

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sudah banyak penelitian yang dilakukan mengenai beton memadat sendiri. Namun untuk variasi penggunaan pasir sebagai pengganti agregat halus masih belum banyak yang melakukannya. Beberapa jurnal penelitian yang digunakan mengenai beton memadat sendiri (*self compacting concrete*) dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini.

1. Perancangan Campuran *Flow Mortar* untuk Pembuatan *Self Compacting Concrete* dengan FAS 0,5 (Maskur dkk., 2017)
2. *Characterization of Self Compacting Concrete* (Ahmad dan Umar, 2016)
3. *Experimental Study on Self Compacting Concrete* (Dinesh dkk., 2017)
4. Pemanfaatan Limbah Kaca dan Abu Sekam Padi sebagai *Powder* pada *Self Compacting Concrete* (Beton Memadat Sendiri) (Marhendi dan Yusup, 2016)
5. *Self Compacting Concrete from Uncontrolled Burning of Rice Husk and Blended Fine Aggregate* (Rahman dkk., 2013)
6. *Efficient Self Compacting Concrete with Low Cement Consumption* (Pelisser dkk., 2017)
7. Pengaruh Variasi Penambahan Abu Ampas Tebu terhadap *Flowability* dan Kuat Tekan *Self Compacting Concrete* (Setyawan dkk., 2016)
8. *Behavior of Self Compacting Concrete Using Portland Pozzolana Cement with Different Levels of Fly Ash* (Dinakar dkk., 2012)
9. *SCC with High Volume of Fly Ash Content* (Bakhrakh dkk., 2017)
10. *A Cost Reduction of Self Compacting Concrete Incorporating Raw Rice Husk Ash* (Awang dkk., 2016)

Penelitian ini menitikberatkan pada kuat tekan beton dengan menggunakan variasi abu sekam padi sebagai pengganti agregat halus dengan kadar 20%, 40%, 60% dan *viscocrete 1003* dengan kadar 1%. Kemudian dilakukan uji tekan untuk mengetahui nilai kuat tekan pada umur 7, 14 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk tiap variasi serta beton normal tanpa abu sekam padi sehingga dapat diketahui pengaruh abu sekam padi terhadap kuat tekan beton.

2.1.1 Penelitian Terdahulu tentang Agregat Halus

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang menggunakan agregat halus Progo, agregat tersebut termasuk dalam gradasi daerah 1 yaitu pasir kasar dengan modulus halus butir sebesar 3,2; berat jenis 2,79; penyerapan air 0,9%; kadar lumpur 2,3%; kadar air 0,9% dan berat satuan 1,4 gram/cm³. Dari hasil tersebut, maka pasir yang digunakan masih tergolong normal karena nilai-nilainya memenuhi persyaratan (Ariyanto, 2011).

Selain Ariyanto, penelitian juga dilakukan oleh Ikhsan, dkk. (2016) yang juga menggunakan agregat halus Progo dimana didapat hasil: gradasi termasuk daerah 2, modulus halus butir 2,648; kadar air 4,575%; berat jenis 2,58; penyerapan air 0,26%; berat satuan 1,31 gram/cm³ dan kadar lumpur 4,532%. Dimana keseluruhan pengujian telah memenuhi spesifikasi kecuali pengujian kadar air yang pada umumnya berkisar dari 1-2% saja.

Penelitian lain menggunakan agregat halus Progo juga dilakukan oleh Sylviana (2015) dengan hasil modulus halus butir 2,418; kadar air agregat 4,575%; berat jenis 2,656; penyerapan air 2,09%; berat satuan 1,66 gram/cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil pengujian agregat halus yang berasal dari Progo sudah memenuhi persyaratan.

2.1.2 Penelitian Terdahulu tentang Agregat Kasar

Soebandono dkk. (2013) dalam penelitiannya mengenai perilaku kuat tekan dan kuat tarik beton campuran limbah plastik HDPE dalam metode penelitiannya menganalisis pemeriksaan agregat kasar berupa batu pecah (halus) dengan ukuran 20 mm dari Clereng, Kulon Progo meliputi pemeriksaan kadar air, pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan keausan, pemeriksaan berat satuan dan pemeriksaan kadar lumpur.

Ikhsan dkk. (2016) yang meneliti tentang pengaruh penambahan pecahan kaca sebagai bahan pengganti agregat halus dan penambahan fiber optik terhadap kuat tekan beton serat yang dalam penelitiannya menggunakan agregat kasar (*split*) berupa batu pecah yang berasal dari Sungai Progo (Clereng) Kabupaten Kulon Progo. Berdasarkan hasil pemeriksaan agregat kasar tersebut, kadar air, berat satuan, keausan butir, penyerapan air dan berat satuan sudah sesuai dengan

syarat yang telah ditentukan. Sedangkan nilai kadar lumpur yang terkandung dalam agregat ini belum sesuai dengan syarat yang telah ditentukan.

Ariyanto (2011) juga melakukan pemeriksaan agregat kasar dalam penelitiannya tentang perbandingan agregat alternatif pecahan batu gamping (klastik siliklastik) dan batu krakal (andesit) terhadap kuat tekan beton. Data yang digunakan sebagai pembanding dalam tugas akhir ini hanya pecahan batu krakal saja karena penelitian ini sama-sama menggunakan agregat yang berasal dari Kulon Progo. Ukuran agregat batu krakal yang digunakan maksimum adalah 20 mm dan ukuran butir minimum 10 mm agar agregat bergradasi sela sehingga memudahkan proses pengerjaan pencampuran beton. Untuk data hasil tiap-tiap pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil pengujian agregat kasar

Jenis pemeriksaan	Soebandono dkk. (2013)	Ikhsan dkk. (2016)	Ariyanto (2010)
Kadar air	1,01%	0.549%	1,96%
Berat satuan	1,57 gr/cm ³	1,55 gr/cm ³	1,8 gr/cm ³
Berat jenis	2,69	2,69	2,6
Penyerapan air	0,4%	4,47%	1,96%
Kadar lumpur	1,9%	1,75%	0,48%
Keausan butir	18,5%	21,36%	36%

2.1.3 Karakteristik Abu Sekam Padi

Ningsih dkk. (2012) dalam penelitiannya tentang pemanfaatan bahan *additive* abu sekam padi pada *cement portland* PT Semen Baturaja bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap pengujian kimia dan fisika semen. Didapatkan kekuatan tekan beton dengan penambahan abu sekam padi meningkat pada umur 3 hari, 7 hari dan 28 hari. Nilai kuat tekan beton meningkat dengan penambahan abu sekam padi sebesar 5% namun nilai kuat tekan tidak berpengaruh jika penambahan abu sekam padi lebih dari 5%. Komposisi kimia abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Maakul (2017) dalam prinsip beton memadat sendiri mengatakan bahwa abu sekam padi kaya akan kandungan *silica*. Dengan periode pembakaran, durasi

pendinginan, proses penggilingan dan durasi menghasilkan abu sekam padi dengan standar kehalusan. Abu sekam padi dapat menghasilkan *ultra high performance concrete* dengan kuat tekan lebih dari 150 MPa. Kandungan silica yang ada pada abu sekam padi memiliki pengaruh yang besar terhadap pengembangan kuat tekan *ultra high performance concrete*. Memon dkk. (2011) dalam Makul (2017) mengatakan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai agen penguat viskositas pada beton *self compacting concrete*. Abu sekam padi dapat terdiri hingga 25% dari *self compacting concrete* (SCC) yang masih memenuhi kriteria dalam EFNARC (2002). Kannan dan Ganesan (2014) dalam Makul (2017) mengevaluasi mengenai kekayaan properti dari *self compacting concrete* (SCC) yang mengandung pastikel abu sekam padi halus. Campuran dari *self compacting concrete* (SCC) masing-masing 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30% dair berat semen. Dimana kuat tekan dari *self compacting concrete* (SCC) dengan 15% abu sekam padi lebih tinggi daripada *self compacting concrete* (SCC) normal dan menurun ketika kuantitas abu sekam padi lebih dari 20%. Hal ini terjadi karena penurunan kemampuan kerja dari *self compacting concrete* (SCC) yang dicampur dengan abu sekam padi karena luas permukaan abu sekam padi yang lebih tinggi dan permintaan airnya yang relatif tinggi.

