

2. STUDI LITERATUR

2.1. Sejarah Ultra High Performance Concrete

Penelitian *Ultra High Performance Concrete* (UHPC) pertama kali dilaksanakan pada tahun 1985. Penelitian dari UHPC tersebut diharapkan dapat menjadi suatu teknologi beton yang lebih berkembang dan dapat diimplementasikan dalam pekerjaan konstruksi. Contoh pemanfaatannya dapat berupa plat untuk jembatan, perawatan dari jembatan beton yang mengalami kerusakan sebagai pelapis dan plat lantai pabrik industri (Buitelaar, 2004). Kemudian pada awal tahun 1990, muncul teknologi beton UHPC yang baru dengan menggunakan bahan material yang halus sehingga dapat mengisi celah-celah yang kecil dan mencegah retakan yang terjadi pada saat diberi beban. Teknologi ini memakai ukuran material yang diberi batasan ukuran yaitu harus lebih kecil dari 1 mm dengan campuran material mineral inert yang reaktif yang diberi nama sebagai "*Reactive Powder Concretes* (RPC)" (Pierre & Marcel, 1995).

UHPC adalah teknologi beton yang baru berkembang dan dipakai secara luas pada tahun 1990 di Prancis. UHPC mempunyai berbagai karakteristik yang menguntungkan dibanding beton biasa seperti *workability* yang sangat tinggi, kekuatan yang tinggi pada *fresh concrete* atau beton segar, kekuatan tekan beton yang tinggi pada beton yang sudah mengeras dan berumur, dan daya tahan beton yang sangat besar. Hingga sekarang, belum ada deskripsi yang universal untuk teknologi beton dari UHPC ini. Banyak yang mendeskripsikan UHPC sebagai beton yang menggunakan gradasi material yang optimal, w/c yang kurang dari 0.25, dan mempunyai tulangan yang berbentuk serat dengan panjang 8-60 mm. Karakteristik dari UHPC mempunyai kapasitas kekuatan tekan yang tinggi berkisar antara 120-200 MPa. UHPC ini memiliki struktur yang sangat padat sehingga dapat mengurangi cairan yang dari luar untuk masuk dan memiliki daya tahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton konvensional secara umum (Graybeal, 2014).

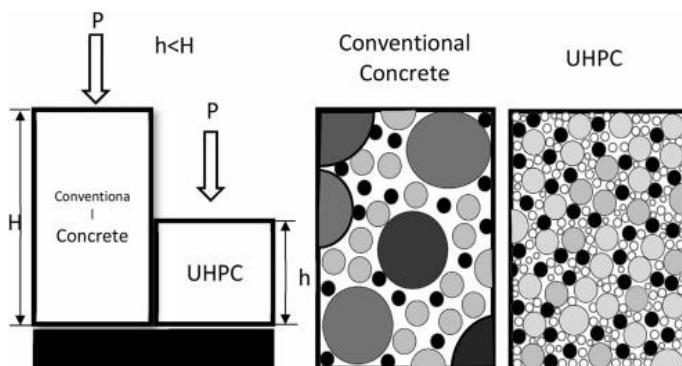
Pada awal berkembangnya UHPC, perbedaan dari UHPC dengan beton pada umumnya dapat dikategorikan menjadi 4 bagian. Perbedaan pertama terletak pada *water porosity*, dimana teknologi beton biasa akan menggunakan banyak air untuk mencampurkan adonan beton sehingga memiliki *water porosity* yang tinggi. Sedangkan pada teknologi beton UHPC dilakukan pengurangan pemakaian jumlah air dalam campuran menggunakan *superplasticizer* yang dapat mengurangi pemakaian jumlah air sehingga beton UHPC dapat memiliki *water porosity* yang lebih rendah. Perbedaan kedua terletak pada *oxygen permeability*, dimana teknologi beton biasa memiliki *oxygen permeability* yang besar karena ukuran material/agregat yang besar jika dibandingkan dengan teknologi beton UHPC yang menggunakan ukuran material/agregat yang lebih kecil sehingga dapat memiliki *oxygen permeability* yang lebih kecil. Perbedaan ketiga terletak pada kecepatan faktor difusi terhadap ion klorida, dimana teknologi beton *original concrete* memiliki angka yang besar

