

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian beton ringan

Perkembangan dunia konstruksi di Indonesia ikut mendorong bertambahnya penggunaan beton sebagai material perkuatan struktur. Selain itu, teknologi beton selalu mengalami perkembangan yang lebih dinamis.

Berdasarkan beratnya, beton diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu *normal-weight concrete*, *light-weight concrete* dan *heavy-weight concrete*^[7]. Beton yang termasuk *normal-weight concrete* umumnya adalah beton dengan berat sekitar 2400 kg/m³, untuk *lightweight concrete* dengan berat kurang dari 1800 kg/m³, dan untuk *heavyweight concrete* dengan berat lebih besar dari 3200 kg/m³.

Aplikasi penggunaan *normal weight concrete* biasa sebagai bahan bangunan rumah atau gedung sedangkan *Light-weight concrete* umumnya dipergunakan untuk dinding ataupun atap bangunan rumah maupun gedung, Dan *heavy-weight concrete* biasanya dipergunakan untuk struktur bangunan tinggi, jembatan maupun *flyover*.

Salah satu varian *Light-weight concrete* adalah beton teraerasi (*Aerated Concrete*). Pada beton ini terdapat pori – pori layaknya batu apung sehingga beton akan memiliki densitas yang rendah tetapi tetap memiliki kekuatan tekan yang relatif tinggi. Pada proses pembuatannya, beton ringan teraerasi ini harus melewati proses pemberian tekanan uap panas / steam selama 12 jam dengan temperature mencapai 374°F atau 190°C dan tekanan mencapai 12 bar / 1,2 MPa^[1].

Light-weight concrete merupakan salah satu alternatif material pracetak untuk bangunan residensial, *highrise* atau *lowrise building*, baik sebagai pengganti batu bata, dinding partisi, pelat lantai ataupun atap (pada pelat beton ringan dapat didesain dengan atau tanpa tulangan). Hal ini karena sifat daripada beton ringan yang mudah dicetak ataupun dipotong menjadi ukuran – ukuran yang diinginkan menggunakan gergaji kayu / gergaji mesin serta kemudahan pada saat instalasi karena beratnya yang ringan, kemudian umur beton ringan yang lebih cepat matang dibandingkan dengan

beton biasa menjadikannya memiliki nilai jual yang lebih. Kemudian limbah yang dihasilkan lebih sedikit bila dibandingkan dengan penggunaan beton biasa^[2].

2.2 Komposisi beton ringan

Komposisi beton ringan teraerasi (*Aerated concrete*) yang akan dibuat terdiri dari *Portland cement*, pasir silika, kapur / *limestone*, air dan *Aerated agent*, serta *admixture* sebagai zat aditif.

2.2.1 Portland Cement

Menurut SNI 0013-1981, *Portland cement* merupakan bahan perekat dalam campuran beton hasil penghalusan *klinker* yang senyawa utamanya terdiri dari material *calcareous* seperti *limestone* atau kapur dan material *argillaceous*, seperti besi oksida, serta silika dan alumina yang berupa lempung. Proses pencampuran dilakukan di dalam tempat pembakaran dengan temperature sekitar 1300-1450°C sampai membentuk *klinker*. Setelah didinginkan ditambah dengan sejumlah material gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan bahan inert pada saat penggilingan terakhirnya. Pemberian gipsum 3-5% bertujuan untuk mengendalikan waktu ikat semen agar tidak berlangsung lama^[5].

Akibat pemanasan oksida – oksida utama yang terdapat pada semen portland akan membentuk senyawa gabungan yang memberi sifat – sifat tertentu pada semen. Senyawa gabungan tersebut, antara lain:

- a. Trikalsium Silikat ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat C_3S
- b. Dikalsium Silikat ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang disingkat C_2S
- c. Trikalsium Alumina ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) yang disingkat C_3A
- d. Tetrakalsium Alumina Ferrit ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) yang disingkat C_4AF

Senyawa yang dibutuhkan pada semen adalah C_3S dan C_2S karena bersifat perekat dan menyumbangkan kekuatan semen jika bersenyawa dengan air. Senyawa C_3S lebih cepat bereaksi dengan air dibandingkan dengan C_2S , hal ini menyebabkan semen yang mengandung C_3S tinggi akan mengeras lebih cepat dan berpengaruh besar pada kekuatan awal semen. Sebaliknya semen yang mengandung C_2S tinggi, serta perawatan baik, akan menghasilkan kekuatan akhir semen yang lebih besar^[5].

