

JURNAL TEKNIK SIPIL MACCA

Analisis Mikrostruktur pada Berbagai Mutu Beton

M. Afdal Prasetya Imran¹, Muh. Asrar Takdir², Hanafi Ashad³,
Toni Utina⁴, Mukti Maruddin⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia
Jl. Urip Sumoharjo Km 05 Panaikang, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90231
¹⁾afda.setya@gmail.com; ²⁾muhmmadasartakdir@gmail.com; ³⁾hanafi.ashad@umi.ac.id;
⁴⁾t_utina@yahoo.com; ⁵⁾mukti.mukti@umi.ac.id;

ABSTRAK

Pada mortar beton, semen dan air yang berupa pasta mengikat agregat yang masih menyisakan rongga yang tidak dapat terisi oleh butiran semen. Pasta dengan kandungan senyawa trikalsium silikat (C3S), dikalsium silikat (C2S), trikalsium aluminat (C3A), tetrakalsium alumineferit (C4AF) yang bereaksi dengan air (H₂O) menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat CSH. Penelitian dilakukan untuk mengetahui bentuk sifat fisik dan sifat kimia pada berbagai mutu beton dan mengetahui pengaruh sifat fisik serta sifat kimia terhadap kekuatan beton dalam berbagai mutu. Dari penelitian beton berbagai mutu 20Mpa, 25Mpa dan 30Mpa, sifat kimia dengan energy dispersive x-ray (EDX) unsur yang terkandung pada pasta sangat mempengaruhi daya lekat, peningkatan beberapa senyawa Kalsium (Ca), Silikat (Si) dan oksida (O) pada mutu beton, semakin tinggi pula unsur kalsium (Ca), dan Silika (Si). Beton 20Mpa dan 25Mpa terdapat kenaikan kalsium (Ca) sebesar 6,41%, beton 25Mpa dan 30Mpa terdapat kenaikan kalsium (Ca) sebesar 6,65%. Semakin meningkat pasta semen dari senyawa dikalsium silikat (C2S) dan trikalsium silikat (C3S) maka hasil dari reaksi unsur kalsium (Ca) dan silikat (Si) maka membantu pula daya lekat pada beton.

Kata Kunci: Mikrostruktur, makrostruktur, mutu beton.

ABSTRACT

In concrete mortar, cement and water in the form of a paste bind the aggregates, which still leaves voids that cannot be filled with cement grains. The paste contains tricalcium silicate (C3S), dicalcium silicate (C2S), tricalcium aluminat (C3A), tetracalcium alumineferite (C4AF) compounds which react with water (H₂O) to produce calcium silicate hydrate compounds CSH. Research was conducted to find out the form of physical properties and chemical properties in various qualities of concrete and find out the influence of physical properties and chemical properties on the strength of concrete in various qualities. From concrete research of various qualities of 20Mpa, 25Mpa and 30Mpa, chemical properties with energy. From the research on concrete with various qualities of 20Mpa, 25Mpa and 30Mpa, chemical properties with energy dispersive x-ray (EDX) elements contained in the paste greatly affect the adhesion, the increase in several compounds of Calcium (Ca), Silicate (Si) and oxide (O) on The quality of the concrete, the higher the elements of calcium (Ca) and Silica (Si). For 20Mpa and 25Mpa concrete, there was an increase in calcium (Ca) of 6.41%, for 25Mpa and 30Mpa concrete there was an increase in calcium (Ca) of 6.65%. The increase in cement paste from dicalcium silicate (C2S) and tricalcium silicate (C3S) compounds, the result of the reaction of calcium (Ca) and silicate (Si) elements will also help the adhesion to concrete.

Keywords: Microstructure, macrostructure, concrete quality.

