

Kekuatan dan Durabilitas *Oil Palm Shell* (OPS) sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar pada Beton Bertulang

Dahlia Patah¹, Amry Dasar^{1*}, Irma Ridhayani¹, Herni Suryani¹,
Akbar Indrawan¹, Sainuddin¹, Imam Rohani¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat

*Email: amry.dasar@unsulbar.ac.id

Abstract

Oil Palm Shell (OPS) have the potential to be used in concrete as a substitute for coarse aggregate to increase strength and durability. This study aims to investigate the strength and corrosion potential (durability) of reinforcing steel in concrete using OPS up to 244 days old. The use of OPS of 10% and 20% as a partial replacement of coarse aggregate to compare with the strength and durability of normal concrete. The test method used to evaluate the inhibition of the corrosion rate of concrete reinforcing steel is through concrete compression tests, water absorption, porosity, half-cell potential (HCP), Rapid Chloride Permeability Test (RCPT), and chloride ion penetration depth. The results showed that the compressive strength of concrete using 10% OPS at 20 days had relatively the same compressive strength as normal concrete. Furthermore, based on HCP and RCPT tests, concrete using OPS 10% and 20% has corrosion potential criteria of 50% according to ASTM C876-15 and the same chloride ion penetration depth as normal concrete. Therefore, OPS has the potential to be used in concrete as an alternative material to replace some coarse aggregates.

Keywords: Reinforced concrete, oil palm shell, half-cell potential, rapid chloride permeability test, compressive strength

Abstrak

Cangkang kelapa sawit atau *Oil Palm Shell* (OPS) berpotensi digunakan pada beton sebagai pengganti agregat kasar guna meningkatkan kekuatan dan durabilitas. Penelitian ini melakukan penyelidikan pada kekuatan dan potensi korosi (durabilitas) baja tulangan pada beton yang menggunakan OPS hingga berumur 244 hari. Penggunaan OPS sebesar 10% dan 20% sebagai pengganti sebagian dari agregat kasar untuk dibandingkan dengan nilai kekuatan dan durabilitas terhadap beton normal. Metode pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi penghambatan laju korosi baja tulangan beton yaitu melalui uji tekan beton, penyerapan air, porositas, *half-cell potential* (HCP), *Rapid Chloride Permeability Test* (RCPT), dan kedalaman penetrasi ion klorida. Hasil penelitian diperoleh bahwa kuat tekan beton menggunakan OPS 10% pada umur 28 hari memiliki kuat tekan yang relatif sama dengan beton normal. Lebih lanjut, berdasarkan pengujian HCP dan RCPT, beton menggunakan OPS 10% dan 20% memiliki kriteria potensi korosi sebesar 50% berdasarkan ASTM C876-15 dan kedalaman penetrasi ion klorida yang sama dengan beton normal. Oleh karena itu, OPS berpotensi digunakan pada beton sebagai alternatif material pengganti sebagian agregat kasar.

Kata kunci: Beton bertulang, *oil palm shell*, *half-cell potential*, *rapid chloride permeability test*, kuat tekan

1. Pendahuluan

Pertumbuhan konstruksi di Indonesia semakin pesat. Salah satu material yang paling banyak digunakan pada konstruksi adalah beton. Material beton tersusun diantaranya menggunakan agregat kasar atau kerikil. Kerikil atau batu pecah pada umumnya dengan mengambil pada sungai sehingga dapat merusak lingkungan dan berpotensi menyebabkan banjir. Dalam dekade terakhir telah dilakukan beberapa penelitian terkait pemanfaatan material alternatif yang ramah lingkungan pada pembuatan beton. Ridhayani dkk (2023) melakukan penelitian terkait pemanfaatan limbah Abu Cangkang Sawit, Abu Sekam Padi dan Serat Sagu pada pembuatan bata beton [1]. Patah dan Dasar (2023) memanfaatkan abu sekam padi untuk mengevaluasi korosi pada beton yang menggunakan air laut [2]. Patah dkk (2023) juga menyelidiki peningkatan kuat tekan beton menggunakan limbah fly ash menggunakan air laut [3]. Selain itu telah dilakukan beberapa penelitian terkait alternatif material pengganti agregat kasar. Patah dkk (2022) menyelidiki potensi batu kapur sebagai agregat kasar pada beton yang menggunakan air laut sebagai air pencampuran [4]. Lebih lanjut, Patah dan Dasar (2022) melakukan penelitian limbah beton untuk digunakan sebagai agregat kasar [5].