Senyawa C_3A dan C_4AF yang terbentuk tidak mempunyai sifat semen dan dapat mengurangi daya ikat semen, selain itu dalam jumlah besar dapat memperlambat proses pengerasan semen. Senyawa C_3A bila bereaksi dengan air akan menimbulkan panas hidrasi yang tinggi. Disamping itu, jika C_3A bereaksi dengan garam – garam sulfat akan membentuk senyawa mono atau trisulfoaluminat, dimana dalam keadaan basah volumenya akan mengembang, sehingga semen yang telah mengeras menjadi rusak, sedangkan senyawa C_4AF hanya berpengaruh terhadap warna semen, makin tinggi kadarnya makin tua warna semen yang dihasilkan^[5].

Kekuatan semen merupakan hasil dari proses hidrasi. Proses kimiawi ini berupa rekristalisasi dalam bentuk *interlocking-crystals* sehingga membentuk gel semen yang akan mempunyai kekuatan tekan tinggi apabila mengeras. Kekuatan awal semen portland semakin tinggi apabila semakin banyak persentase C_3S . Jika perawatan kelembaban terus berlangsung, kekuatan akhirnya akan lebih besar apabila persentase C_2S semakin besar. C_3A mempunyai kontribusi terhadap kekuatan selama beberapa hari sesudah pengecoran beton karena bahan ini yang lebih dulu mengalami hidrasi.

Komposisi kimia karakteristik yang terkandung dalam semen menurut ASTM C150 dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 komposisi kimia dan karakteristik beberapa tipe semen^[5]

Cement	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CSH ₂	Fineness (m ² /kg)	Compressive Strength (1 hr, Mpa)	Heat of hydration (7hr, J/kg)
Type I	50	25	12	8	5	350	7 (1000)	330
Type II	45	30	7	12	5	350	6 (900)	250
Type III	60	15	10	8	5	450	14 (2000)	500
Type IV	25	50	5	12	4	300	3 (450)	210
Type V	40	40	4	10	4	350	6 (900)	250

Sumber:

Jika semen Portland dicampur dengan air, maka komponen kapur dilepas dari senyawanya. Banyaknya kapur yang dilepaskan ini sekitar 20% dari berat semen. Kondisi terburuknya adalah mungkin terjadi pemisahan struktur yang disebabkan oleh lepasnya kapur dari semen. Situasi ini harus dicegah dengan menambahkan pada semen suatu mineral silika seperti pozolan. Mineral yang ditambahkan ini bereaksi dengan kapur bila ada uap air membentuk bahan yang kuat, yaitu kalsium silikat^[5].

2.2.2 Pasir silika

Pasir silika yang digunakan dalam campuran beton ringan teraerasi memiliki densitas 2,65 g/cm³ mengandung senyawa utama silikon oksida (SiO₂) dan senyawa lainnya seperti titanium manganese silikon (TiMnSiO₂), tobermorite (xCaO.ySiO₂.zH₂O) dan sekaninaite (Fe₂Al₄Si₅O₁₈)^[6], Pasir silika yang digunakan dalam campuran beton ringan diayak dengan menggunakan saringan No.16, sebelum digunakan pasir tersebut di oven untuk menghilangkan kadar airnya.

2.2.3 Kapur / *Limestone*

Kapur yang digunakan dalam campuran beton ringan berasal dari gunung kapur Ciampea Bogor. Setelah melalui proses pembakaran kapur ini dibentuk dalam berbagai ukuran butiran yang diinginkan. Pada kapur ini terkandung senyawa portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), calcium silicate hydrate ($\text{Ca}_1,5\text{SiO}_3,5 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan calcium ruthenium oxide ($\text{CaRuO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)^[6]. kapur yang akan digunakan pada campuran beton ringan terlebih dahulu dihaluskan, kemudian diayak dengan saringan No-200.

