

PREDIKSI KUAT TEKAN BETON AGREGAT *RECYCLED* CAMPURAN AIR LAUT DENGAN *SCHMIDT REBOUND HAMMER TEST*

Lusman Sulaiman^{*1,3}, Umar Hamzah Matottorang¹, Ispianto², Muhmmad Fahrizal Nur²

¹Dosen, Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Pekerjaan Umum

²Mahasiswa, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andi Djemma

³Dosen, Jurusan Sipil, Fakultas teknik Universitas Andi Djemma

*Korespondensi: sulaimanusman@gmail.com

ABSTRACT

Nowadays, using recycled aggregate and seawater as replacing natural aggregate and freshwater in mixing have been main priority to be a new concrete construction material. However, in order to asses their strength performance in fast and accurate, an appropriate method needs to be determined. Therefore, the aim of this research is to evaluate and predict the compressive strength of recycled aggregate concrete (RAC) mixed seawater using Schmidt rebound hammer test (SRH) and the result value was corresponded to concrete compressive testing machine (CTM) as control test of concrete specimens. Total 72 samples divided into three concrete mixtures were designed and prepared in cylindrical samples with w/c ratio of 0.45 and target compressive strength of 25 MPa. The first mixture was named natural aggregate concrete (NAC) or BAN as control concrete with 100% natural aggregate and fresh water. The second and third mixtures were named BAR-50 and BAR-100 with the BAN replacement of 50% and 100% RAC respectively. Seawater as mixing was performed in mixture concrete of BAR-50 and BAR-100. All sample mixtures were then wet cured at different age of 7, 28, 56 and 90 days in fresh water. The results show a good correlation between SRH and CTM tests with having high correlation of $R^2=0.9908$. Also, a proposed mathematical model, equation 1, is created for quick calculation in predicting compressive strength of RCA. Therefore, the usage of SRH test is a realistic alternative to predict the compressive strength of recycled concrete with different percentage of replacement of NAC and mixing seawater.

Keywords : *Compressive Strength, Recycled Aggregate, Seawater, SRH*

1. PENDAHULUAN

Jumlah material sisa penghancuran dan buangan (P&B) beton tiap tahunnya mengalami peningkatan hingga berjuta-juta ton. Material tersebut kebanyakan hanya dimanfaatkan sebagai material timbunan reklamasi atau timbunan dasar untuk jalanan. [1]. Sehingga beberapa dekade hingga sekarang pembuatan elemen struktur beton dari bahan dasar *recycled* agregat kasar (RAK) telah banyak dibuat dan diteliti serta diaplikasikan dengan menggunakan sistem *recycle* dan manajemen yang terstruktur untuk keberlanjutan material bangunan beton [2], [3].

Sifat mekanik kuat tekan beton agregat

recycled (BAR) adalah faktor utama dalam menentukan apakah beton tersebut dapat digunakan sebagai material konstruksi bangunan atau sebaliknya [4]. Banyak penelitian telah dilakukan secara eksperimen di laboratorium tentang performa material BAR. Hasilnya terbukti bahwa aplikasi beton BAR menjadi prioritas utama di beberapa Negara dan sebagai material baru dalam bidang konstruksi dan industri beton [5].

Selain itu, komposisi material dalam campuran beton juga dapat mempengaruhi kekuatannya. Misalnya dengan adanya campuran air laut sebagai pengganti air tawar yang umum digunakan pada pembuatan beton.

kemudian adanya persen variasi *recycled* agregat dari sisa P&B beton memiliki karakteristik berbeda baik sifat fisik maupun mekaniknya.

Untuk menghasilkan beton baru dimana diharapkan dapat menjadi pengganti beton agregat normal (BAN) diperlukan sifat mekanik dan komposisi bahan yang kuat dan ekonomis serta ramah lingkungan. Selain itu metode untuk mengevaluasi kekuatan material dan struktur bangunan beton harus mempertimbangkan faktor efisien dan tidak menimbulkan dampak kerusakan konstruksi tersebut.

Seperti diketahui bahwa secara Umum *compressive testing machine* (CTM) adalah salah satu alat yang banyak digunakan dalam melakukan penilaian kekuatan material BAR. Namun biaya ditimbulkan tidak murah dan membutuhkan waktu yang tidak singkat serta tidak dapat dilakukan pengujian di lapangan. CTM memiliki sifat destruksi terhadap benda yang mengalami beban tekan sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengujian pada bangunan secara langsung. Oleh karena itu, salah satu alternatif alat yang dapat digunakan adalah *schmidt rebound hammer* (SRH). Alat ini dipercaya karena memiliki kemampuan untuk menentukan nilai kekuatan beton tanpa menghancurkan benda dan mudah dipindahkan serta dapat diandalkan.

Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan memprediksi kekuatan tekan BAR dengan campuran air laut menggunakan metode SRH dan CTM sebagai kontrol nilai pengujian sampel. Penelitian ini menggunakan persen variasi *recycled* agregat kasar (RAK) sebesar 0%, 50% dan 100% yang diperoleh dari sisa P&B beton serta air laut sebagai pengganti air tawar. Adapun lama perendaman adalah 7, 28,56 dan 90 hari dengan media air tawar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton agregat *recycled* (BAR)

Beton agregat *recycled* (BAR) adalah beton yang terdiri atas campuran semen, *recycled* agregat, dan air tawar. Terkadang air tawar dalam pencampuran dapat diganti dengan air laut dengan nilai kadar 3.5-5%. Selain itu agregat *recycled* dapat berupa agregat kasar maupun halus yang dapat diperoleh dari sisa hasil P&B struktur beton. Perlu diketahui bahwa syarat fisik dan mekanik *recycled*

agregat adalah menjadi hal mendasar dalam pembuatan beton *recycled* untuk mendapatkan kekuatan dan durabilitas sesuai rencana dan kondisi lingkungan sekitarnya [6]. Selain itu penggunaan struktur beton daerah pesisir pantai menjadi hal krusial sebab efek lingkungan air laut dapat merusak matrix beton hingga mencapai tulangan besi. Akibatnya, korosi tidak dapat dihindari dan keruntuhan struktur bangunan tiba-tiba dapat terjadi [7].