Saat ini industri kelapa sawit semakin bertumbuh pesat khususnya di Indonesia. Namun hal ini menyisakan masalah yakni limbah cangkang kelapa sawit atau oil palm shell (OPS). Cangkang kelapa sawit adalah bagian keras yang terdapat setelah buah pada kelapa sawit yang berfungsi untuk melindungi buah kelapa sawit, hampir sama dengan tempurung kelapa. Cangkang kelapa sawit merupakan limbah dari pabrik kelapa sawit, biasanya juga digunakan sebagai tambahan untuk bahan bakar. Penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai material beton karena struktur cangkang yang keras dan ujung dari cangkang yang berserabut sehingga dapat diharapkan sebagai pengganti agregat dan pengisi celah pada beton. Oktarina dan Natalina (2018) menggunakan cangkang kelapa sawit

untuk menghasilkan bata beton ringan [6]. Sementara Vitri dan Herman (2019) menggunakan cangkang kelapa sawit pada pembuatan beton menghasilkan kuat tekan rata-rata pada hari ke-7 dan hari ke-28 di dapatkan sebesar 21 Mpa [7].

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kekuatan dan durabilitas baja tulangan beton menggunakan OPS dengan 2 ukuran yaitu 0.25-0.5 cm dan 0.5-1 cm dengan masing-masing presentasi sebesar 50% dan OPS menggantikan agregat dengan variasi 10% dan 20%. Metode pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi penghambatan laju korosi baja tulangan beton yaitu melalui uji tekan beton, penyerapan air, porositas, *half-cell potential* (HCP), *Rapid Chloride Permeability Test* (RCPT), dan kedalaman penetrasi ion klorida. Hasilnya diperoleh bahwa kuat tekan beton menggunakan OPS 10% pada umur 20 hari memiliki kuat tekan yang relatif sama dengan beton normal. Lebih lanjut, berdasarkan pengujian HCP dan RCPT, beton menggunakan OPS 10% dan 20% memiliki kriteria potensi korosi sebesar 50% dan kedalaman penetrasi ion klorida yang sama dengan beton normal.

2. Metoda Penelitian

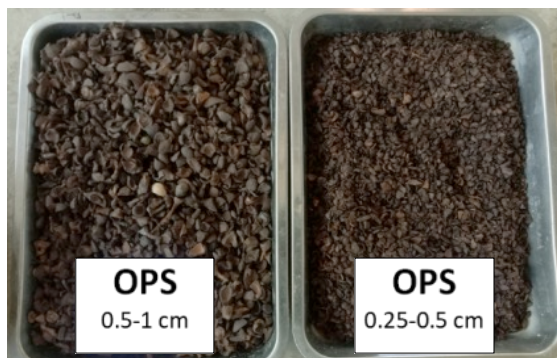
2.1. Material

Semen Portland Komposit (PCC) Tipe 1 digunakan sebagai bahan pengikat yang memenuhi standar ASTM C150 - 92.

Air yang digunakan yaitu air tawar yang diambil dari sumur bor Lab Terpadu Unsulbar. Air tawar digunakan untuk pencampuran dan perawatan beton.