2.2.4 Air

Air amat diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen. Pada umumnya air minum dapat dipakai untuk campuran beton. Air yang mengandung senyawa – senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula atau bahan – bahan kimia lain, bila dipakai untuk campuran beton akan dapat menurunkan kekuatannya dan dapat juga mengubah sifat – sifat semen.

Karena karakteristik pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total material yang menentukan, melainkan hanya perbandingan antara air dan semen pada campuran yang menentukan. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya beton yang dihasilkan akan kurang kekuatannya.

2.2.5 Aerated agent

Aerated Agent yang digunakan dalam campuran beton ringan adalah larutan H_2O_2 . larutan H_2O_2 akan bereaksi dengan CaO yang terdapat pada semen portland menghasilkan gas. Jika digunakan larutan H_2O_2 gas yang dihasilkan adalah Oksigen (O_2)

2.2.6 Admixture

Bahan pencampur adalah material berbentuk serbuk atau cairan yang ditambahkan ke dalam beton untuk memberikan efek – efek tertentu yang tidak akan muncul bila menggunakan campuran beton biasa, seperti kemungkinan pelaksanaan (*Workability*), kekuatan (*Strength*), tak dapat dilalui (*imperviousness*), titik beku (*freezing point*), dan perawatan (*Curing*). Jenis dari bahan pencampur (*admixture*), antara lain:

- Type A, *Water Reducer admixture* yang digunakan untuk mengurangi kuantitas dari mencampur air yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan nilai slump yang ditentukan.
- Type B, *Retarder admixture* yang digunakan untuk memperlambat reaksi hidrasi pada beton.
- Type C, *Accelerator admixture* yang digunakan untuk mempercepat reaksi hidrasi atau proses pengurangan air dalam beton untuk meningkatkan kekuatan beton.
- Type D, *Water Reducer* dan *Retarder admixture* yang digunakan untuk mengurangi kuantitas dari mencampur air yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan nilai slump yang ditentukan dan memperlambat reaksi hidrasi pada beton.
- Type E, *Water Reducer* dan *Retarder admixture* yang digunakan untuk mengurangi kuantitas dari mencampur air yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan nilai slump yang ditentukan dan mempercepat reaksi hidrasi atau proses pengurangan air dalam beton untuk meningkatkan kekuatan beton.
- Type F, *High Range Water Reducer admixture* yang digunakan untuk mengurangi kuantitas dari mencampur air yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan nilai *slump* 12 persen atau lebih besar.

- Type G, *High Range Water Reducer* dan *Retarder admixture* yang digunakan untuk mengurangi kuantitas dari mencampur air yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan nilai *slump* 12 persen atau lebih besar dan memperlambat reaksi hidrasi pada beton.

Adapun bahan tambah atau *admixture* yang akan digunakan dalam penelitian adalah SikamentNN yang merupakan produk dari PT Sika Indonesia, dan SikamentNN ini termasuk *admixture* type F sesuai dengan A.S.T.M C 494-92 yang memiliki keuntungan jika digunakan dalam pembuatan beton, antara lain:

- Sebagai *Superplasticizer*:
 - *Workability* sangat meningkat, meningkatkan *placeability* di komponen yang langsing dengan penguatan yang memenuhi.
 - Mengurangi jumlah getaran yang diperlukan. normal di-set Tanpa keterlambatan.
 - Mengurangi resiko dari pemisahan (*Segregasi*) secara signifikan.
- Sebagai *Water Reducer*:
 - Mengurangi air sampai 20% dan akan menghasilkan 40% peningkatan *Compressive Strength* pada hari ke 28.
 - Kekuatan tinggi dalam 12 jam.

Adapun dosis yang disyaratkan untuk digunakan dalam pembuatan campuran beton adalah berkisar antara 0,6% - 1,5 % dari berat semen.