dikarenakan ukuran rata-rata dari partikel/agregat yang digunakan besar dan berat jika dibandingkan dengan teknologi beton UHPC. Karena hal inilah teknologi beton *original concrete* akan bisa bereaksi dengan lebih cepat terhadap ion klorida. Perbedaan keempat terletak pada *portlandite content*, dimana teknologi beton UHPC menggunakan jumlah semen kira-kira 3 kali lipat lebih banyak dibandingkan dengan beton biasa (Schmidt & Fehling, 2005).

2.2. Ultra High Performance Concrete

Teknologi beton UHPC memiliki campuran 3 sifat karakteristik dari jenis campuran beton yang berbeda. Pertama, UHPC memiliki sifat karakteristik dari *Self Compacting Concrete* (SCC) dimana UHPC memiliki *workability* yang tinggi dan tidak terjadi segregasi dari adonan beton. Kedua, UHPC memiliki sifat karakteristik dari *High Performance Concrete* (HPC) dimana kapasitas kekuatan dari beton sangat tinggi dan dapat dipakai dalam jangka waktu yang panjang. Ketiga, UHPC juga memiliki sifat karakteristik dari *Fiber Reinforced Concrete* (FRC) dimana beton diberi *steel fiber*/tulangan untuk meningkatkan daktilitas dan kekuatan dari beton tersebut. Tiga karakteristik beton yang berbeda ini digabungkan menjadi *Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete* (UHPFRC) yang biasa disebut dengan UHPC (Akhnoukh & Buckhalter, 2021).

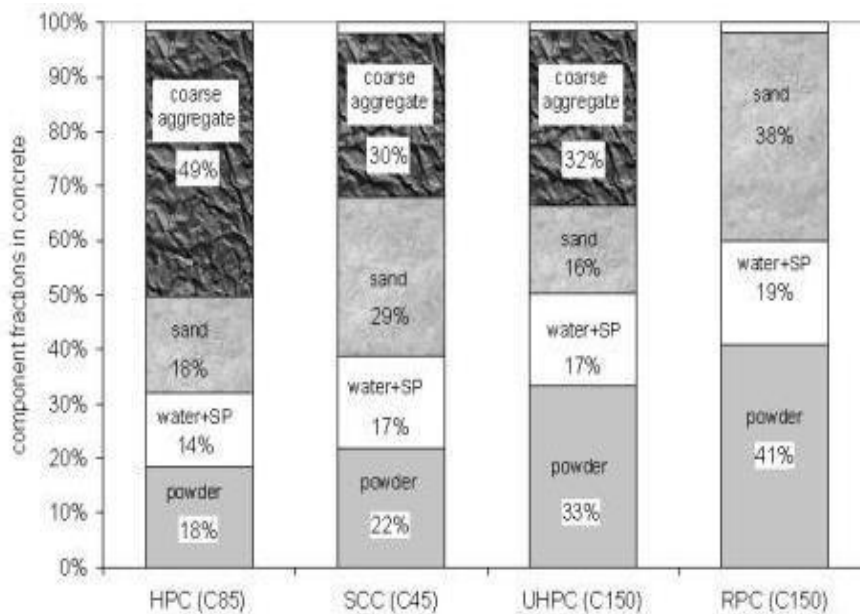
UHPC mempunyai berbagai sifat karakteristik yang unggul yaitu kapasitas kekuatan tekan, daktilitas, dan *sustainable*. UHPC terdiri dari bahan material pasir yang berbutir halus, *Ordinary Portland Cement* (OPC), *silica fume*, air, *superplasticizer*, dan *steel fiber* (Nematollahi B et al., 2012). Gambar 2.1 menunjukkan perbedaan material pengisi dari UHPC dan beton konvensional. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada beton UHPC, material berupa agregat kasar disubstitusikan dengan agregat yang lebih halus sehingga dapat mengurangi volume rongga pada beton. Agregat halus yang digunakan dapat didistribusikan dengan lebih baik pada ruangan yang tidak bisa dilewati agregat kasar (Wong & Albert, 2007). Hal tersebut dapat menambah kapasitas kekuatan dan meningkatkan performa UHPC (Mishra & Singh, 2019).