Agregat halus (pasir halus juga dikenal sebagai pasir sungai) dan agregat kasar berasal dari Sungai Mappili. Karakteristik agregat halus dan agregat kasar telah diuji pada penelitian sebelumnya dan sesuai SNI 03-1968-1990 [8]. Pasir disaring lolos saringan 5 mm dan dicuci sebelum digunakan untuk menghilangkan kotoran lalu dijemur. Gradasi kerikil adalah kerikil yang lolos saringan 20 mm namun tertahan pada saringan 10 mm. Sebelum digunakan, kerikil dicuci bersih dan dijemur di bawah sinar matahari selama tiga hari menghilangkan kotoran dan air yang

terserap. Bahan utama pengganti kerikil yaitu cangkang sawit atau *oil palm shell* (OPS) yang diperoleh dari PT Lestari II Mamuju Tengah. OPS dicuci untuk menghilangkan serat dan kotoran asing, kemudian dijemur selama tiga hari untuk menghilangkan air dan aktivitas mikroba pada permukaan cangkang. Ukuran OPS yang digunakan adalah 2 ukuran yaitu 0.25-0.5 cm dan 0.5-1 cm dengan masing-masing presentasi sebesar 50% dan 50% (Gambar 1).



Gambar 1. Ukuran *oil palm shell* (OPS)

2.2. Desain dan Pembuatan Benda Uji

Benda uji didesain dengan target mutu beton normal (OPS0%) umur 28 hari sebesar 21 MPa. Tiga jenis variasi benda uji digunakan dalam penelitian ini. Dua variasi menggunakan OPS dengan jumlah presentasi berbeda (10% dan 20% terhadap berat kerikil) sebagai pengganti kerikil parsial dibandingkan dengan variasi kontrol yang dibentuk dari 100% kerikil (OPS0%). Detail variasi dan komposisi campuran beton disajikan pada Tabel 1. FAS yang digunakan adalah 50%.

Total benda uji yang disiapkan yaitu 60 benda uji dengan masing-masing variasi berjumlah 20 benda uji. Detail jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 2. Bentuk dan dimensi benda uji yang disiapkan untuk masing-masing pengujian dapat dilihat pada Gambar 2 dengan detail ukuran benda uji yaitu:

- Selinder diameter 10 cm dan tinggi 20 cm untuk benda uji tekan, serapan air dan porositas (Gambar 2a)
- Selinder diameter 5 cm dan tinggi 10 cm untuk benda uji HCP (Gambar 2b). Untuk benda uji ini ditanam sebanyak satu buah

baja tulangan polos diameter 10mm dengan penyetelan selimut beton 2.5cm. Ujung baja tulangan yang tidak tertanam disambungkan dengan kabel sepanjang 7cm sebagai media pengukuran korosi. Setelah pencetakan benda uji dibutuhkan treatment dengan epoxy ujung atas bawah benda uji beton yang berdiameter 5cm. Selain itu, baja tulangan yang tidak tertanam juga dilakukan epoxy.

- Diameter 10 cm dan tinggi 10 cm untuk benda uji RCPT dan kedalaman penetrasi klorida (Gambar 2c).

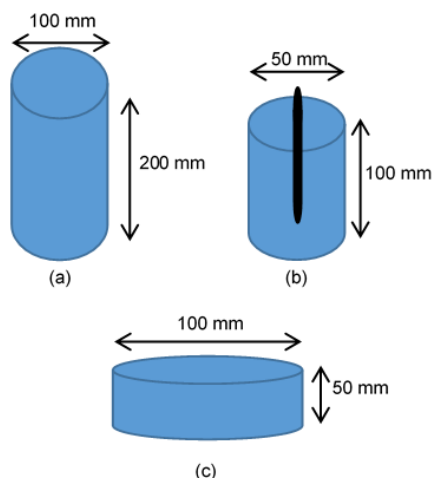
Tabel 1. Komposisi campuran beton per 1m³.

Tipe	PCC, kg	Pasir, kg	Kerikil, kg	OPS, kg	Air, kg
OPS0%	255	554	1068	0	510
OPS10%	255	554	961	107	510
OPS20%	255	554	854	214	510

Tabel 2. Jumlah benda uji.