Tabel 2.2 Komposisi kimia abu sekam padi (Ningsih dkk., 2012)

Senyawa Kimia	Komposisi (%)
SiO ₂	88,92
Fe ₂ O ₃	0,608
Al ₂ O ₃	0,674

2.1.4 *Self Compacting Concrete*

Maskur dkk. (2017) dalam penelitiannya tentang perancangan campuran *flow mortar* untuk pembuatan *self-compacting concrete* dengan fas 0,5 mengatakan bahwa beton SCC mempunyai nilai slump yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton SCC untuk rasio volume absolut mortar terhadap volume rongga agregat kasar pada umur 28 hari dengan FAS 0,5. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian agregat kasar dan agregat halus sesuai dengan standar pengujian bahan yang ada pada SNI. Kemudian dilakukan *mix*

design mortar dengan benda uji berbentuk kubus berukuran 5x5x5cm. Selanjutnya *mix design* beton dengan ukuran benda uji berbentuk silinder berdiameter 10cm dan tinggi 20cm dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2.3. Untuk pengujian pada beton segar, dilakukan pengujian *slump flow*, pengujian *V-funnel* dan pengujian *L-box*. Dari tiga rasio pengali yang digunakan (1,4; 1,6; dan 1,8) pengujian *L-Box* pada rasio 1,4 tidak memenuhi syarat karena beton segar tidak dapat melewati tulangan dengan baik sehingga variasi tersebut tidak digunakan ke tahap selanjutnya. Setelah 28 hari beton SCC diuji dan didapatkan kuat tekan rata-rata sebesar 40,43 MPa dengan rasio 1,6 dan 53,16 MPa dengan rasio 1,8. Sehingga dapat diketahui bahwa kuat tekan tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan beton normal yang berikisar antara 30-31 MPa. Selain itu juga dikatakan bahwa dalam pembuatan beton SCC harus adanya pengurangan jumlah agregat kasar dan agregat halus. Karena agregat kasar mempunyai kesempatan besar untuk memungkinkan adanya ruang kosong pada campuran beton. Semakin banyak *superplasticizer* (SP) yang digunakan maka akan terjadi pemisahan agregat (*segregasi*). Variasi SP yang digunakan adalah 0% 0,1% 0,2% dan 0,3% namun tidak dilanjutkan penelitiannya karena beton sudah mengalami *segregasi*. Dalam penelitian ini juga dikatakan bahwa dalam pencampuran beton dianjurkan menggunakan agregat halus antara 50-62% agar mencapai berat SCC.

Tabel 2.3 Hasil *mix design* beton (Maskur dkk., 2017)

Rasio	Berat Material (gram)					
	Semen	SF	Air	Pasir	SP	Kerikil
1,4	404,51	20,23	212,37	707,89	1,21	1020,24
1,6	404,51	23,11	242,70	809,01	1,39	794,56
1,8	520,08	26,00	273,04	910,14	1,56	568,88

Ahmad dan Umar (2017) dalam karakteristik *self compacting concrete* meneliti tentang penggunaan *viscosity modifying admixture* (VMA) dengan variasi 0%, 0,2%, 0,4% dan 0,6%. Pengujian beton segar yang dilakukan adalah *slump flow*, *v-funnel*, *l-box* dan *j-ring* sesuai dengan kriteria yang tertera pada EFNARC 2005. Dari semua variasi semua pengujian memenuhi kriteria, hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.4. Beton SCC diuji pada umur 7 hari dan 28 hari dengan penggunaan *superplasticizer* 0,8%. Kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari sebesar 50,83 MPa dengan variasi 0,4 dan yang terendah sebesar 46,77 MPa

dengan tanpa variasi. Dari hasil penelitiannya, diketahui bahwa semakin banyak penggunaan VMA maka nilai *slump flow* menurun sehingga mengurangi *bleeding*. Dengan adanya tambahan VMA meningkatkan viskositas pada beton sehingga membuat beton lebih tahan terhadap segregasi.

Tabel 2.4 Hasil pengujian beton SCC (Ahmad dan Umar, 2017)

Mix	Slump flow (mm)	V-Funnel (detik)	L-Box	J-Ring (mm)
V0	720	7	0,91	4
V0,2	700	8	0,88	6
V0,4	680	10	0,85	7,5
V0,6	610	12	0,81	10

Beton digetarkan untuk kemudian dialirkan ke bentuk-bentuk yang rumit sehingga digunakan beton SCC karena beton dapat mengalir dengan mudah (Dinesh dkk., 2015). Dinesh dkk. meneliti tentang studi beton memadat sendiri menggunakan *fly ash* (abu terbang) dan *silica fume* sebagai pengganti semen. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat *workability* dari tiap variasi yang digunakan. Persentase yang digunakan untuk abu terbang sebagai pengganti semen adalah 5%, 10%, 15% 20% dan 25% sementara untuk *silica fume* adalah 2,5%, 5%, 7,5%, 10% dan 12,5%. Desain campuran beton yang digunakan berdasarkan ACI211.4R-93 dengan perbandingan semen:agregat halus:agregat kasar:air sebesar 1:1,41:1,72:0,38. Dan dari penelitiannya tersebut dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan kemampuan kerja (*workability*) pada masing-masing variasi. Selain itu juga diperoleh hasil bahwa semakin banyak penggunaan *fly ash* pada campuran beton maka kuat tekan semakin menurun. Kuat tekan 25% penggunaan abu terbang sebesar 43,54 MPa dan 48,11 MPa untuk kuat tekan dengan penggunaan abu terbang 5%. Berbanding terbalik dengan penggunaan *silica fume* yaitu semakin banyak penggunaan *silica fume*, kuat tekan beton semakin meningkat pula. Kuat tekan tertinggi pada variasi 12,5% yaitu sebesar 57,49 MPa.