2.3 Jenis – jenis beton ringan

Didalam bidang ilmu teknologi beton dikenal adanya istilah beton ringan (*light weight concrete*). Pembuatan beton ringan dengan pemakaian agregat ringan dimulai sejak munculnya agregat ringan yang dibuat dari proses pembakaran shale dan clays pada tahun 1917 oleh S.J. Hayde^[8]. Pemakaian beton ringan pertama kali diperkenalkan di Amerika pada Perang Dunia I (1917) oleh perusahaan Emergency Fleet Building, dengan memakai aggregate expanded shale, dan dipakai untuk konstruksi kapal serta perahu. Beton ringan bertulang tersebut mempunyai kekuatan 34,47 Mpa dan berat isi 1760 kg/m³.

Sejak tahun 1950-an beton ringan telah dipakai pada struktur gedung bertingkat, lantai kendaraan pada jembatan dan beton precast, dan lain - lain. Ada beberapa cara untuk memproduksi beton ringan tetapi itu semuanya hanya tergantung pada adanya rongga udara dalam agregat, atau pembuatan rongga udara dalam beton, diantaranya ada beberapa cara pembuatannya, yaitu dapat dilakukan dengan 3 cara pembuatan^[9] yaitu:

1. Beton ringan dengan bahan batuan yang berongga atau agregat ringan buatan yang digunakan juga sebagai pengganti agregat kasar/kerikil.

Beton ini memakai agregat ringan yang mempunyai berat jenis yang rendah (berkisar $1400 \text{ kg/m}^3 - 2000 \text{ kg/m}^3$)^[10] akibat agregat kasar yang bersifat porous. Agregat yang dipakai berasal dari alam, proses pembakaran, hasil produksi industri serta bahan – bahan organik.

Campuran beton yang menggunakan agregat ringan butiran halus maupun kasar menghasilkan beton yang dikenal dengan nama “*All-Light weight Concrete*”. Untuk memperoleh kekuatan beton yang lebih baik, agregat halus dapat diganti dengan pasir alam dan dikenal dengan nama “*Sanded Lightweight Concrete*”. Selain itu pemakaian pasir alam dengan gradasi yang baik dapat memperbaiki *workability* adukan beton ringan. Tetapi untuk menjaga kepadatan beton tetap rendah, pemakaian pasir alam dibatasi 15% - 30% dari volume agregat.

Beton ringan dapat dibagi dalam tiga golongan berdasarkan tingkat kepadatan dan kekuatan beton yang dihasilkan dan berdasarkan jenis agregat ringan yang dipakai, beton ringan dapat diklasifikasikan menjadi tiga^[10] yaitu:

a. Beton insulasi (insulating concrete)

Beton ringan dengan berat (density) antara $300 \text{ kg/m}^3 - 800 \text{ kg/m}^3$ ($18,53 - 50 \text{ lb/ft}^3$) dan berkekuatan tekan berkisar $0,69 - 6,89 \text{ Mpa}$ ($100 - 1000 \text{ psi}$), yang biasanya dipakai sebagai beton penahan panas (insulasi panas) disebut juga low density concrete. Beton ini banyak digunakan untuk keperluan insulasi, karena mempunyai kemampuan konduktivitas panas yang rendah, serta untuk peredam suara. Jenis agregat yang biasa digunakan adalah Perlite dan Vermiculite.

b. Beton ringan dengan kekuatan sedang (Moderate Strength Concrete)

Beton ringan dengan berat (density) antara $800 \text{ kg/m}^3 - 1440 \text{ kg/m}^3$ ($50 - 90 \text{ lb/ft}^3$), yang biasanya dipakai sebagai beton struktur ringan atau sebagai pengisi (fill concrete). Beton ini terbuat dari agregat ringan buatan seperti: terak (slag), abu terbang, lempung, batu sabak (slate), batu serpih (shale), dan agregat ringan alami, seperti pumice, skoria, dan tufa. Beton ini biasanya memiliki kekuatan tekan berkisar $6,89 - 17,24 \text{ Mpa}$ ($1000 - 2500 \text{ psi}$).