1. Pendahuluan

Beton merupakan material infrastruktur penyusun bangunan yang biasanya digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan dan lain lain. Beton terbentuk dari campuran semen, air, agregat, dan bahan tambah jika diperlukan. Mikrostruktur sendiri adalah inti dari ilmu material yang bersifat modern, pengetahuan tentang mikrostruktur dari masing masing komponen pada beton berguna untuk melakukan pengendalian pada beton. Pada tingkat mikroskopis, kompleksitas pada beton terlihat jelas, bahwa apakah kedua fase dari mikrostruktur terdistribusi secara homogen satu sama lain atau tidak. Seperti di beberapa area pasta semen terhidrasi tampak sama padatnya dengan agregat, sedangkan di tempat lain sangat berpori. Pasta sebagaimana yang dimaksud di atas memiliki kandungan senyawa di antaranya adalah trikalsium silikat (C3S), dikalsium silikat (C2S), trikalsium aluminat (C3A), tetrakalsium aluminaferit (C4AF). yang bereaksi dengan air (H₂O) menghasilkan senyawa kalsium silikat hidrat atau yang biasa disebut dengan CSH.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk sifat fisik dan sifat kimia pada berbagai mutu beton, serta mengetahui pengaruh sifat fisik serta sifat kimia terhadap kekuatan beton dalam berbagai mutu.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah penelitian berbasis laboratorium. Tahap awal penelitian berupa pemeriksaan bahan meliputi pemeriksaan atau pengujian terhadap bahan agregat kasar dan halus, setelah pemeriksaan bahan dilakukan dan memenuhi standar persyaratan, maka dilanjutkan dengan membuat job mix design. Setelah dilakukan job mix design maka tahap akhir penelitian dilakukan pengujian makrostruktur kuat tekan dan pengujian mikrostruktur.

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

- a. Penelitian pada makrostruktur dilaksanakan selama satu bulan

dimulai pada 17 Desember 2021-19 Januari 2022, tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

- b. Penelitian pada mikrostruktur dilaksanakan selama tujuh hari, tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Mikrostruktur Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

2.2 Tahapan Penelitian

1. Persiapan Bahan

Persiapan bahan meliputi kegiatan pengadaan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Metode yang biasa digunakan untuk persiapan bahan uji yaitu metode perempatan, Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain agregat kasar, agregat halus dan semen

2. Pemeriksaan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebelumnya di uji di Laboratorium untuk mendapatkan bahan yang memenuhi syarat-syarat karakteristik material.

1. Pemeriksaan Semen

Karasin/nafta disaring ke dalam gelas ukur menggunakan kertas saring sesuai kapasitas botol Le Chatelier. Gelas ukur yang berisi karasin/nafta dituangkan ke dalam botol Le Chatelier sampai batas antara tanda 0 dan 1 mL. Penentuan Kadar Aspal Rencana Masukkan botol Le Chatelier ke dalam bak perendam dan pasang kedua termometer yaitu satu di dalam botol dan satunya lagi di dalam bak perendam. Timbang sejumlah semen dengan ketelitian 0.05g (kira-kira 64g untuk semen portland), masukkan ke dalam botol sedikit demi sedikit. Perendaman botol di dalam bak air pada suhu tetap selama periode waktu yang cukup untuk mencegah perbedaan suhu botol yang lebih besar dari 0.2°C antara pembacaan awal dan akhir

2. Pemeriksaan Agregat

Ambil contoh agregat (sesuai kebutuhan) dan keringkan contoh uji tersebut sampai massa tetap pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ selama ± 24 jam. Lalu, contoh uji agregat dimasukkan ke dalam susunan saringan dan disaring dengan menggunakan pengguncang analisa saringan mekanis selama ± 15 menit. Agregat halus dan kasar yang meliputi saringan (ASTM C-136), kadar air, berat volume (ASTM C-29), berat jenis dan penyerapan kasar (ASTM C-128 & ASTM C-127), kadar lumpur (ASTM C-117) dan keausan (SNI-2417-2008).

3. Beton yang direncanakan adalah beton normal dan beton berpori. Dalam perencanaan, digunakan beberapa tabel. Langkah-langkah pokok perencanaan Metode SNI 7656: 2012 yakni menentukan berat agregat berdasarkan massa isi dalam kondisi gembur dan padat, menentukan berat agregat dalam kondisi kering permukaan / Saturated surface dry (SSD), menentukan presentase volume pasta berdasarkan perkiraan kadar rongga pada beton normal dan beton berpori, menentukan faktor air semen (FAS), menentukan ada besar volume dari agregat, semen dan air berdasarkan berat jenis dari masing – masing material menentukan juga banyaknya semen yang digunakan serta menentukan kebutuhan material berdasarkan volume silinder serta balok dan banyaknya benda uji yang digunakan.
4. Pengujian Mikrostruktur
Bentuk dan ukuran partikel dari beton dapat diidentifikasi berdasarkan data yang diperoleh dari alat scanning electron microscope (SEM). Mekanisme alat ukur SEM dapat dengan sampel diletakkan didalam cawan, kemudian sampel dilapisi emas. Sampel disinari dengan pancaran elektron bertenaga kurang lebih