Pengujian	Umur pengujian	OPS 0%	OPS 10%	OPS 20%
Kuat tekan	28 dan 91 hari	6	6	6
Daya serap	28 dan 91 hari	4	4	4
Porosity	28 dan 91 hari	4	4	4
Half-cell potential	sekali sepekan	2	2	2
RCPT	91 hari	2	2	2
Kedalaman penetrasi klorida	91 hari	2	2	2
TOTAL		20	20	20

Setelah pencetakan benda uji, benda uji dibungkus plastik selama 20-24 jam agar tidak terjadi evaporasi pada air semen. *Demolding* dilakukan setelah 20-24jam lalu dilakukan perawatan benda uji dalam air tawar hingga periode pengukuran 28 hari dan 91 hari. Untuk perawatan benda uji HCP, setelah perawatan 28 hari benda uji dibiarkan terekspos hingga berumur 224 hari dalam kondisi ruang laboratotium yang tidak terkontrol.



Gambar 2. Bentuk dan dimensi benda uji

2.3. Metode Pengujian

(1) Kuat tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-1974-1990. Bentuk benda uji yaitu ukuran silinder 100x200mm (Gambar 2a). Campuran beton diisi sebanyak tiga lapisan dengan setiap lapisan menerima 25 pukulan untuk pemadatan yang tepat. Kuat tekan dianalisis dengan Persamaan (1).

$$\sigma = P/A \quad (1)$$

Dimana σ = kuat tekan (kg/cm^2); P = Beban maksimum (kg); A = Luas penampang yang menerima beban (cm^2).

(2) Penyerapan air dan porositas

Penyerapan air dan porositas diukur berdasarkan ASTM C642-97. Penyerapan air (W_A) dianalisis dengan Persamaan (2) dan porositas (ρ) dianalisis dengan Persamaan (3).

$$WA = \frac{(W_{ssd} - W_{od})}{(W_{od})} \times 100\% \quad (2)$$

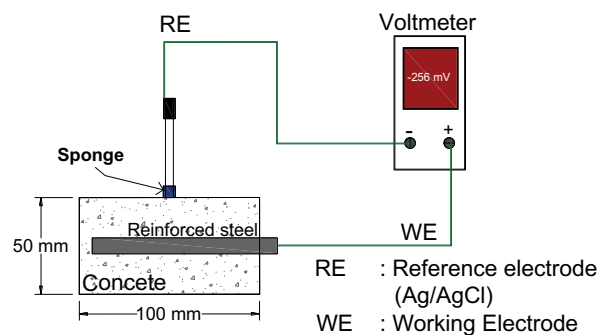
$$\rho = \frac{(W_{ssd} - W_{od})}{(W_{ssd} - W_w)} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana W_w = berat dalam air (gr); W_{SSD} = berat kering permukaan (gr); W_{OD} = berat kering oven (gr).

(3) Half-cell potential (HCP)

Pengujian HCP menggunakan alat *reference electrode* dengan bahan Ag/AgCl diukur berdasarkan ASTM C876-15. Skema pengujian HCP dapat dilihat pada Gambar 3. Untuk mengetahui resiko korosi baja tulangan, berdasarkan nilai HCP maka digunakan Tabel 3

untuk prediksi kemungkinan korosi baja tulangan yang tertanam dalam beton.



Gambar 3. Kuat tekan beton

Tabel 3. Prediksi kemungkinan korosi tulangan baja.

Cu/CuSO ₄	Ag/AgCl	Kondisi Resiko Korosi
>-200mV	>-106mV	Rendah
-200 hingga -350mV	-106 hingga -256mV	Menengah
<-350mV	<-256mV	Tinggi
<-500mV	<-406mV	Sangat tinggi

(4) Rapid Chloride Permeability Test (RCPT)

Pengujian RCPT diukur berdasarkan ASTM C-1556. Skema pengujian RCPT dapat dilihat pada Gambar 4. Pengujian dilakukan selama enam jam dengan mengalirkan arus searah 60V terhadap piringan beton dan pengambilan data arus dilakukan setiap 30 menit. Kriteria penetrasi ion klorida menggunakan Tabel 4.



Gambar 4. Skema pengukuran RCPT

Tabel 4. Kriteria penetrasi ion klorida.