c. Beton Struktural (Structural Concrete)

Beton ringan dengan berat (density) antara $1440 \text{ kg/m}^3 - 1850 \text{ kg/m}^3$ ($90 - 115 \text{ lb/ft}^3$), yang dapat dipakai sebagai beton struktural jika bersifat mekanik (kuat tekan) dapat memenuhi syarat pada umur 28 hari mempunyai kuat tekan berkisar $> 17,24 \text{ Mpa}$ (2500 psi). Untuk mencapai kekuatan sebesar itu, beton ini dapat memakai agregat kasar seperti expanded shale, clays, slate, dan slag.

2. Beton ringan tanpa pasir (*No Fines Concrete*) non pasir

Dimana beton tidak menggunakan agregat halus (pasir) pada campuran pastinya atau sering disebut beton non pasir (*No Fines Concrete*) sehingga mempunyai sejumlah besar pori – pori.

Dengan berat isi berkisar $880 - 1200 \text{ kg/m}^3$ ($55 - 75 \text{ lb/ft}^3$). Kekuatan beton *no fines* berkisar $7 - 14 \text{ Mpa}$ ($1015 - 2030 \text{ psi}$), yang dipengaruhi oleh berat isi beton dan kadar semen. Pemakaian beton tipe ini sangat baik untuk kemampuan insulasi dari struktur, meskipun keberadaan rongga udara sangat banyak dan cenderung seragam dapat mengurangi kuat tekan agregat.

3. Beton ringan yang diperoleh dengan memasukkan udara dalam adukan atau mortar (beton aerasi/beton busa/gas).

Dengan demikian akan terjadi pori – pori udara berukuran $0,1 - 1 \text{ mm}$ dalam betonnya, dikenal sebagai beton teraerasi, beton berongga, beton busa atau beton gas. Memiliki berat isi $200 - 1440 \text{ kg/m}^3$ dan biasanya digunakan untuk keperluan insulasi serta beton tahan api.

Dengan menambahkan larutan hidrogen peroksida sebagai *Aerated Agent* volume campuran beton akan mengembang secara dramatis, hal ini membuat penggunaan material menjadi lebih ekonomis. Beton yang teraerasi ini kemudian diperkeras didalam cetakan dengan memberikan tekanan, proses ini dilakukan dengan memasukkan beton ke dalam *pressurized steam chamber (autoclave)*.

2.4 Proses pembuatan beton teraerasi

Dalam proses pembuatan beton ringan teraerasi (*aerated concrete*), semen portland dicampurkan dengan kapur, pasir silika, air dan agen pengaerasi (serbuk logam seperti Al, Zn, atau larutan H₂O₂) dan kemudian dituang kedalam cetakan. Reaksi antara agen pengaerasi, semen dan kapur akan menyebabkan munculnya buih – buih mikroskopik hydrogen (H₂) sehingga akan menghasilkan pori dan menaikkan volume beton yang dihasilkan^[11].

Reaksi yang terjadi:

- Jika agen pengaerasi digunakan H₂O₂:



Komposisi AAC yang telah ditentukan kemudian dicampurkan dan akan membentuk slurry. Slurry tersebut kemudian dituangkan kedalam cetakan logam yang besar. Reaksi yang terjadi antara agen pengaerasi dan komponen lainnya seperti semen dan kapur akan menyebabkan terjadinya pengembangan volume beton. Setelah beberapa jam, cetakan kemudian dibuka dan beton tersebut dipotong hingga dimensi tertentu. Setelah dilakukan pemotongan, beton teraerasi dimasukkan kedalam *autoclave* (sebuah vessel dimana beton teraerasi tersebut dicuring dengan mengontrol temperatur dan tekanan). Setelah diautoclaving, beton teraerasi tersebut dapat dipergunakan^[12].

2.5 Karakteristik beton teraerasi

Pada beton ringan teraerasi (*aerated concrete*) rongga – rongga (*void*) yang besar sengaja dibuat untuk mengurangi berat jenis (*density*) beton.