20kV sehingga sampel memancarkan elektron turunan (secondary electron) dan elektron terpantul (back scattered electron) yang dapat dideteksi dengan detector scintillator yang diperkuat sehingga timbul gambar pada layar CRT. Pemotretan dilakukan setelah dilakukan pengesetan pada bagian tertentu, dari objek dan perbesaran yang diinginkan sehingga diperoleh foto yang dapat diidentifikasi

2.3 Metode Analisis Data

Untuk metode analisis di gunakan metode SNI:7656 yakni campuran perancangan beton dengan melihat sisi ekonomis serta ketersediaan bahan-bahan dilapangan. Kemudahan pekerjaan, serta keawetan kekuatan dan pekerja beton.

1. Menetapkan kuat tekan rata-rata beton berdasarkan kuat tekan dan margin,hal ini tercantum dalam SNI:2847-2013
2. Tetapkan nilai slump, dan butir maksimum agregat. Slump ditentukan berdasarkan acuan SNI : 7656 tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa.
3. Tetapkan jumlah air yang dibutuhkan berdasarkan ukuran maksimum agregat dan nilai slump banyaknya air tiap satuan isi beton yang dibutuhkan agar menghasilkan slump tertentu tergantung pada ukuran nominal maksimum, temperature beton, perkiraan kadar udara dan penggunaan bahan tambah kimia.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan standar metode pengujian yang berlaku, dilakukan pengujian di Laboratorium Struktur dan Bahan Universitas Muslim Indonesia. Pengujian tersebut meliputi karakteristik material yang digunakan dalam campuran beton. Pengujian-pengujian tersebut dapat kami uraikan sebagai berikut:

1. Pemeriksaan Semen
- a. Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Adapun hasil pemeriksaan Semen yang dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil FT-UMI.

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Semen Portland

Karakteristik pemeriksaan semen	Nilai	Spesifikasi
Berat jenis semen	3,140	3,05-3,25
Kehalusan semen # NO.100	100%	10%
Kehalusan semen # NO.200	93,70%	10%
Berat volume (padat)	1146,0 kg/m ³	1,1-1,4 kg/m ³
Berat volume (gembur)	1139,0 kg/m ³	1,1-1,4 kg/m ³
Konsistensi normal	30%	22% - 30%
Waktu ikat awal	30 mnt	Min 45 mnt
Waktu ikat akhir	165 mnt	Max 360 mnt

Dari tabel 1 diperoleh pemeriksaan semen di Laboratorium Struktur dan Bahan secara keseluruhan meliputi berat jenis semen, kehalusan semen, berat volume dalam kondisi padat dan gembur, konsistensi normal, waktu ikat

awal dan waktu ikat akhir dalam indeks spesifikasi, dalam artian semen yang telah diperiksa dapat dimasukkan ke dalam perencanaan campuran beton. Adapun pemeriksaan agregat halus adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Karakteristik pemeriksaan agregat	Nilai	Spesifikasi
Modulus kehalusan	2,64	2,3-3,1
Kadar air	2,88 %	≤ 5%
Berat volume padat	1459,582 kg/m ³	1,2-1,75 kg/m ³
Berat volume gembur	1341,964 kg/m ³	1,2-1,75 kg/m ³
Specific gravity	2,29	2,4-2,9
Absrosi	3,09 %	≤ 3 %
Kadar lumpur	3,536 %	≤ 5 %
Kadar organik	Nomor 2	Standar warna

Dari tabel 2 diperoleh pemeriksaan agregat halus di Laboratorium Struktur dan Bahan secara keseluruhan meliputi modulus kehalusan, kadar air, berat volume padat, berat volume gembur, *specific gravity*, absorpsi, kadar lumpur dan keausan agregat dalam indeks spesifikasi, dalam artian agregat yang telah diperiksa dapat dimasukkan ke dalam perencanaan campuran beton.