Marhendi dan Yusup (2016) mengatakan dalam penelitiannya tentang pemanfaatan limbah kaca dan abu sekam padi sebagai *powder* pada beton memadat sendiri bahwa serbuk limbah kaca dan abu sekam padi dapat dijadikan

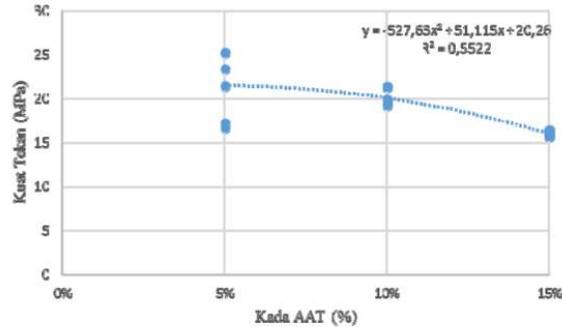
inovasi sebagai pengganti semen dengan memperhatikan volume penambahannya. Perhitungan *mix design* yang dilakukan sesuai dengan SNI 03-2847-2002 (BSN, 2002). Kemudian dilakukan pengujian *slump flow* sesuai ketentuan pada EFNARC 2002 yaitu beton segar yang diangkat memiliki lebar antara 650-800 mm. Pada pengujian *slump flow* tersebut, variasi ini sudah sesuai dengan standar beton SCC yang memungkinkan beton untuk melewati rongga-rongga sempit pada pekerjaan bangunan. Uji kuat tekan dilakukan pada umur 1 (satu) hari dengan 3 (tiga) benda uji. Setelah dilakukan konfersi maka didapat nilai kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 44,2 MPa. Sehingga dapat dikatakan bahwa abu sekam padi dan limbah kaca dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran pada beton memadat sendiri.

Rahman dkk. (2014) dalam penelitiannya tentang beton memadat sendiri dari pembakaran sekam padi yang tidak terkontrol dan agregat halus campuran bertujuan untuk mengetahui kemampuan mengisi, kemampuan lewat dan resistensi segregasi dari beton SCC. Penelitian ini menggunakan 4 (empat) campuran beton dengan variasi abu sekam padi 0%, 20%, 30% dan 40% dari volume semen dengan campuran *superplasticizer* yang berasal dari Sika Kimia Sdn Bhd. Dengan menggunakan metode pengujian *slump flow* dan *v-funnel* dapat diketahui bahwa campuran abu sekam padi telah memenuhi kriteria sesuai yang tertera pada EFNARC sehingga campuran dapat dikatakan memiliki kemampuan mengisi yang baik. Kemampuan lewat beton SCC ini juga baik berdasarkan hasil uji *j-ring* yang memenuhi kriteria yaitu perbedaan beton segar antara didalam dan diluar jeruji tidak lebih dari 10 mm. Dan dari hasil pengujian saringan segregasi semua benda uji memenuhi persyaratan $\leq 18\%$ sehingga beton ini memiliki ketahanan yang baik terhadap pemisahan agregat (segregasi). Hasil kuat tekan yang didapat pada umur 28 hari dari keseluruhan campuran adalah: 48,5 MPa, 42,9 MPa, 40,9 MPa dan 33,5 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beton dengan abu sekam padi sebagai pengganti semen dapat digunakan sebagai beton SCC, namun semakin banyak kadar abu sekam padi yang digunakan maka semakin berkurang kuat tekannya.

Pelisser dkk. (2018) meneliti tentang efisiensi beton memadat sendiri dengan konsumsi semen yang rendah dengan penambahan *fly ash* dan metakaolin.

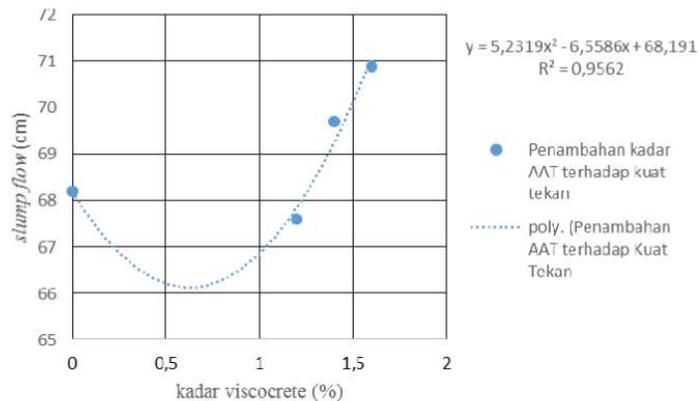
Prosedur pertama pada penelitian ini adalah menentukan material yang akan digunakan kemudian menentukan kemudahan mengalir dari campuran pasta dan mortar dengan melakukan *mini slump-test* untuk menentukan saturasi *superplasticizer*. Setelah itu barulah dilakukan pengujian beton segar SCC dengan melakukan *slump flow test* dan *l-box test*. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa *fly ash* dan metakaolin memiliki ketahanan terhadap segregasi. Campuran SCC menggunakan *fly ash* dan metakaolin dengan kuat tekan tinggi membutuhkan semen 472 kg dan 240 kg untuk campuran kuat tekan rendah. Semakin tinggi kuat tekan maka perbandingan semen dan agregat semakin rendah. Dari hasil pengujian ini didapatkan bahwa salah satu untuk mengurangi konsumsi semen adalah dengan meningkatkan persentase penggantian semen dengan metakaolin sehingga dapat mempertahankan sifat mekanik yang sama.

Setyawan dkk. (2016) melakukan pengujian tentang pengaruh variasi penambahan abu ampas tebu (AAT) terhadap *flowability* dan kuat tekan *self compacting concrete*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penambahan variasi abu ampas tebu sebesar 5%, 10% dan 15% sebagai pengganti semen pada beton memadat sendiri dan penambahan *viscocrete* yang berbeda pula yaitu 1,2%, 1,4% dan 1,6%. Untuk mengetahui *flowability* beton dilakukan pengujian *slump flow* dan *v-funnel* sedangkan pengujian *j-ring* dan *l-box* dilakukan guna mengetahui *passingability* beton segar. Berdasarkan EFNARC 2002 yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini, ketiga variasi campuran telah memenuhi spesifikasi yang ada sehingga variasi ini dapat digunakan untuk keperluan beton SCC. Dari ketiga variasi tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi dengan kadar abu ampas tebu 5% lebih cair karena campuran membutuhkan waktu mengalir untuk sampai pada diameter 50 cm pada pengujian *slump flow* dibandingkan dengan dua variasi lainnya. Hal ini karena kadar abu ampas tebu berpengaruh terhadap penyerapan air. Sedangkan pengaruh kadar abu ampas tebu terhadap kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 2.1 dimana semakin banyak abu ampas tebu yang digunakan maka semakin berkurang kuat tekannya. Kuat tekan maksimal pada umur 28 hari dengan variasi 5% adalah sebesar 21,50 MPa sedangkan untuk variasi 15% didapat kuat tekan 16,10 MPa. Hal ini karena adanya pengurangan dari volume semen yang digunakan.



Gambar 2.1 Hubungan kuat tekan dengan kadar AAT (Setyawan dkk., 2016)

Semakin banyak kadar *viscocrete* yang digunakan maka nilai *slump* yang didapat akan tinggi pula. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang merupakan nilai *slump* optimum terdapat pada penggunaan 1,6% *viscocrete*.