Gambar 2.1 Perbedaan material pengisi dari beton biasa dan beton UHPC (Mishra & Singh, 2019).

Dalam perkembangannya, ditemukan bahwa *fly ash* dengan ukuran partikel rata-rata 4.48 μm dapat menggantikan pemakaian dari semen sebagai bahan *pozzolan* sebesar 20% pada campuran UHPC. Penelitian menggunakan *fly ash* tersebut menghasilkan *workability* yang cukup tinggi, namun penambahan *fly ash* menurunkan kekuatan tekan, dan karakteristik UHPC belum tercapai sepenuhnya (Koh et al., 2018).

UHPC dengan teknologi yang lain dapat memiliki perbedaan komposisi material penyusun beton dan persentase dari komposisi material penyusun beton. Material penyusun dari *High performance concrete* yang dominan adalah pasir kuarsa. Sedangkan material penyusun dari *Self-compacting concrete* yang dominan adalah pasir kuarsa dan pasir. Ada pula material penyusun dari *Ultra high performance concrete* yang dominan adalah pasir kuarsa dan material bubuk/halus, dan material penyusun dari *Reactive powder concrete* yang dominan adalah material bubuk/halus (Schmidt & Fehling, 2005). Gambar 2.2 memberikan penjelasan yang lebih detail mengenai perbedaan komposisi dari berbagai teknologi beton.



Gambar 2.2 Perbedaan komposisi material dari berbagai teknologi beton (Schmidt & Fehling, 2005)

2.3. Material Penyusun Ultra High Performance Concrete

Material yang digunakan dalam membuat UHPC pada umumnya berupa pasir yang berbutir halus, OPC, *silica fume*, air, *superplasticizer*, dan *steel fiber*. Ada pula bahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian semen yaitu *fly ash* sebagai bahan *pozzolan*.

2.3.1. Pasir

Pasir yang digunakan pada UHPC berupa pasir yang memiliki butiran yang halus. Butiran pasir yang halus ini mengurangi porositas dari adonan beton UHPC sehingga menjadi faktor penting dalam meningkatkan kekuatan UHPC dan menjaga kestabilan beton dari beban yang lebih besar dari beton konvensional. Butiran yang halus tersebut juga dapat membantu beton UHPC untuk menahan keretakan yang disebabkan oleh beban yang berlebihan. Ukuran butiran pasir yang digunakan pada beton UHPC berkisar antara 300 μm hingga 600 μm (Tayeh et al., 2019). Pasir yang dapat digunakan sebagai agregat dalam UHPC berupa pasir silika, pasir kuarsa, atau pasir alami dari alam (Mishra & Singh, 2019).

2.3.2. Ordinary Portland Cement (OPC)

OPC berperan penting dalam pembuatan beton sebagai bahan pengikat dari agregat. Beton terbentuk dari agregat yang terikat pada pasta OPC sebagai lem dan kemudian mengeras sehingga kualitas OPC sangat berpengaruh pada kualitas beton (Nugraha & Antoni, 2004). Pada proses pembuatan UHPC, kandungan OPC yang digunakan berkisar antara 700-1100 kg/m^3 . Kandungan dalam campuran ini hampir 3 kali lebih banyak dibandingkan dengan beton pada umumnya. Penggunaan OPC dalam jumlah yang banyak tersebut bertujuan untuk meningkatkan kekuatan lekatan antara agregat dan kekuatan tekan secara keseluruhannya.