Nilai charge passed (Coulumb)	Kriteria penetrasi ion klorida
>4000	Tinggi
4000-2001	Sedang
2000-1001	Rendah
1000-100	Sangat rendah
<100	diabaikan

(5) Kedalaman penetrasi klorida

Kedalaman penetrasi klorida dilakukan setelah RCPT selesai. Benda uji dibelah menjadi dua bagian, lalu permukaan benda uji yang dibelah disemprot menggunakan larutan 0.1M AgNO₃. Untuk Kedalaman penetrasi klorida diukur sebanyak 10 titik lalu dirata-ratakan (Gambar 5).

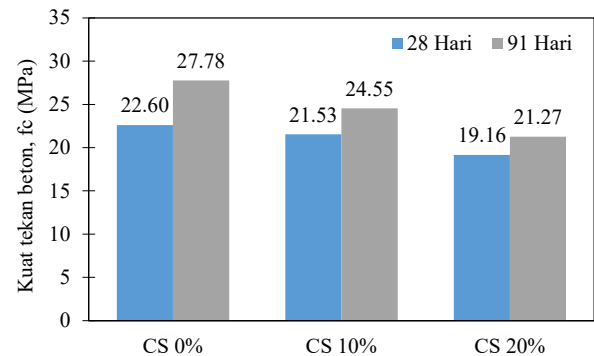


Gambar 5. Pengukuran rata-rata kedalaman penetrasi klorida

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kuat Tekan

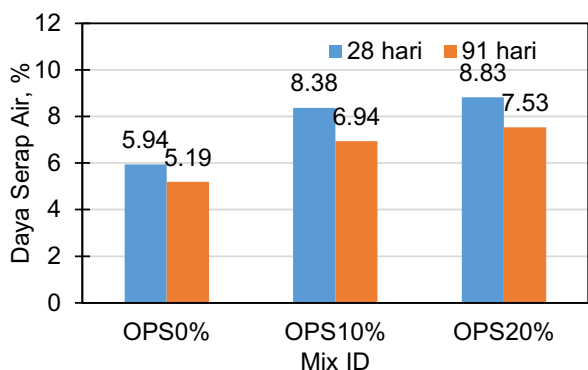
Nilai kuat tekan umur 28 hari dan 91 hari dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, nilai kuat tekan umur 28 hari pada benda uji OPS0%, OPS10% dan OPS20% berturut-turut sebesar 22.6MPa, 21.53 MPa, dan 19.16 MPa. Untuk benda uji umur 91 hari memiliki nilai kuat tekan sebesar 27.78 MPa, 24.55MPa, dan 21.27MPa. Dapat dilihat bahwa penggunaan OPS sebanyak 10% dan 20% menurunkan kuat tekan, semakin banyak ops yang digunakan maka semakin turun kuat tekannya. Akan tetapi, umur 28 hari dapat dilihat bahwa target mutu 21MPa tercapai pada benda uji dengan penambahan 10% OPS. Mannan dan Ganapathy (2002) melaporkan beton yang menggunakan OPS pada umur 90 hari, kuat tekan terus meningkat seiring bertambahnya usia, namun tetap berada di bawah beton kontrol [9]. Hal ini disebabkan kurangnya hidrasi pada beton yang disebabkan oleh kurangnya air yang diserap oleh OPS. Alengaram melaporkan bahwa serapan air dari agregat OPS berada pada 14%-33% [10].