Adapun pemeriksaan agregat kasar (Coarse Aggregate) biasa juga disebut kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan butirannya berukuran antara 4,76 mm - 150 mm dengan karakteristik material agregat kasar dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar (Batu Pecah)

Karakteristik pemeriksaan agregat	Nilai	Spesifikasi
Modulus kehalusan	6,57	6,0-71
Kadar air	1,730 %	≤ 2%
Berat volume padat	1663,583 kg/m ³	1,2-1,75 kg/m ³
Berat volume gembur	1471,131 kg/m ³	1,2-1,75 kg/m ³
Specific gravity	2,54	2,4-2,9

Absrosi	1,63 %	≤ 3 %
Kadar lumpur	0,756 %	≤ 1 %
Keausan	17,99 %	≤ 40 %

Dari tabel 3 diperoleh pemeriksaan agregat di Laboratorium Struktur dan Bahan secara keseluruhan meliputi modulus kehalusan, kadar air, berat volume padat, berat volume gembur, specific gravity, absorpsi, kadar lumpur dan keausan agregat dalam indeks spesifikasi, dalam artian agregat yang telah

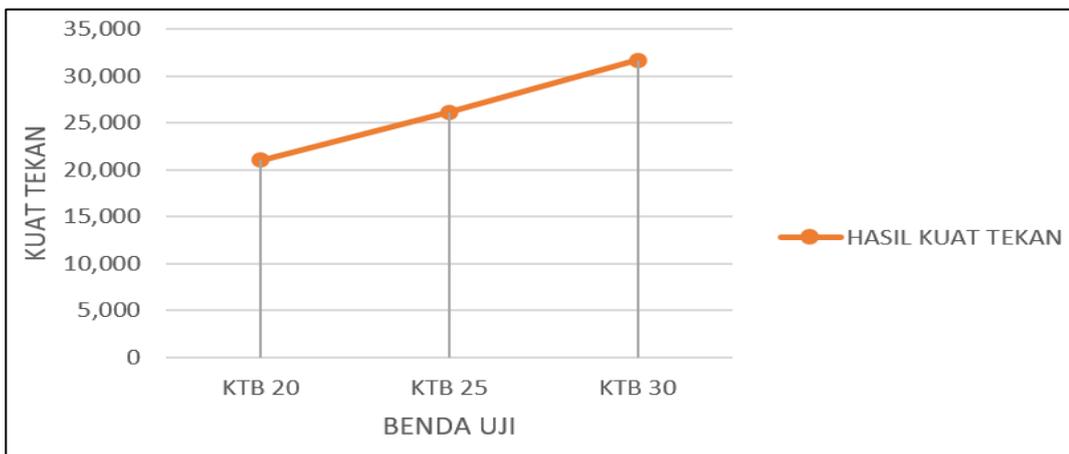
diperiksa dapat dimasukkan ke dalam perencanaan campuran beton. Adapun setelah dilakukan mix atau campuran antara agregat kasar – halus – semen, kemudian dilakukan pengujian kuat tekan beton untuk mengetahui kekuatan dari campuran sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kode benda uji	No	Umur Pengujian (hari)	Hasil Nilai Slump (mm)	Standar Nilai Slump (mm)	Beban Hancur (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tarik Belah Rata – Rata (Mpa)
KTB 20	1	28	83	75 – 100	395	20,382	21,043
KTB 20	2	28	83	75 – 100	390	21,515	21,043
KTB 20	3	28	83	75 – 100	400	21,231	21,043
KTB 25	1	28	92	75 – 100	400	26,327	26,138
KTB 25	2	28	92	75 – 100	410	26,044	26,138
KTB 25	3	28	92	75 – 100	405	26,044	26,138
KTB 30	1	28	85	75 – 100	420	31,423	31,706
KTB 30	2	28	85	75 – 100	425	31,989	31,706
KTB 30	3	28	85	75 – 100	430	31,706	31,706

Jumlah pengujian dalam penelitian untuk kuat tekan beton (KTB) yakni sebanyak 9 sampel, dengan variasi

persentase sebanyak 3 variasi. Adapun fluktuasi grafik dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1 Fluktuasi hasil kuat tekan