Gambar 2.2 Hubungan *slump flow* dengan *viscocrete* (Setyawan dkk., 2016)

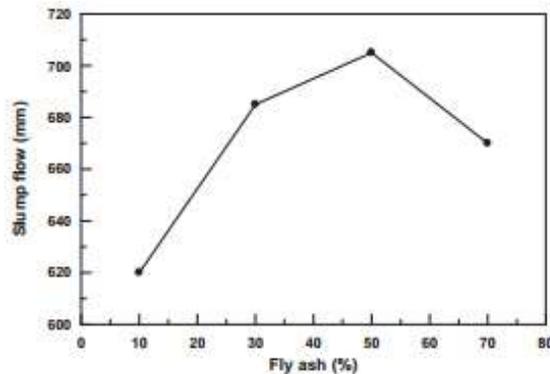
Dinakar dkk. (2013) mengkaji mengenai perilaku beton memadat sendiri menggunakan semen *Portland pozzolan* dengan berbagai tingkat penggunaan abu terbang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil kuat tekan dari variasi 10%, 30%, 50% dan 70% penambahan abu terbang. Urutan pengujian beton segar *self compacting concrete* dimulai dari uji *slump flow*, pengukuran waktu, uji *v-funnel* dan *l-box*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.5. Semakin banyak kadar *fly ash* yang ditambahkan maka nilai *slump flow* semakin meningkat, dan kembali menurun untuk kadar 70% (Gambar 2.3). Pengujian ini melakukan uji tekan pada umur 3 hari, 7 hari, 28 hari dan 56 hari dan didapat kuat tekan tertinggi sebesar 99,43 MPa dengan kadar *fly ash* 30% di umur 56 hari dan

kuat tekan kembali menurun saat kadar *fly ash* 70%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggantian *fly ash* untuk beton SCC dapat digunakan hingga 50% karena memiliki efek positif pada ikatan antar pasta dan agregat sehingga memiliki kuat tekan tinggi.

Tabel 2.5 Hasil pengujian beton segar (Dinakar dkk., 2013)

Nama	T50 (detik)	Slump flow (mm)	V-Funnel (detik)	L-Box
SCC10	6	620	28,19	0,77
SCC30	5	685	16,0	0,80
SCC50	5	705	20,39	0,93
SCC70	7	670	28,16	0,83

Nilai *slump flow* meingkat dari penggunaan *fly ash* 10% ke 30% dan 50% yang tertinggi yaitu 700 mm. namun dengan penmbahan *fly ash* sebesar 70% nilai *slump flow* yang didapat menurun.

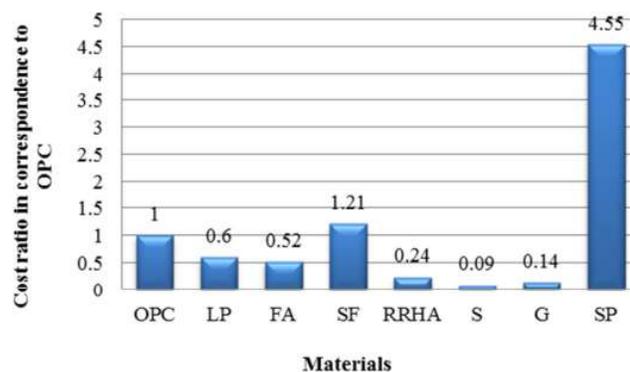


Gambar 2.3 Hubungan kadar *fly ash* dengan *slump flow* (Dinakar dkk., 2013)

Bakhrakh dkk. (2017) melakukan pengujian beton memadat sendiri dengan volume kandungan abu terbang yang tinggi. Karena beton SCC sulit mendapat campuran yang tepat dan juga memiliki harga tinggi, maka penggunaan abu terbang (*fly ash*) sebagai pengganti semen dapat membuatnya lebih murah. Dengan pencampuran 360 kg/m^3 semen, 215 kg/m^3 *fly ash* (60%) dan 1,8% *superplasticizer* menunjukkan bahwa campuran ini memiliki sifat *flowability* yang baik dan mempunyai nilai *slump flow* 550 mm. Kuat tekan yang dihasilkan relatif tinggi dalam 28 hari menghasilkan kuat tekan sebesar 71,5 MPa. Sehingga dapat dikatakan bahwa dengan penambahan 60% *fly ash* dari massa semen dengan

penggunaan *superplasticizer* menghasilkan beton memadat sendiri tanpa *bleeding* dan segregasi.

Awang dkk. (2016) mengkaji mengenai pengurangan biaya dari beton memadat sendiri dengan menggabungkan abu sekam padi mentah atau *raw rice husk ash* (RRHA). Beton *self compacting concrete* memiliki kandungan semen yang lebih tinggi dari beton normal sehingga harganya tergolong tinggi, dan untuk mengatasinya semen dapat diganti dengan bahan lain seperti abu terbang (*fly ash-FA*), bubuk batu kapur (*limestone powder-LP*), *silica fume* (SF) atau abu sekam padi mentah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis biaya pembuatan beton SCC dengan campuran proporsi yang optimal. Ada 15 campuran *additive* mineral yang digunakan, 4 adukan dengan penggunaan satu *additive* mineral (BM), 6 adukan dengan penggunaan dua *additive* mineral (TM), 4 adukan dengan penggunaan tiga *additive* mineral (QM) dengan pengurangan berat volume tiap kategori adukan dan satu adukan tanpa menggunakan *additive* material (CM). Cara pencampuran yang digunakan pada penelitian ini pertamanya ialah dengan mencampurkan agregat halus dan agregat kasar, memasukkan *additive* mineral dan diaduk menggunakan *mixer* sampai adukan rata atau sekitar 5 menit. Kemudian secara bertahap air dimasukkan, lalu *superplasticizer* dengan dosis kecil sambil terus memperhatikan kondisi visual dari adukan. Biaya dari setiap material yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rasio biaya material (Awang dkk., 2016)

Berdasarkan rasio tersebut, didapatkan hasil bahwa dengan campuran BM mengurangi biaya 8%, campuran TM mengurangi biaya 13% dan campuran QM

mengurangi biaya 18,8% dari adukan kontrol (CM). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah semen yang diganti dengan LP, FA, RRHA maka semakin besar pengurangan biaya.

2.1.5 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Sampai saat sekarang ini, sudah banyak penelitian yang dilakukan mengenai beton memadat sendiri. Namun untuk variasi penggunaan pasir sebagai pengganti agregat halus masih belum banyak yang melakukannya. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut ini.

Tabel 2.6 Perbedaan penelitian terdahulu dengan sekarang

No	Peneliti	Substansi materi penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
1	Maskur dkk. (2017)	Menggunakan fas 0,5 untuk pembuatan beton <i>self-compacting concrete</i> .	Fas yang digunakan bervariasi tergantung persentase kandungan abu sekam padi yang digunakan.
2	Ahmad dan Umar (2017)	Beton <i>self-compacting concrete</i> dengan penggunaan <i>viscosity modifying admixture</i> dengan variasi 0%, 0,2%, 0,4% dan 0,6%.	Beton <i>self-compacting concrete</i> dengan penggunaan abu sekam padi dengan variasi 0%, 20%, 40% dan 60%.
3	Dinesh dkk. (2015)	Menggunakan <i>fly ash</i> dan <i>silica fume</i> sebagai pengganti semen.	Menggunakan abu sekam padi sebagai pengganti pasir.
4	Marhendi dan Yusup (2016)	Beton memadat sendiri menggunakan limbah kaca dan abu sekam padi sebagai <i>powder</i> dengan kuat tekan rata-rata pada umur 28 hari sebesar 44,2 MPa.	Beton memadat sendiri menggunakan abu sekam padi sebagai tambahan agregat halus dengan kuat tekan maksimal 32,1 MPa.
5	Rahman dkk. (2014)	Menggunakan variasi abu sekam padi 0%, 20%, 30%, dan 40% dari volume semen. Melakukan pengujian saringan segregasi.	Menggunakan variasi abu sekam padi 0%, 20%, 40% dan 60%. Tidak melakukan pengujian saringan segregasi.
6	Pelisse dkk. (2018)	Campuran SCC menggunakan <i>fly ash</i> dan metakaolin. Melakukan <i>mini slump test</i> untuk menentukan saturasi <i>superplasticizer</i> .	Campuran SCC menggunakan abu sekam padi. Tidak melakukan <i>mini slump test</i> .