Gambar 6. Kuat tekan beton

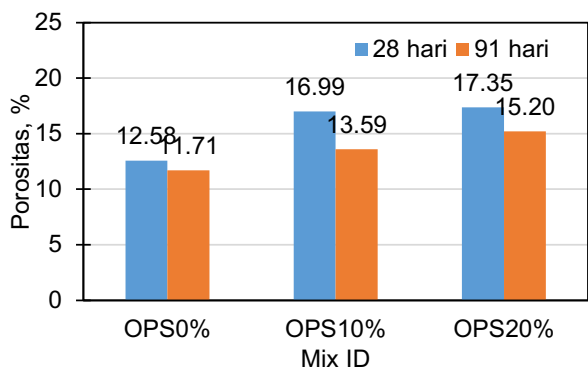
3.2. Penyerapan air dan porositas

Nilai penyerapan air umur 28 hari dan 91 hari dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, nilai penyerapan air menurun seiring dengan penambahan usisa. Nilai penyerapan air umur 28 hari pada benda uji OPS0%, OPS10% dan OPS20% berturut-turut sebesar 5.94%, 8.38%, dan 8.83%. Untuk benda uji umur 91 hari memiliki nilai kuat tekan sebesar 5.19%, 6.94%, dan 7.53%. Nilai penyerapan air ini selaras dengan nilai kuat tekan, dengan penambahan 10% dan 20% OPS maka meningkatkan serapan airnya dibandingkan beton normal (OPS0%) baik umur 28 hari dan maupun 91 hari. Kebutuhan akan air adalah persentase air yang diperlukan untuk ditambahkan ke agregat agar memperoleh kondisi jenuh kering permukaan (SSD). Syafigh dkk. [11] menjelaskan bahwa beton OPS memperoleh kekuatan tinggi karena memiliki daya serap air yang rendah, yaitu berkisar antara 3,12%~6,2%. Oleh karena itu, untuk mencapai beton dengan mutu lebih baik maka harus mempunyai nilai penyerapan air kurang dari 10% [12]. Penelitian lain menunjukkan bahwa beton dengan OPS memiliki penyerapan air lebih tinggi dari 10% akan memperoleh nilai kuat tekan yang sama dengan beton normal [13]



Gambar 7. Penyerapan air

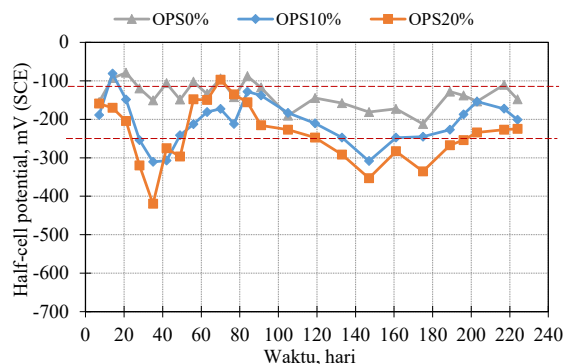
Nilai porositas umur 28 hari dan 91 hari dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar 8, nilai porositas menurun seiring dengan penambahan usia. Nilai porositas umur 28 hari pada benda uji OPS0%, OPS10% dan OPS20% berturut-turut sebesar 12.58%, 16.99%, dan 17.35%. Untuk benda uji umur 91 hari memiliki nilai kuat tekan sebesar 11.71%, 13.59%, dan 15.20%. Nilai porositas ini selaras dengan nilai kuat tekan, dengan penambahan 10% dan 20% OPS maka meningkatkan porositasnya dibandingkan beton normal (OPS0%) baik umur 28 hari dan maupun 91 hari. Hal ini dikarenakan agregat OPS memiliki kapasitas penyerapan yang lebih tinggi karena porositas yang lebih tinggi pada struktur cangkangnya [14]. Tingginya nilai porositas dari beton OPS mengindikasikan rendahnya kuat tekannya.



Gambar 8. Porositas beton

3.3. Half-cell potential (HCP)

Nilai HCP setiap variasi benda uji berdasarkan waktu pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