Dari grafik di atas terlihat bahwa semakin besar mutu beton maka semakin besar pula kuat tekan yang diperoleh. Adapun hasil pengujian mikrostruktur menggunakan alat SEM-EDX paduan beton dalam berbagai mutu, dimana dari hasil pengujian

tersebut dengan masing-masing mutu beton 20Mpa, 25Mpa, 30Mpa menghasilkan berupa bentuk dan ukuran partikel serta pori pada beton. Sedangkan unsur dan senyawa oksida yang terdapat pada beton dimana unsur tersebut adalah senyawa utama

pembentuk semen dimana Kalsium Oksida (CaO), Silica (SiO₂), Alumina

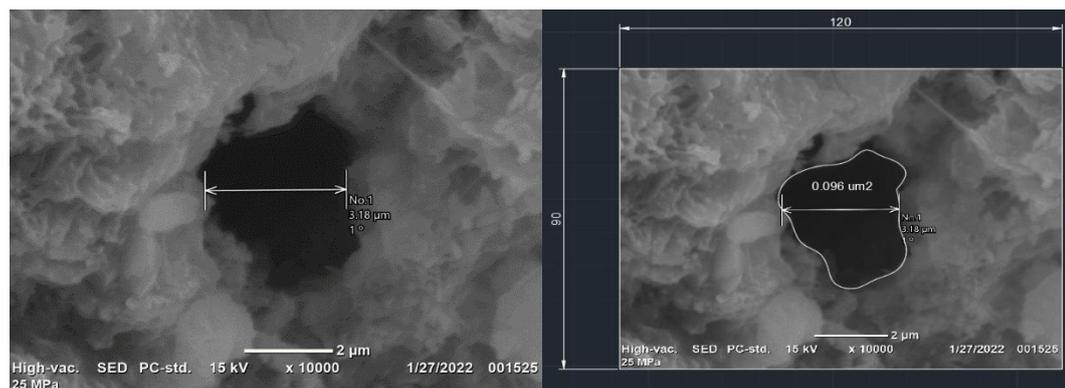
(Al₂O₃), dan firit Oksida (Fe₂O₃) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2 Hasil pengujian SEM beton 20Mpa

Pada gambar 2 menunjukkan pengujian Scanning electron microscopy (SEM) pada beton 20Mpa dengan pembesaran 10.000x dapat dilihat luas pori yang didapatkan sebesar 0,121 μm^2 dengan

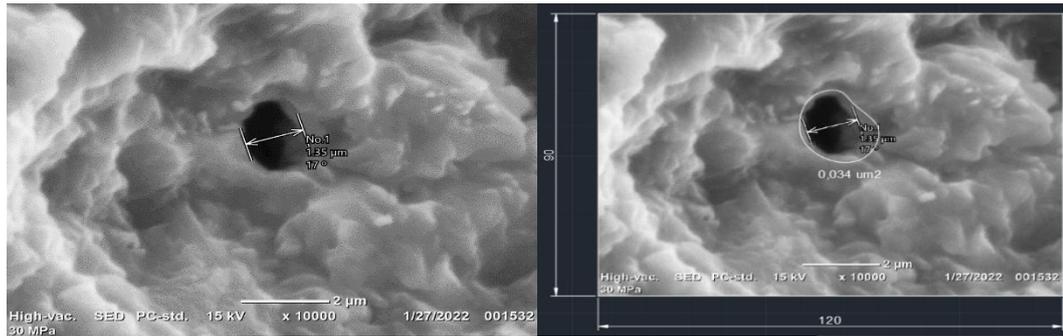
persentase pori sebesar 1,12%. Adapun Hasil pengujian SEM-EDX beton 25Mpa dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3 Hasil pengujian SEM beton 25Mpa

Gambar 3 menunjukkan pengujian Scanning electron microscopy (SEM) pada beton 25Mpa dengan pembesaran 10.000x dapat dilihat luas pori yang

