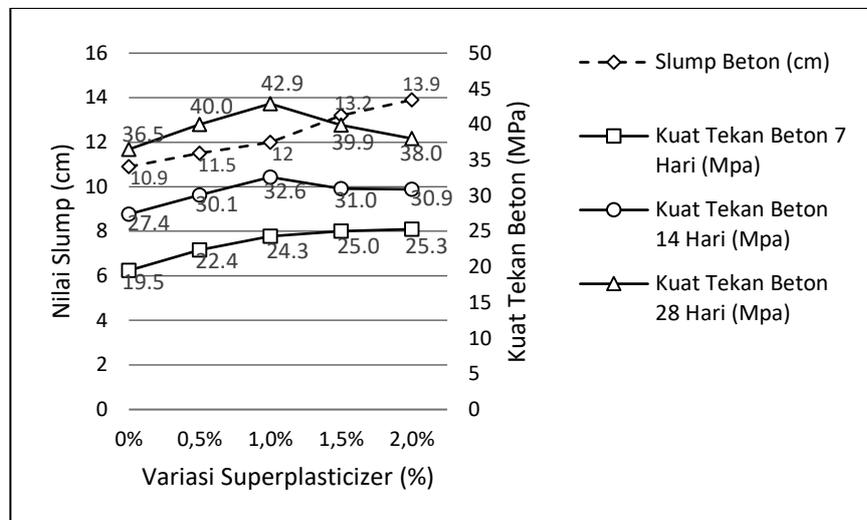


Gambar 4.3 Diagram Perbandingan Kuat Tekan Rata-rata Beton

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat perbandingan hasil kuat tekan rata-rata beton pada umur 7, 14, dan 28 hari. Pada beton tanpa penambahan *superplasticizer* (0%) pada umur 7 hari mencapai 19,5 MPa mengalami kenaikan pada umur 14 dan 28 hari sebesar 40% dan 87% dari beton umur 7 hari yaitu 7,9 MPa dan 17 MPa. Pada beton penambahan *superplasticizer* 0,5% mengalami kenaikan nilai kuat tekan dari umur 7 hari ke 14 dan 28 hari sebesar 34% dan 87% dengan perbandingan nilai kuat tekan sebesar 7,7 MPa dan 17,6 MPa terhadap beton umur 7 hari. Pada komposisi *superplasticizer* 1,0% kenaikan nilai kuat tekan yang terjadi diumur 7 hari ke 14 dan 28 hari sebesar 43% dan 77% dengan perbandingan nilai kuat tekan 8,4 MPa dan 18,6 MPa terhadap kuat tekan 7 hari. Untuk beton penambahan *superplasticizer* 1,5% perbandingan kenaikan nilai kuat tekan yang terjadi pada setiap variasi umur beton sebesar 25% dan 59% terhadap kuat tekan umur 7 hari yaitu 6,0 MPa dan 14,8 MPa. Serta pada penambahan *superplasticizer* 2,0% didapatkan kenaikan nilai kuat tekan pada umur 14 hari sebesar 22% dari beton umur 7 hari, sedangkan pada umur 28 hari mencapai 50% dari beton umur 7 hari yaitu sebesar 5,6 MPa dan 7,1 MPa.

4.2.4 Analisa Keseluruhan Penelitian

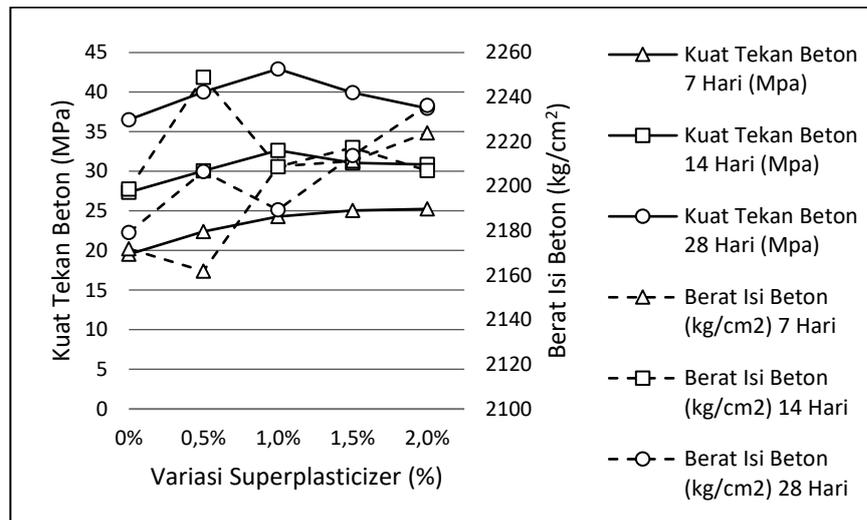
Analisa keseluruhan penelitian mencakup keseluruhan hasil pengujian yang telah dilakukan diantaranya pengujian *slump*, berat isi beton keras, dan kuat tekan beton pada umur 7, 14, dan 28 hari.