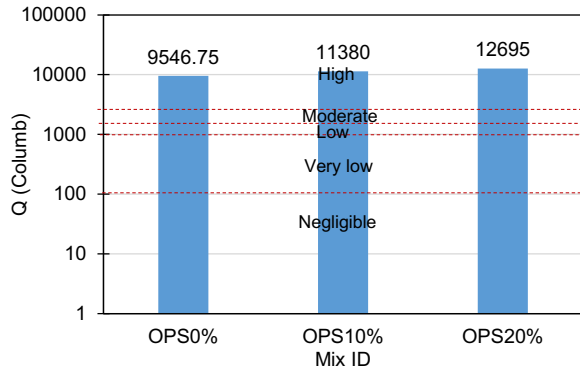
Gambar 9. Perubahan nilai HCP benda uji terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai HCP OPS0% (kontrol) stabil antara -50mV hingga 230 mV dan diprediksi belum mengalami korosi. Berbeda dengan nilai HCP pada benda uji OPS10% dan OPS20% tidak stabil dari awal hidrasi hingga mencapai umur 244 hari. Akan tetapi diakhir pengujian umur 244 hari benda uji OPS10% dan OPS20% diprediksi belum mengalami korosi (50% kemungkinan korosi) berdasarkan Tabel 3. Hal ini selaras dengan tingginya nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh benda uji OPS10% dan OPS20%. Teo dkk. [13] menduga bahwa durabilitas struktur beton dengan OPS sangat dipengaruhi oleh permeabilitas beton; dengan demikian, permeabilitas air dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi durabilitas beton. Lebih lanjut, Teo dkk. [13] menunjukkan bahwa durabilitas beton dengan OPS dipengaruhi oleh kondisi *curing*, dimana *curing* dengan air dapat memberikan sifat durabilitas yang lebih baik.

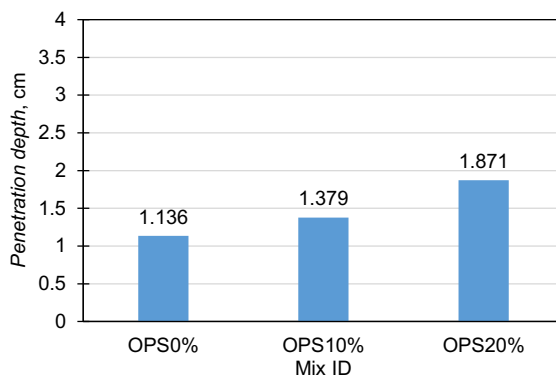
3.4. RCPT dan Kedalaman Ion Klorida

Nilai *nilai charge passed* berdasarkan metode RCPT benda uji umur 91 hari dapat dilihat pada Gambar 10. Berdasarkan Gambar 10 *nilai charge passed* benda uji OPS0%, OPS10% dan OPS20% berturut-turut sebesar 9546.75 Coulumb, 11380 Coulumb, dan 12695 Coulumb. Berdasarkan nilai tersebut, benda uji yang menggunakan 10% dan 20% OPS memiliki *nilai charge passed* (Coulumb) >4000 yang sama dengan benda uji OPS0% (kontrol) dengan kriteria penetrasi ion klorida yaitu *high penetration* berdasarkan Tabel 4.

Nilai penetrasi ion klorida benda uji umur 91 hari dapat dilihat pada Gambar 11. Berdasarkan Gambar 11 dapat dilihat bahwa penetrasi ion klorida benda uji OPS0%, OPS10% dan OPS20% berturut-turut sebesar 1.136 cm, 1.1379 cm dan 1.871 cm.



Gambar 10. Nilai RCPT umur 91 hari



Gambar 11. Kedalaman penetrasi klorida umur 91 hari

3.5. Pembahasan

Kuat tekan beton OPS 10% pada umur 20 hari memiliki nilai yang hampir sama dengan beton normal. Berdasarkan pengujian HCP dan RCPT, beton dengan OPS 10% dan 20% memiliki kriteria kemungkinan korosi 50% dan kedalaman penetrasi ion klorida yang sama dengan beton normal, sehingga beton menggunakan OPS hingga dapat dipertimbangkan sebagai pengganti sebagian agregat kasar. Islam mengamati bahwa nilai RCPT berkisar dari sekitar 3,581 Coulomb hingga 4,549 Coulomb pada umur 28 hari [15], yang menunjukkan penetrasi klorida sedang hingga tinggi [16]. Mutu beton merupakan faktor kunci yang mempengaruhi durabilitas beton. Pengurangan penetrasi klorida memerlukan permeabilitas air yang rendah, w/c

yang rendah, *curing* yang tepat, dan pencegahan retak, yang merupakan hal penting dalam pembuatan beton.