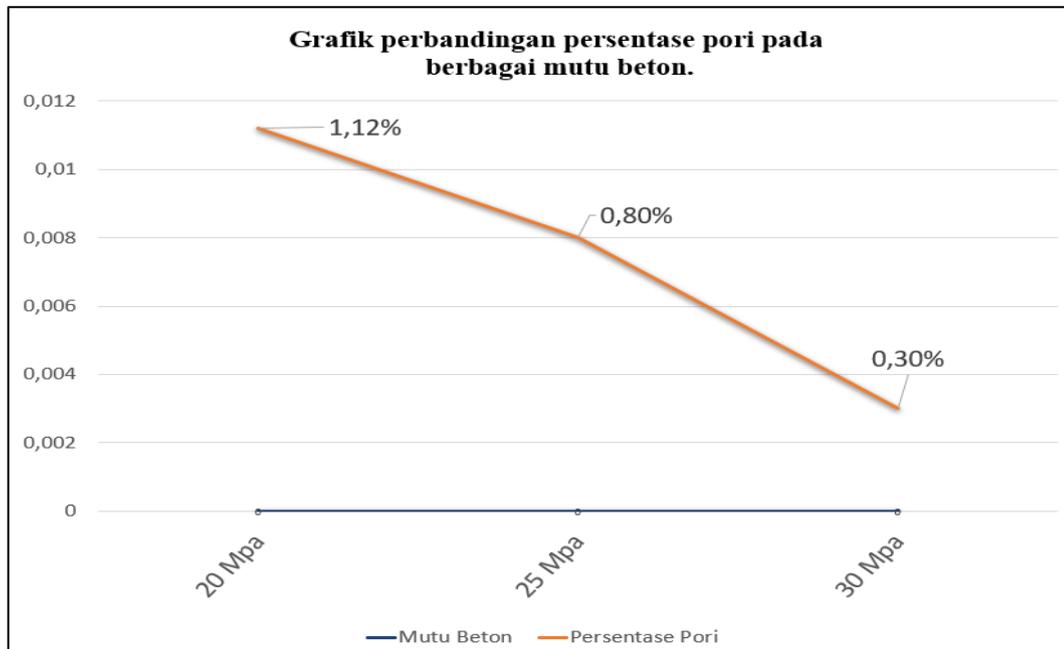
didapatkan sebesar 0.096 μm^2 dengan persentase pori sebesar 0,8%. Adapun hasil pengujian SEM-EDX beton 30Mpa dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4 Hasil pengujian SEM beton 30Mpa

Pada pengujian Scanning electron microscopy (SEM) pada beton 30Mpa dengan pembesaran 10.000x dapat dilihat luas pori yang didapatkan sebesar

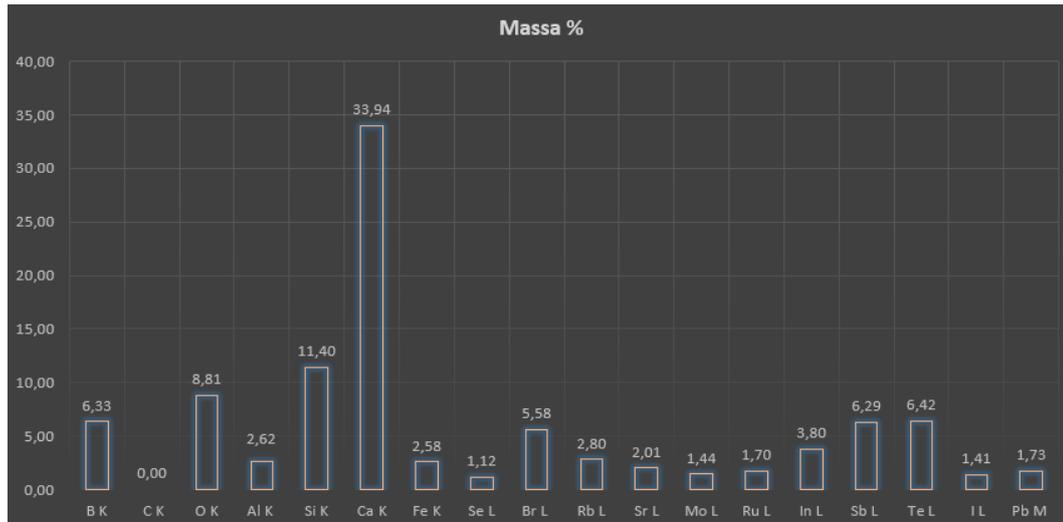
0.034 μm^2 dengan persentase pori sebesar 0,3%. Adapun grafik perbandingan persentase pori dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5 Grafik Perbandingan Persentase Pori