Gambar 4.4 Hubungan Nilai *Slump* dan Nilai Kuat Tekan Beton

Berdasarkan Gambar 4.4, ditunjukkan pada grafik tersebut bahwa semakin besar penambahan variasi *superplasticizer* pada campuran beton mengakibatkan campuran beton menjadi encer dan berpengaruh terhadap nilai *slump*, sehingga nilai *slump* beton cenderung mengalami kenaikan disetiap variasi *superplasticizer*. Sesuai dengan kegunaan *superplasticizer* diantaranya akan meningkatkan kemudahan pekerjaan (*workability*), meningkatkan nilai *slump* beton, dan meningkatkan kuat tekan beton pada umur 28 hari. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Ratih Widyaningrum (2013) bahwa penambahan *superplasticizer* akan membuat beton semakin encer dan meningkatkan nilai *slump*, namun jika pengadukan tidak dikontrol dengan baik dapat memberikan efek negatif pada campuran beton yaitu segregasi dan *bleeding*. Berbeda dengan hasil berat isi beton yang dapat dilihat pada Gambar 4.5, pada setiap variasi umur beton yang cenderung

naik turun untuk setiap variasi *superplasticizer*. Hal tersebut menunjukkan bahwa berat isi beton tidak berpengaruh terhadap variasi *superplasticizer* yang ditambahkan. Berdasarkan Gambar 4.5 berat isi beton tidak menjadi faktor yang mempengaruhi kekuatan beton. Hasil berat isi beton yang cenderung fluktuatif dapat disebabkan pada proses pemadatan saat pencetakan benda uji.



Gambar 4.5 Hubungan Nilai Berat Isi Beton dan Nilai Kuat Tekan Beton

Hubungan antara nilai *slump* dan kuat tekan beton umur 7, 14, dan 28 hari ditunjukkan pada Gambar 4.4, semakin besar variasi persentase *superplasticizer* akan meningkatkan nilai *slump* beton, tetapi tidak untuk peningkatan nilai kuat tekannya. Dari grafik tersebut nilai kuat tekan optimal terjadi pada variasi *superplasticizer* 1,0% untuk beton umur 14 dan 28 hari, sedangkan pada variasi penambahan *superplasticizer* lebih dari 1,0% cenderung mengalami penurunan nilai kuat tekan. Untuk beton umur 7 hari terus mengalami peningkatan kuat tekan seiring penambahan *superplasticizer* dikarenakan masih mengalami kekuatan awal beton yaitu 3 – 7 hari, walaupun peningkatan yang terjadi tidak terlalu signifikan. Sementara itu, penurunan kuat tekan tersebut dapat disebabkan karena penambahan *superplasticizer* yang ditingkatkan akan membuat campuran beton menjadi encer

maka pada saat pembuatan benda uji agregat kasar dalam campuran tidak tercampur dengan baik. Selain itu dapat juga disebabkan karena penambahan *superplasticizer* Sikament LN dengan persentase 1,5% sudah tidak berfungsi maksimal untuk meningkatkan kuat tekan beton. Diperkuat dengan teori dari Paul Nugraha & Antoni (2007) bahwa pemakaian dosis yang tinggi pada *superplasticizer* berbahan dasar *naphthalane* akan menyebabkan beton kehilangan kekuatannya. Kemudian diperkuat dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Arief, Mungok, & Samsurizal (2014) bahwa penambahan *superplasticizer* 1 – 1,3% telah mampu meningkatkan kuat tekan beton dari beton normal.

4.3 Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat keterbatasan yaitu:

Dalam penimbangan kebutuhan bahan campuran beton dan berat isi beton menggunakan timbangan manual, sehingga hasil yang diperoleh kurang akurat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh penggunaan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan bahan tambah 15% abu terbang sebagai *filler* dan *superplasticizer* Sikament LN (0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dari berat semen) dalam campuran beton terhadap kuat tekan, berada diatas perkiraan kuat tekan beton yang tercantum dalam SNI 03-2834-2000 (dapat dilihat pada Tabel 2.4 Hal.19) dan memenuhi kuat tekan rencana 35 MPa pada umur 28 hari dengan nilai kuat tekan optimum terjadi pada penambahan 1,0% *superplasticizer* yaitu sebesar 42,9 MPa.
2. Kuat tekan beton menggunakan agregat kasar tak dipecah (kerikil) dengan bahan tambah 15% abu terbang sebagai *filler* tanpa penambahan *superplasticizer* Sikament LN untuk umur 28 hari yaitu sebesar 36,5 MPa. Peningkatan kuat tekan beton yang terjadi setelah penambahan *superplasticizer* Sikament LN dengan kadar 0% – 2,0% dengan interval 0,5% berkisar 20%.
3. Nilai *slump* yang dihasilkan memenuhi rencana yaitu 12 ± 2 cm.
4. Penambahan *superplasticizer* Sikament LN dengan faktor air semen 0,40 dapat meningkatkan nilai *slump*. Penggunaan Sikament LN berfungsi sesuai dengan fungsinya yaitu meningkatkan kemudahan pekerjaan (*workability*) dan meningkatkan nilai *slump* beton.

5.2 Saran

Untuk dapat menghasilkan penelitian yang lebih baik kedepannya, maka disarankan sebagai berikut:

1. Keadaan tempat penyimpanan bahan-bahan pembuatan beton harus lebih diperhatikan untuk meminimalisir kualitas beton yang dihasilkan.
2. Untuk penelitian selanjutnya dalam menggunakan *superplasticizer* dilakukan variasi penggunaan faktor air semen untuk mengetahui pengaruh *superplasticizer* dalam mengurangi penggunaan air pada campuran beton.
5. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian kuat tekan optimum pada umur beton selanjutnya, dan atau tidak hanya melakukan uji kuat tekan saja.