Tabel 2.7 Perbedaan penelitian terdahulu dengan sekarang (Lanjutan)

No	Peneliti	Substansi materi penelitian	
		Terdahulu	Sekarang
7	Setyawan dkk. (2016)	Penambahan variasi abu ampas tebu sebesar 5%, 10% dan 15% sebagai pengganti semen dan penambahan <i>viscocrete</i> yang berbeda yaitu 1,2%, 1,4% dan 1,6%.	Penambahan variasi abu sekam padi sebesar 0%, 20%, 40% dan 60%. Menggunakan <i>viscocrete</i> 1%.
8	Dinakar dkk. (2013)	Menggunakan semen <i>Portland pozzolan</i> dengan berbagai tingkat penggunaan abu terbang.	Menggunakan semen <i>Portland</i> komposit dengan berbagai tingkat penggunaan abu sekam padi.
9	Bakharakh dkk. (2017)	Kuat tekan dalam 28 hari sebesar 71,5 MPa dengan penggunaan abu terbang tinggi.	Kuat tekan dalam 28 hari yang dihasilkan hanya 32,1 MPa.
10	Awang dkk. (2016)	Beton memadat sendiri dengan menggabungkan abu sekam padi mentah.	Beton memadat sendiri dengan menggabungkan abu sekam padi.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Beton

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang digunakan dalam dunia konstruksi. Karena hampir seluruh pekerjaan dalam dunia teknik sipil menggunakan beton seperti halnya pekerjaan bendungan, drainase, untuk pekerjaan jalan yang kaku (*rigid pavement*) dan lain sebagainya. Semakin tinggi mutu suatu beton maka semakin kuat suatu bangunan. Faktor yang mempengaruhi mutu beton adalah: mutu bahan yang digunakan, jenis semen, faktor air semen, gradasi batuan, proses pelaksanaan pembuatan beton dan proses perawatan beton, Menurut Mulyono (2004) kelebihan dan kekurangan beton secara umum adalah sebagai berikut ini.

Kelebihan beton adalah sebagai berikut ini.

- a. Mudah dibentuk sesuai kebutuhan
- b. Dapat memikul beban berat
- c. Tahan terhadap suhu tinggi
- d. Memiliki biaya pemeliharaan yang tinggi

Kekurangan beton adalah sebagai berikut ini.

- a. Sulit mengubah bentuk yang sudah dibuat
- b. Membutuhkan ketelitian tinggi dalam pelaksanaan pekerjaan
- c. Memiliki volume yang berat
- d. Daya pantul suara besar

2.2.2. Bahan Penyusun Beton

Campuran antara semen dan air biasa disebut pasta. Pasta tersebut mengisi pori-pori pada beton, juga merupakan sebagai bahan pengikat pada proses pengerasan. Jika ditambahkan agregat halus maka akan menjadi mortar. Beton normal sendiri terdiri dari campuran semen, air, agregat halus dan agregat agregat. Dimana masing-masing terdiri dari 15% semen, 8% air, 3% udara, selebihnya agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil).

a. Semen

Semen hanya mengisi sebagian kecil dari volume beton, namun harus tetap memperhatikan kualitasnya karena semen sebagai pengikat utama antar agregat. Selain itu semen dengan butiran lebih halus dapat mengurangi *bleeding*. Adapun bahan-bahan penyusun semen dapat dilihat pada Tabel 2.6. Menurut Mulyono (2004) secara umum semen dapat dibedakan menjadi dua yaitu, semen non-hidrolik yang tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air dan semen hidrolik yang memiliki kemampuan mengikat dan mengeras didalam air.

Semen yang digunakan dalam adukan beton merupakan semen hidrolik jenis *Portland*. Semen *Portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *Portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk Kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain (BSN, 2004). Waktu pengikatan awal pada semen *Portland* biasanya terjadi selama 60 menit. Waktu ikat awal (*initial time*) merupakan waktu beton kehilangan sifat keplastisannya dari pencampuran semen dan air. Lamanya waktu ikat awal tergantung dari banyaknya air yang digunakan dan suhu udara sekitar.

Tabel 2.8 Bahan penyusun semen (Samekto dkk., 2001)

Jenis bahan	Persen (%)
Pasir silikat (SiO ₂)	17-25
Batu kapur (CaO)	60-65
Bijih besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Tanah liat (Al ₂ O ₃)	3-8
Sulfur (SO ₃)	1-2
Magnesia (MgO)	0,5-0,4
Soda/potash (Na ₂ O + K ₂ O)	0,5-1

Adapun jenis-jenis semen *Portland* adalah sebagai berikut ini.

1) Berdasarkan kebutuhan

a) *Rapid hardening Portland cement*

Merupakan semen *Portland* yang cepat mengeras. Semen tipe ini termasuk semen *Portland* tipe III.

b) Tahan sulfat yang sedang dan tahan sulfat

Semen jenis ini tahan terhadap sulfat yang larut seperti air laut, rawa dan lainnya yang memiliki Kadar SO₃ lebih dari 1%. Semen tipe ini termasuk semen *Portland* tipe II A dan tipe V.

c) *Low heat cement*

Merupakan semen *Portland* dengan panas rendah yang memiliki derajat pengerasan kecil/lambat. Biasanya digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang tebal. Semen tipe ini termasuk semen *Portland* tipe IV

d) Semen *Portland* pozzolan

Merupakan campuran semen *Portland* biasa dengan pozzolan atau bahan yang bersifat pozzolan seperti *fly ash*.

e) Semen *Portland* putih

Merupakan semen *portland* dimana bahan-bahan dasarnya mengandung senyawa besi yang rendah. Harga semen ini tergolong mahal dari semen pada umumnya karena pembuatannya memerlukan ketelitian yang lebih tinggi.

f) *Masonry cement*

Merupakan semen *Portland* hidrolis yang dicampur dengan bahan yang menambah keplastisan seperti batu kaapur, kapur yang terhidrasi atau kapur hidrolis sampai 50%.

g) Semen aluminium

Merupakan semen *Portland* yang terbuat dari batu kapur dan bauksit. Digunakan untuk konstruksi bangunan yang tahan suhu tinggi dan gangguan sulfat.

2) Berdasarkan penggunaan (BSN, 2015)

- a) Jenis I: tidak memerlukan persyaratan khusus dalam penggunaannya
- b) Jenis II: memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi pada penggunaannya
- c) Jenis III: memerlukan kuat awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi pada penggunaannya
- d) Jenis IV: memerlukan panas hidrasi yang rendah dalam penggunaannya
- e) Jenis V: memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat dalam penggunaannya.