Dari gambar 4 dapat dilihat grafik yang menunjukkan persentase pori pada berbagai mutu beton. Pada grafik di atas terlihat adanya penurunan persentase pori akibat kenaikan mutu

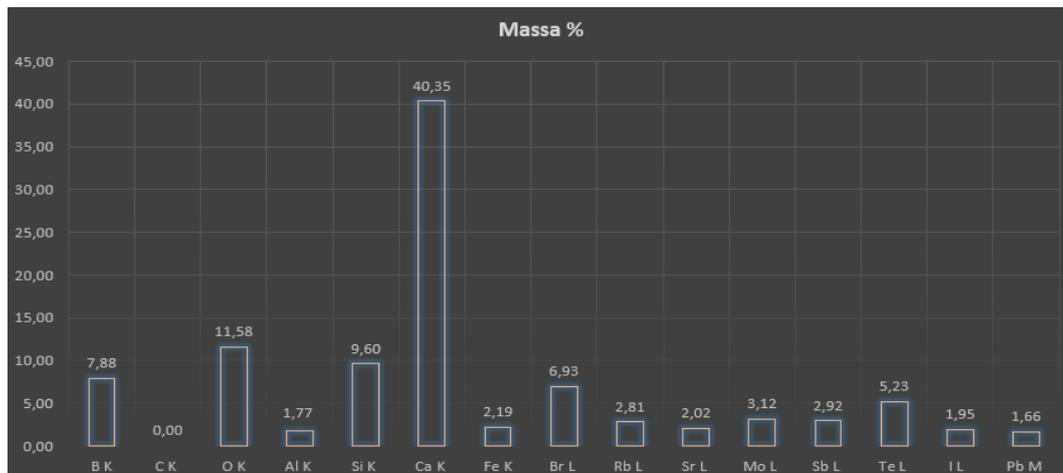
pada beton, karena berkurangnya porositas sehingga membuat beton lebih padat. Adapun grafik hasil pengujian EDX untuk benda uji beton 20Mpa



Gambar 6 Grafik Hasil Pengujian EDX Untuk Benda Uji Beton 20Mpa

Dari gambar 6 hasil di atas dapat dilihat bahwa unsur dominan pada beton 20Mpa adalah kalsium (Ca) sebesar 33,94%, Silicon (Si) sebesar 11,40%,

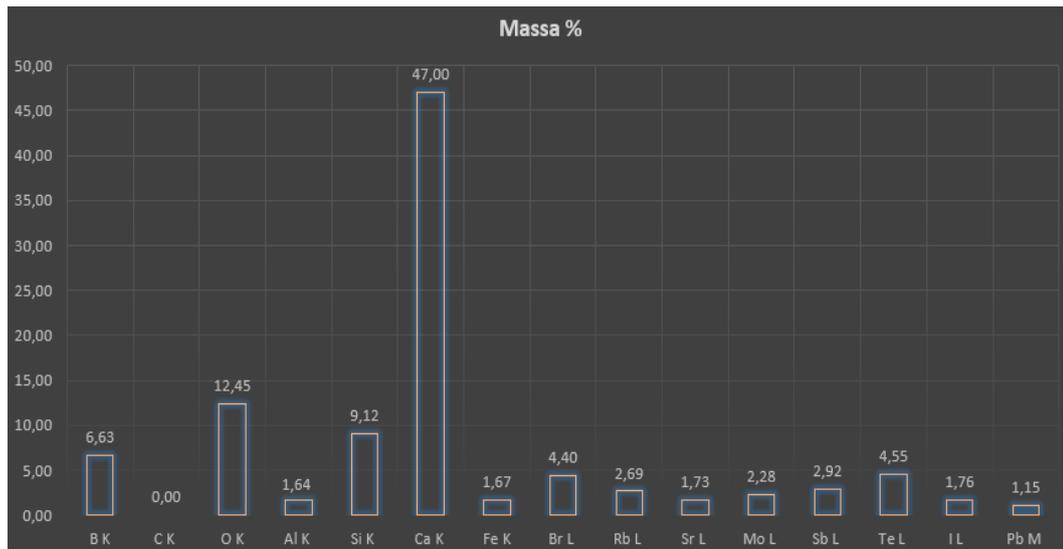
dan Oksida (O) sebesar 8,81%. Adapun grafik hasil pengujian EDX untuk benda uji beton 25Mpa dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 7 Grafik hasil pengujian EDX beton 25Mpa