4. Kesimpulan

Penggunaan OPS hingga 20% dapat dipertimbangkan sebagai pengganti sebagian kerikil yang memiliki durabilitas yaitu kriteria kemungkinan korosi 50% berdasarkan ASTM C876-15 dan *high penetration* yang sama dengan beton normal.

5. Daftar Pustaka

- [1] I. Ridhayani, A. Dasar, A. Mahmuda, A. Manaf and D. Patah, "Perbandingan Kinerja Bata Beton Menggunakan Abu Cangkang Sawit, Abu Sekam Padi Dan Abu Serat Sagu," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 11, no. 2, pp. 241-8, 2023 Oct 28.
- [2] D. Patah and A. Dasar, "The Impact of using Rice Husks Ash, Seawater and Sea Sand on Corrosion of Reinforcing Bars in Concrete," *Journal of the Civil Engineering Forum*, pp. 251-262, 2023.
- [3] D. Patah, A. Dasar, Apriansyah and M. Caronge, "Strength Development of Seawater Mixed and Cured Concrete with Various Replacement Ratios of Fly Ash," *Materials Science Forum*, vol. 1091, pp. 111-118, 2023 Jul 5.
- [4] D. Patah and A. Dasar, "The Impact of using Rice Husks Ash, Seawater and Sea Sand on Corrosion of Reinforcing Bars in Concrete," *Journal of the Civil Engineering Forum*, pp. 251-262, 2023.
- [5] D. Patah and A. Dasar, "Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton," *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 10, no. 2, pp. 158-63, 2022 Oct 31.
- [6] D. Oktarina and N. Natalina, "Penggunaan Cangkang Kelapa Sawit Untuk Bata Beton Ringan," *Jurnal*

- Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [7] G. Vitri and H. Herman, "Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton," *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, vol. 6, no. 2, pp. 78-87, 2019 Jul 31.
- [8] A. Dasar and D. Patah, "Pasir dan Kerikil Sungai Mappili sebagai Material Lokal untuk Campuran Beton di Sulawesi Barat," *Bandar: Journal of Civil Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 9-14, 2021.
- [9] M. Mannan and C. Ganapathy, "Engineering properties of concrete with oil palm shell as coarse aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 16, no. 1, pp. 29-34, 2002 Feb 1.
- [10] U. Alengaram, B. Al Muhit and M. bin Jumaat, "Utilization of oil palm kernel shell as lightweight aggregate in concrete—A review," *Construction and building materials*, vol. 38, pp. 161-72, 2013 Jan 1.
- [11] P. Shafigh, M. Jumaat and H. Mahmud, "Oil palm shell as a lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 4, pp. 1848-53, 2011 Apr 1.
- [12] A. Neville, "Properties of concrete CTP-VVP," Malaysia, 2008.
- [13] D. Teo, M. Mannan, V. Kurian and C. Ganapathy, "Lightweight concrete made from oil palm shell (OPS): Structural bond and durability properties," *Building and environment*, vol. 42, no. 7, pp. 2614-21, 2007 Jul 1.
- [14] M. Mannan and C. Ganapathy, "Engineering properties of concrete with oil palm shell as coarse aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 16, no. 1, pp. 29-34, 2002 Feb 1.
- [15] M. Islam, K. Mo, U. Alengaram and M. Jumaat, "Durability properties of sustainable concrete containing high volume palm oil waste materials," *Journal of Cleaner Production*, vol. 137, pp. 167-77, 2016 Nov 20.
- [16] C. Astm, "Standard test method for electrical indication of concrete's," p. 1202, 1997.
- [17] D. Teo, M. Mannan, V. Kurian and C. Ganapathy, "Lightweight concrete made from oil palm shell (OPS): Structural bond and durability properties," *Building and environment*, vol. 42, no. 7, pp. 2614-21, 2007 Jul 1.