3) Berdasarkan kekuatan

Jenis semen berdasarkan kekuatannya dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.9 Jenis semen berdasarkan kekuatan (Samekto dkk., 2001)

Mutu semen <i>Portland</i>	Kuat tekan pada umur 28 hari
S-400	400 kg/cm ²
S-475	475 kg/cm ²
S-550	550 kg/cm ²

Berdasarkan BSN (2004), semen *Portland* komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen *Portland* dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *Portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan tersebut ialah tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur dengan total kadar bahan anorganik 6%-35% dari massa semen *Portland* komposit.

b. Air

Air merupakan bahan penyusun beton yang paling murah dan mudah didapatkan. Air digunakan sebagai pemicu proses kimiawi semen dan membantu kemudahan dalam pekerjaan pelaksanaan beton. Air yang digunakan merupakan air tawar bersih yang dapat di minum, tidak mengandung minyak atau zat organik

yang dapat merusak beton dengan syarat-syarat tertentu. Dalam pemakaiannya, Tjokrodimuljo (1996) menyebutkan sebaiknya air memenuhi syarat sebagai berikut ini.

- 1) Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gram/liter
- 2) Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter
- 3) Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter
- 4) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter

Sedangkan air untuk perawatan beton harus air yang tidak mengandung kotoran yang dapat menyebabkan perubahan warna pada beton sehingga dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton.

c. Agregat

Agregat dalam beton memiliki kandungan yang tinggi karena berfungsi sebagai pengisi. Karakteristik dari agregat menentukan sifat dari beton yang akan dihasilkan karena mengandung 60%-70%. Agregat dapat dibedakan menurut distribusi ukurannya, yaitu sebagai berikut.

- 1) Gradasi sela, jika salah satu atau lebih dari ukuran butir atau fraksi pada satu set ayakan tidak ada. Namun gradasi ini tidak berpengaruh terhadap kuat tekan beton.
- 2) Gradasi menerus, merupakan gradasi yang paling baik karena semua ukuran butir agregat ada dan terdistribusi dengan baik.
- 3) Gradasi seragam, mempunyai ukuran butir yang seragam. Biasanya digunakan untuk beton ringan jenis beton non pasir.

Mulyono (2004) juga menyebutkan bahwa ada 2 hal yang mempengaruhi butir-butir agregat bersifat kurang kuat, yaitu: karena bahan yang lemah atau dari partikel yang kuat tetapi tidak baik dalam hal pengikatan. Kedua, karena porositas yang besar yang dapat mempengaruhi ketahanan beton terhadap beban kejut.

Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi 2 sebagai berikut ini,

1) Agregat kasar

Agregat kasar memiliki ukuran lebih besar dari 4,80 mm yang berupa batuan. Agregat dengan ukuran tersebut dibagi lagi menjadi kerikil beton (4,80-40 mm) dan kerikil kasar dengan ukuran lebih dari 40 mm. agregat yang

digunakan dalam campuran beton biasanya berukuran lebih kecil dari 40 mm (Mulyono, 2004). Agregat kasar harus dilakukan pengujian terlebih dahulu agar mengetahui apakah agregat tersebut dapat digunakan sebagai campuran pada beton atau tidak. Berikut adalah tahapan pengujian agregat kasar:

a) Kadar air

Merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung pada agregat dengan agregat dalam keadaan kering. Pengujian ini untuk mengetahui nilai persentase kadar air dari agregat. Metode pengujian kadar air dilakukan dengan langkah-langkah berdasarkan BSN (1990).

$$\text{Kadar air agregat} = \frac{(W3-W5)}{W5} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan:

$W3$ = berat awal agregat (gram), dan

$W5$ = berat kering agregat (gram).

b) Kadar lumpur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kadar lumpur dari agregat kasar yang akan digunakan. Menggunakan acuan SK SNI 04-1989-F (DPU, 1989).

c) Berat jenis dan penyerapan air

Dilakukan untuk mengetahui nilai berat jenis dan penyerapan air agregat. Langkah-langkah pengujian berdasarkan BSN (2008) tentang cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, berat jenis merupakan perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur yang ditentukan. Penyerapan air merupakan penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang merasap ke dalam pori-pori yang dinyatakan dalam persentase dari berat keringnya.

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)} = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan:

A = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram), dan

C = berat benda uji dalam air (gram).

d) Berat isi agregat

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 tentang metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat, berat isi agregat merupakan berat agregat persatuan isi dan rongga udara dalam satuan volume agregat adalah ruang diantara butir-butir agregat yang tidak diisi oleh partikel yang padat.

$$M = \frac{(G-T)}{V} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan:

M = berat isi agregat kering oven (kg/m^3),

G = berat agregat dan silinder (kg),

T = berat silinder (kg), dan

V = volume silinder (m^3).

e) Keausan

Berdasarkan BSN, 2008 mengenai cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles, pengertian keausan ialah perbandingan berat bahan yang hilang atau tergerus (akibat benturan bola-bola baja) terhadap kecepatan tertentu.

Agregat yang digunakan untuk pekerjaan bangunan tidak boleh melebihi 40%.

$$keausan = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

a = berat agregat semula (gram), dan

b = berat agregat tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gram).

2) Agregat halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil desintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,0 mm (BSN, 2000). Agregat halus digunakan sebagai bahan pengisi. Tahapan pengujian agregat halus adalah sebagai berikut ini.

a) Kadar air

Pengujian ini dilakukan berdasarkan langkah-langkah dari BSN (1990) tentang metode pengujian kadar air agregat.

b) Kadar lumpur

Kadar lumpur agregat halus (pasir) dilakukan berdasarkan SNI 03-1750-1990 (DPU, 1990) dimana kadar lumpur maksimum yang boleh terkandung hanya 5%, jika melebihi maka pasir tersebut harus dicuci sebelum digunakan dalam adukan beton.

$$\text{kadar lumpur} = \frac{(A-B)}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan:

A = tinggi pasir+lumpur, dan

B = tinggi pasir.

c) Berat jenis dan penyerapan air

Langkah-langkah pengujian ini dilakukan berdasarkan BSN (2008) tentang cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus.

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B+S-C)} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)} = \frac{S}{(B+S-C)} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(B+A-C)} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan:

A = berat benda uji kering oven (gram),

B = berat piknometer yang berisi air (gram),

C = berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas (gram), dan

S = berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

d) Berat isi agregat

Pengujian berat isi agregat adalah untuk mengetahui berapa berat isi agregat yang akan digunakan. Langkah-langkah pengujian ini dilakukan berdasarkan BSN (1998) tentang metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat.

e) Gradasi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui distribusi pasir menggunakan ayakan. Syarat gradasi agregat halus menurut (ASTM, 1986) tertera pada Tabel 2.3 yang mana agregat halus tidak boleh mengandung bagian yang lolos pada satu set ayakan lebih besar dari 45% dan tertahan pada ayakan berikutnya.