Dari gambar 7 hasil di atas dapat dilihat bahwa Silicon (Si) sebesar 9,60% dan peningkatan kadar kalsium (Ca) dengan nilai sebesar 40,35% dan adanya peningkatan pada kadar oksida (O)

dengan nilai 11,58%. Adapun grafik hasil pengujian EDX untuk benda uji beton 30Mpa dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 8 Grafik Hasil Pengujian EDX Beton 30Mpa

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian, analisa data dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pada beton berbagai mutu antara 20Mpa, 25Mpa, dan 30Mpa didapatkan hasil pengujian fisik dengan pengujian Scanning electron Microscopy (SEM) dengan hasil berupa luas dan persentase pori pada beton, Pada beton berbagai mutu antara 20Mpa, 25Mpa, dan 30Mpa didapatkan hasil pengujian sifat kimia dengan pengujian energy dispersive x-ray (EDX) dengan hasil berupa unsur yang terkandung pada pasta beton yang sangat mempengaruhi kekuatan serta daya lekat beton. Pada hasil tersebut didapatkan adanya peningkatan beberapa senyawa seperti Kalsium (Ca), Silikat (Si), dan oksida (O) pada setiap tingkatan mutu beton.
- Pada setiap peningkatan mutu beton terlihat adanya peningkatan unsur kalsium (Ca), dan Silika (Si). Pada beton antara 20Mpa dan 25Mpa terdapat kenaikan kalsium (Ca) sebesar 6,41%, sedangkan pada beton antara 25Mpa dan 30Mpa terdapat kenaikan kalsium (Ca) sebesar 6,65%. Ini membuat beton semakin baik, karena semakin meningkatnya pasta semen yang berasal

dari senyawa dikalsium silikat (C2S), dan trikalsium silikat (C3S) yaitu hasil dari reaksi antara unsur kalsium (Ca) dan silikat (Si) yang membantu agar semakin baik nya daya lekat pada beton.

4.2 Saran

- Disarankan agar penelitian ini dapat digunakan untuk penelitian penelitian lebih lanjut mengenai mutu beton dengan penggunaan bahan tambah.
- Disarankan agar peneelitian selanjutnya menggunakan beton dengan mutu tinggi.
- Disarankan untuk penelitian selanjutnya untuk menggunakan pengujian sifat fisik yaitu porositas dan permeabilitas.

Daftar Pustaka

- Apriliawati, A., Anis Rahmawati, Ida Nugroho Saputro. 2016. "kajian kuat lekat dan kuat tekan pada beton serat dengan bahan tambah potongan limbah banner".
- ASTM, C. "Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying." ASTM C566.
- ASTM, C29. "29 (2001) Standard test method for bulk density (Unit

- Weight) and voids in aggregate." American Society for Testing and Materials Standards, West Conshohocken.
- ASTM, ASTM. "C127." Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA (2007)
- ASTM, Active Standard ASTM. "C131/C131M: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine." ASTM, 2008.
- ASTM, C. "117-03. Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing." United States: ASTM International (2003).
- ASTM, C. "187." Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials (1998).
- Dashrath, K. B., Anil, N. M., Wakchaure, M., Kulkarni, VP. 2014. "Pengaruh Jenis Agregat Pada Kekuatan Lentur Beton". Departemen Teknik Sipil Maharashtra: India.
- Hani, S. dan Rini. 2018. "Pengaruh Campuran Serat Pisang Pada Beton"
- Mulyono, Tri. 2004. "Teknologi Beton". Jakarta: Penerbit Andi.
- Nugraha, A. P. 2007. Teknologi Beton. Yogyakarta: Penerbit C.V Andi Offset.
- Sebayang, S. 2020. "Diklat Bahan Bangunan Volume I Teknologi Beton". Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Sufaat, M. dan Dian Adhytia Pratama, Purwanto. 2015. "Studi Eksperimental Pengaruh Kofigurasi Sengkang Pada Daerah Tekan Balok Beton Serat Bertulang".
- Qahfi N, A. dan B.Chotima Huznul D.A. 2020 "pengaruh gradasi agregat terhadap sifat – sifat fisik dan mekanik beton".