2.3.3. Abu Terbang/*Fly Ash*

Fly ash (abu terbang) adalah material yang berasal dari sisa pembakaran batu bara yang tidak terpakai. Pembakaran batu bara kebanyakan digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap. PLTU (pembangkit listrik tenaga uap), pabrik kertas maupun pabrik kimia menghasilkan abu terbang ini. Sekitar 75 - 90% abu yang keluar dari cerobong asap dapat ditangkap oleh sistem elektrostatis precipitator. Sisa yang lain didapat di dasar tungku (disebut *bottom ash*). Mutu *fly ash* tergantung pada kesempurnaan proses pembakarannya. Material ini mempunyai sifat pozzolanik (Nugraha & Antoni, 2004).

Sebagian besar komposisi kimia dari abu terbang tergantung tipe batu bara. Menurut ASTM C618-86, terdapat dua jenis abu terbang, kelas F dan kelas C. Kelas F dihasilkan dari pembakaran batu bara jenis antrasit dan bituminous, sedangkan kelas C dari batu bara jenis *lignite* dan *subbituminous* dan juga memiliki kadar kapur yang tinggi (Nugraha & Antoni, 2004).

Pada percobaan penelitian dari Bahedh & Jaafar didapatkan hasil penggantian sebagian semen dengan *fly ash* secara bertahap dalam *range* 10-30% dengan interval 10% dapat meningkatkan kekuatan tekan dari beton UHPC secara bertahap. Penambahan *fly ash* pada setiap interval meningkatkan kekuatan tekan dari UHPC sebanyak kurang lebih 10% dan meningkatkan

workability dari campuran tersebut. Peningkatan kekuatan juga berpengaruh pada kekuatan tekan dari campuran tersebut dalam jangka panjang (Bahedh & Jaafar, 2018).

2.3.4. Steel Fiber

Steel fiber adalah tulangan beton yang berukuran kecil dengan diameter 0.75-0.8 mm dan panjang 8-60 mm. *Steel fiber* ini digunakan pada campuran UHPC sebesar 0.5-5% dari volume agar dapat mengurangi sifat *brittle* dari UHPC dan mengurangi kerusakan retak yang menjalar (Giovani et al., 2012). Penggunaan *steel fiber* ini juga dapat menaikkan kapasitas tekan dari campuran UHPC (Nematollahi et al., 2012).

Penggunaan *steel fiber* yang tidak sempurna, seperti mengalami bengkok di ujung lebih bagus daripada *steel fiber* yang lurus. *Steel fiber* yang panjang memiliki performa lebih bagus dari *steel fiber* yang pendek. Sehingga pada penggunaannya, harus memperhatikan bentuk dan rasio volume yang sesuai dengan campuran yang akan dibuat. Namun penambahan *steel fiber* yang berlebih tidak akan bermanfaat karena dapat mengakibatkan *steel fiber* tersebut menggumpal (Ahmad et al., 2015).

2.3.5. Silica Fume

Silica fume, atau silika mikro, adalah limbah dari tungku produksi logam silikon dan paduan *ferrosilikon* (Li Z., 2011). *Silica fume* memiliki partikel berbentuk bulat yang berdiameter rata-rata 0.15 mm, dan sebagian besar kurang dari 1 mm (Kumar et al., 2014).

Penggunaan *silica fume* dengan kadar tinggi pada campuran UHPC dapat meningkatkan kekuatan tekan dengan sangat signifikan. Penggunaan *silica fume* dalam range 0-15% dengan interval 5% dapat meningkatkan kekuatan tekan dari UHPC secara eksponensial hingga 20% (Bajaber & Hakeem, 2021). Kelemahan dari pemakaian dari *silika fume* yaitu campuran beton UHPC akan membutuhkan air lebih yang disebabkan partikel dari *silica fume* sangat halus. Tetapi dengan penggunaan *superplasticizer*, dapat mempertahankan kadar air dalam campuran tetap sama (Kumar et al., 2014)