Tabel 2.10 Syarat gradasi agregat halus (Mulyono, 2004)

Ukuran lubang ayakan (mm)	Persen lolos kumulatif
9,5	100
4,75	95-100
2,36	80-100
1,18	50-85
0,6	25-60
0,3	10-30
0,15	2-10

2.2.3. Self Compacting Concrete (SCC)

Self compacting concrete merupakan beton yang mampu mengalir dan mengkonsolidasikan dibawah beratnya sendiri, mengisi bekisting secara keseluruhan sambil mempertahankan homogenitas dan tanpa perlu tambahan pemadatan. SCC dirancang memiliki aliran yang sangat tinggi dengan perpaduan karakteristik kohesi sehingga agregat tersuspensi seragam dan tidak terpisah sehingga tidak memerlukan alat bantu *vibrator* (EFNARC, 2005). Pada beton SCC penggunaan campuran (*admixture*) *superplasticizer* adalah yang penting karena dapat mengurangi penggunaan air hingga 20%. Kadar penggunaan *superplasticizer* juga harus di control karena menentukan tingkat fluiditas dari beton SCC dan juga dapat menyebabkan segregasi dalam penggunaan yang berlebih (EFNARC, 2002).

Makul (2017) menyebutkan ada tiga karakteristkik utama SCC, yaitu: kemampuan untuk mengalir tanpa getaran, kemampuan mengalir dibawah beratnya sendiri dan kemampuan untuk menjadi seragam tapa adanya pemisahan agregat. Berikut adalah beberapa keuntungan menggunakan beton SCC.

- a. Memiliki ketahanan yang tinggi terhadap segregasi

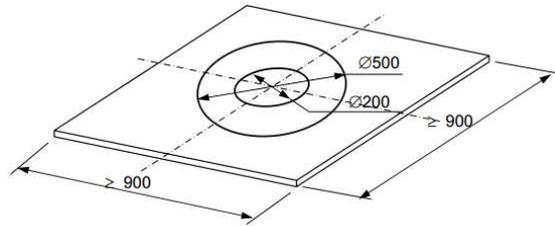
- b. Peningkatan kualitas beton sehingga mengurangi adanya perbaikan di lokasi
- c. Waktu konstruksi lebih cepat
- d. Peningkatan kesehatan dan keselamatan kerja
- e. Pengurangan kebisingan lingkungan pada sekitar lokasi
- f. Pemudahan penempatan sehingga menghemat biaya melalui peralatan dan kebutuhan tenaga yang berkurang

Sebuah campuran beton dikatakan memiliki sifat SCC jika memenuhi tiga sifat *workability* sebagai berikut ini.

- a. Kemampuan mengisi (*filling ability*), merupakan kemampuan SCC untuk mengalir ke semua ruang dalam bekisting di bawah beratnya sendiri. Dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian *slump flow*, T50, *v-funnel* dan orimet.
- b. Kemampuan melewati (*passing ability*), merupakan kemampuan SCC untuk mengalir melalui celah yang sempit seperti ruangan antar tulangan. Pengujian yang dilakukan adalah *l-box*, *u-box* dan *fill-box*
- c. Ketahanan terhadap segregasi (*segregation resistance*), merupakan kemampuan SCC yang memenuhi kemampuan pengisian dan kemampuan lewat dengan komposisi seragam selama proses. Karakteristik penting dari segregasi adalah *bleeding*, pasta dan agregat segregasi, agregat kasar yang mengarah ke penyumbatan dan tidak seragamnya distribusi pori-udara. Pengujian yang dilakukan adalah GTM test dan *v-funnel* at $T_{5minutes}$.

Berikut adalah metode pengujian untuk menentukan tingkatan beton *self compacting concrete* adalah yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan EFNARC (2015).

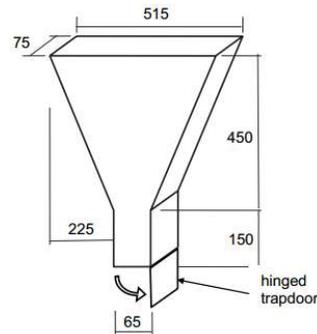
- a. Uji *slump flow* dan T500
Slump flow merupakan pengujian untuk mengetahui nilai *flowability* dan laju aliran beton SCC tanpa adanya penghalang. Sedangkan T500 ialah waktu yang dibutuhkan untuk menentukan kecepatan aliran. Alat yang digunakan terbuat dari pelat datar (Gambar 2.5). Saat melakukan pengujian permukaan pelat harus rata, halus dan tidak menyerap dengan ketebalan minimum 2 mm dan permukaan tidak berkarat.



Gambar 2.5 Alat uji *slump flow* (EFNARC, 2005)

b. Uji *V-Funnel*

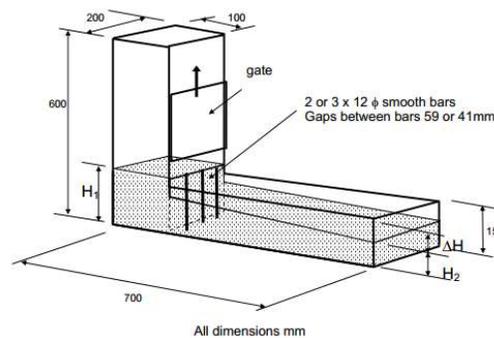
Pengujian *v-funnel* untuk menentukan viskositas dan kemampuan pengisian dari beton *self compacting concrete*. Alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.6 dengan bentuk corong seperti huruf V. Corong terbuat dari logam, permukaan harus halus dan tidak mudah berkarat.



Gambar 2.6 Alat uji *v-funnel* (EFNARC, 2005)

c. Uji *L-Box*

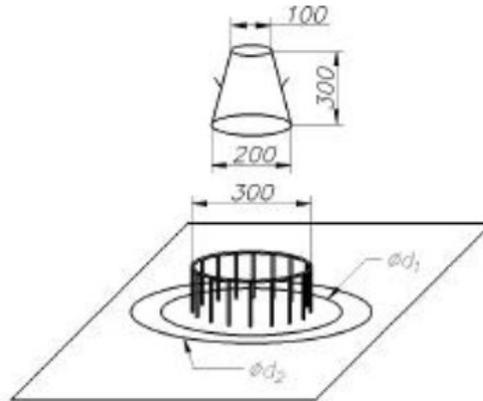
Pengujian *l-box* untuk mengetahui kemampuan lewat beton SCC mengalir ke bagian horizontal melalui bukaan dengan tulangan penghalang (Gambar 2.7). *L-box* harus dari bahan yang kaku, permukaan halus dan rata serta tidak berkarat.



Gambar 2.7 Alat uji *l-box* (EFNARC, 2005)

d. Uji *J-Ring*

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kemampuan lewat dari beton. alat yang digunakan terdiri dari cincin baja terbuka (Gambar 2.8). Setelah dilakukan pengujian, perbedaan tinggi antara beton didalam dan diluar di ukur dimana itu merupakan tingkat kemampuan beton melewati jeruji.



Gambar 2.8 Alat uji *j-ring* (EFNARC, 2002)

Adapun spesifikasi yang telah ditetapkan terhadap hasil uji beton segar *self compacting concrete* dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Kriteria beton *self compacting concrete* (EFNARC, 2002 dan EFNARC, 2005)

Pengujian	Batas
Slump Flow (SF1)	520 mm – 700 mm
Slump Flow (SF2)	640 mm – 800 mm
Slump Flow (SF3)	740 mm – 900 mm
T50cm	2 – 5 detik
V-Funnel (VF1)	≤ 10 detik
V-Funnel (VF2)	7 – 27 detik
L-Box (H2/H1)	$\geq 0,75$
J-Ring	0 – 10 mm

2.2.4. Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) merupakan bahan-bahan yang dicampurkan kedalam adukan beton segar untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan. Sifat-sifat tersebut antara lain sebagai berikut ini.