Ditinjau dari material penyusunnya, beton ringan teraerasi dapat dikategorikan sebagai *mortar* (campuran semen, pasir dan air), disebabkan beton ringan tidak menggunakan agregat kasar. Udara yang terperangkap didalam beton sebagai akibat dari reaksi kimia menghasilkan reduksi yang signifikan terhadap berat jenis (*density*)^[3]. Selain itu proporsi beton ringan dan metode *curing* juga mempengaruhi mikrostruktur dan sekaligus sifat fisik dan mekanis dari beton teraerasi.

2.5.1 Pori – Pori Beton Ringan

Proses pelepasan gas atau *foaming* pada beton teraerasi mempengaruhi mikrostrukturnya. Struktur material beton teraerasi dikarakterisasi dengan adanya matriks pori – pori mikro yang solid dan pori – pori makro. Pori – pori makro terbentuk karena adanya ekspansi massa yang disebabkan aerasi dan pori – pori mikro akan muncul di dinding diantara pori – pori makro^[13]. Pori – pori makro dapat dikarakterisasi dengan diameter lebih dari 60 μm ^[14].

2.5.2 Porositas dan Distribusi Ukuran Pori

Sifat beton teraerasi seperti *compression strength*, *permeability*, penyusutan (*shrinkage*) dan *creep* sangat berhubungan dengan porositas dan distribusi ukuran pori. Porositas dan distribusi ukuran pori beton teraerasi berbeda – beda tergantung komposisi, metode, maupun *aerated agent* yang digunakan. Porositas beton teraerasi yang lebih tinggi akan didapatkan sebagai akibat meningkatnya volume pori – pori makro^[13].

2.5.3 Berat Jenis

Sifat fisik beton teraerasi erat kaitannya dengan berat jenis (300 – 1800 kg/m^3). Ketika menentukan berat jenis, kondisi kelembaban perlu diperhatikan. Beton yang dikeluarkan dari *autoclave* akan 15 – 25 % lebih berat daripada yang dikeluarkan dari oven pengeringan^[15].

Untuk mendapatkan densitas yang diinginkan pada beton teraerasi, memvariasikan komposisi beton akan berpengaruh terhadap struktur pori, ukuran dan distribusi pori. Struktur dan bentuk beton teraerasi yang stabil sangat penting untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanis yang optimum^[16]. Selain itu, pori – pori harus terdistribusi secara merata dalam massa untuk mendapatkan densitas yang merata. Pengembangan pori – pori makro yang lebih besar akan mengurangi densitas secara signifikan^[17].

2.5.4 Kekuatan Tekan

Hal – hal yang berpengaruh terhadap kekuatan beton teraerasi adalah karakteristik bahan campuran yang dipergunakan, umur, ukuran, dan bentuk uji, kandungan air, metode pembentukan pori, arah pembebanan, dan metode *curing*. *Compressive strength* dari beton teraerasi dipengaruhi oleh struktur pori dari pori udara dan kondisi mekanis dinding pori. Pengurangan densitas dengan pembentukan pori – pori makro yang besar akan menyebabkan penurunan kekuatan yang signifikan^[15]. Biasanya, kekuatan tekan akan meningkat secara linier dengan densitas. Nilai kekuatan tekan untuk berbagai densitas dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Sifat beton teraerasi AAC^[14]

Dry Density	Compressive Strength (N/mm ²)	Static Modulus of Elasticity (kN/mm ²)	Thermal Conductivity (W/m°C)
400	1,3 – 2,8	0,18 – 1,17	0,07 – 0,11
500	2,0 – 4,4	1,24 – 1,84	0,08 – 0,13
600	2,8 – 6,3	1,76 – 2,64	0,11 – 0,17
700	3,9 – 8,5	2,42 – 3,58	0,13 – 0,21

Sumber:

Proses *autoclaving* meningkatkan kekuatan tekan secara signifikan, karena temperature dan tekanan yang tinggi akan menghasilkan bentuk *void* yang stabil. Kekuatan akhir yang diperoleh bergantung pada tekanan dan durasi *autoclaving*^[18].