- a. Mengatur waktu pengikatan beton segar
- b. Mencegah terjadinya *bleeding* dan segregasi

- c. Mengurangi penggunaan semen
- d. Memperbaiki kelecakan beton segar
- e. Mengatur faktor air semen
- f. Meningkatkan sifat kedap air pada beton keras
- g. Meningkatkan kuat desak beton keras
- h. Meningkatkan sifat tahan lama pada beton keras termasuk tahan terhadap zat-zat kimia, tahan terhadap gesekan dan lain-lain.

Pembagian bahan tambah menurut fungsinya adalah sebagai berikut ini.

- a. Tipe A: *water reducing admixture*
Merupakan bahan tambah untuk mengurangi air sehingga faktor air semen menjadi rendah dan dapat meningkatkan kekuatan beton.
- b. Tipe B: *retarding admixture*
Merupakan bahan tambah untuk memperlambat proses pengerasan adukan beton
- c. Tipe C: *accelerating admixture*
Merupakan bahan tambah untuk mempercepat proses pengerasan adukan beton
- d. Tipe D: *water reducing and retarding admixture*
Merupakan bahan tambah untuk mengurangi penggunaan air dan memperlambat proses pengikatan dan pengerasan adukan beton
- e. Tipe E: *water reducing and accelerating admixture*
Merupakan bahan tambah untuk mengurangi penggunaan air dan mempercepat proses pengikatan dan pengerasan adukan beton
- f. Tipe F: *water reducing, high range admixture*
Merupakan bahan tambah untuk menghasilkan adukan dengan konsistensi 12% atau lebih.
- g. Tipe G: *water reducing*
Merupakan bahan tambah untuk mengurangi air, menghasilkan adukan dengan konsistensi 12% atau lebih dan menghambat pengikatan beton.

Butiran *admixture* yang halus akan menambah penggunaan air sehingga tidak terjadi *bleeding* dan memiliki sifat kelecakan yang baik. Karena membutuhkan air yang banyak maka nilai faktor air semennya menjadi naik sehingga kuat tekan beton menurun. Butiran-butiran pada bahan tambah ini juga

dapat mengganggu proses pengikatan beton. Jadi sebelum menggunakan bahan tambah harus diperhatikan terlebih dahulu agar tidak merugikan proses pembuatan beton.

2.2.5. Abu Sekam Padi

Abu sekam padi kaya akan kandungan silika, dapat diproduksi dari sekam padi menggunakan teknik pembakaran yang tepat. Dari proses pembakaran sekam padi tersebut dapat digunakan sebagai bahan tambah pada beton. Kualitas dari abu sekam padi sendiri tergantung dari proses penggilingan hingga durasi pembakarannya. Partikel RHA (*Rice Husk Ash*) halus yang digunakan menghasilkan kekuatan yang baik dan porositas rendah jika dibandingkan dengan partikel RHA kasar. Abu sekam padi bersifat mengikat sehingga terjadi peningkatan penyerapan air saat pengadukan. Abu sekam padi juga memiliki kemampuan mengisi yang baik. Sifat keras dari setiap beton meningkat dengan meningkatnya persentase abu sekam padi karena sifatnya *microfilling* dan *pozzolanic* yang memperbaiki struktur mikro dan struktur pori dari beton. Berat satuan dan kuat tekan dari SCC menurun dengan meningkatnya kandungan abu sekam padi. Abu sekam padi sebagai agregat halus membutuhkan air dalam jumlah yang besar dan berat satuan dari beton memadat sendiri menurun dengan meningkatnya nilai abu sekam padi (Makul, 2017).

Komponen utama abu sekam padi disebutkan oleh Sensale dkk. (2008) (dalam Makul 2017) terdiri dari 80% silikon dioksida (SiO_2). Sebagiannya lagi terdiri dari aluminium oksida (Al_2O_3), besi trioksida (Fe_2O_3), mangan oksida (MnO), magnesium oksida (MgO), kalsium oksida (CaO), natrium oksida (Na_2O), kalium oksida (K_2O), sulfur trioksida (SO_3), fosfor pentaoksida (P_2O_5), dan Kehilangan Pengapian (LOI). Komposisi tersebut tergantung pada suhu dan durasi saat pembakaran abu sekam padi.

2.2.6. Kuat Tekan Beton

Mulyono (2004) mengatakan bahwa kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang rendah sehingga hal tersebut menyebabkan beton mudah retak. Untuk mengetahui kekuatan tekan beton dapat di uji menggunakan

alat uji tekan dengan prosedur uji BSN (2011) untuk benda uji berbentuk silinder tentang cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder, dimana perhitungan kuat tekan dinyatakan dalam MPa atau N/mm².

$$\text{kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan:

P = gaya tekan aksial (N), dan

A = luas penampang melintang benda uji (mm²).

Tjokrodijuljo (1996) menyebutkan bahwa ada lima faktor yang sangat mempengaruhi nilai kuat tekan beton, yaitu sebagai berikut.

a. Faktor air semen (FAS)

FAS atau *water cement ratio* merupakan perbandingan antar berat air dan berat semen.

$$FAS = \frac{\text{berat air}}{\text{berat semen}} \dots\dots\dots (2.14)$$

Nilai faktor air semen menentukan kuat tekan pada beton. semakin tinggi nilai fas maka nilai kuat tekan beton akan semakin rendah. Duff dan Abrams (1919) dalam Mulyono (2004) menyebutkan bahwa jika faktor air semen semakin besar maka kuat tekan akan menurun pada beton silinder umur 28 hari.

b. Umur beton

Semakin bertambah umur beton maka semakin tinggi pula kuat tekannya. Hal ini juga dipengaruhi oleh fas dan suhu perawatan. Semakin tinggi fas, semakin lambat kenaikan kuat tekannya. Semakin tinggi suhu perawatan, semakin cepat kenaikan kuat tekannya.

c. Jenis semen

Seperti yang telah dijelaskan diatas, semen terdiri dari berbagai jenis. Dari jenis-jenis tersebut mempunyai pengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Tipe semen *Portland* komposit akan mencapai kuat tekan 100% pada umur 90 hari

d. Jumlah semen

Kandungan semen sangat berpengaruh terhadap kuat tekan beton, jika jumlah semen sangatlah sedikit maka jumlah air juga sedikit sehingga adukan beton sulit dipadatkan sehingga kuat tekan beton rendah. Begitu juga jika jumlah

semen berlebihan maka jumlah air juga berlebihan sehingga beton mengandung banyak pori sehingga mengakibatkan kuat tekan beton rendah.

e. Sifat agregat

Kekasaran permukaan dan ukuran maksimum merupakan sifat yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Dengan permukaan yang halus pada kerikil dan kasar ada batu pecah berpengaruh pada lekatan dan besar tegangan saat retak-retak beton mulai terbentuk. Begitu juga dengan pemakaian ukuran butir agregat maksimum lebih besar memerlukan jumlah pasta lebih sedikit untuk mengisi rongga-rongga antar butirnya, sehingga membuat kuat tekanan beton lebih tinggi dikarenakan pori-pori beton yang sedikit.