Berbagai aplikasi material BAR telah banyak dibuat pada elemen-elemen struktur seperti balok, kolom dan pelat. Penelitian yang dilakukan oleh Arezoumandi dkk [8] memperlihatkan bahwa kekuatan lentur maksimum balok yang terbuat dari 100% *recycled* agregat beton sangat comparative dengan balok terbuat dari agregat normal dengan nilai defleksi lebih dari 13%. Selain itu, Ajdukiewicz dan Kliszczewicz [9] mengungkapkan bahwa 16 buah balok dan 5 buah kolom yang terbuat dari beton *recycled* memiliki deformasi dan daya tekan lebih tinggi dibandingkan dengan balok dan kolom yang menggunakan material beton normal.

Dari penjelasan diatas, hal ini terlihat jelas bahwa desain dan pencampuran yang baik serta metode pengujian yang akurat sangat perlu dilakukan, terlebih saat menggunakan metode yang lebih simple dan ekonomis seperti *nondestructive test* (NDT). Percobaan eksperimen yang dilakukan oleh Hong dkk [10], menggunakan *ultrasonic pulse velocity* (UPV) untuk memprediksi kuat tekan beton agregat *recycled* terhadap 200 spesimen uji yang terbuat dari variasi pengganti *recycled* agregat (0, 30, 50, 100%) pada umur 1, 7, 28, dan 180 hari. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa nilai kuat tekan melampaui kuat tekan yang ditargetkan sebesar 40 dan 50 MPa dan korelasi antara kuat tekan *destructive* dengan *nondestructive test* sebesar $R^2=0.66$ yang berarti bahwa korelasi keduanya masih relative tinggi.

2.2. Karakteristik fisik, mekanik dan kimia *recycled* agregat

Ciri utama dari *recycled* agregat adalah bahan yang diperoleh dari sisa hasil buangan konstruksi dan industri beton yang kemudian diolah menjadi *recycled* agregat kasar (RAK) atau *recycled* agregat halus (RAH). Resapan air yang dimiliki lebih besar jika dibandingkan dengan natural agregat kasar (NAK). Hal ini

disebabkan oleh karena masih adanya mortar lama yang masih melekat padanya dimana pori-pori yang lebih banyak terbentuk hingga meningkatnya porositas. Idealnya adalah mortar lama memiliki sekitar 20% sampai 30% dalam perencanaan BAR untuk komponen struktural [11]. Terbukti bahwa dengan lebih tingginya nilai pengujian tumbukan (*crushing*) dan abrasi los angeles (LA) material *recycled* agregat dibanding natural agregat dimana nilai untuk *crushing* adalah sebesar 23.1 % untuk RAK vs 15.7 % untuk NAK dan abrasi LA bernilai 32 % untuk RAK vs 11 % untuk NAK [6].

Pada saat BAR berada pada kondisi lingkungan air laut, maka reaksi kimia akan terjadi sehingga menyebabkan terjadinya karbonasi. Hal ini terjadi akibat adanya proses permeabilitas dan difusi ion klorida kedalam pori-pori beton dengan waktu relatif singkat ditambah dengan meningkatnya persentase penggunaan RAK sehingga lebih mempercepat karbonasi. Selain itu, besarnya karbonasi pada BAR akan meningkat secara linear dengan penggunaan RAK mulai dari 20% hingga 100%. Namun, ini akan berbeda pada tiap-tiap wilayah atau daerah pantai atau laut dimana struktur bangunan tersebut berada [12]. Sehingga diperlukan suatu metode yang mudah dan efektif dalam manajemen evaluasi sisa kekuatan struktur beton yang terpapar baik secara langsung maupun tidak pada lingkungan air laut.

2.3. Schmidt rebound hammer (SRH)

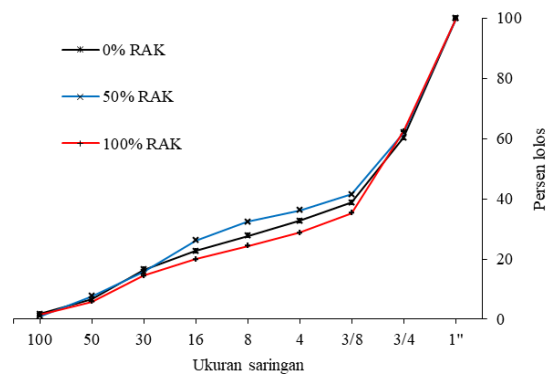
Diantara metode NDT yang ada, SRH adalah salah satu alat yang umum digunakan dalam mengevaluasi dan memprediksi kuat tekan beton. Alat ini digunakan sebab mudah dalam aplikasi, sederhana, mudah dibawa, ekonomis dan tidak menghancurkan benda. Penelitian yang dilakukan oleh Shariati dkk [13] menyimpulkan bahwa SRH lebih kompeten dibandingkan dengan UPV dan mesin *destructive* dalam hal menentukan kuat tekan beton. Selanjutnya kombinasi ketiganya dapat dilakukan untuk memprediksi kekuatan tekan yang lebih mendekati akurat jika dibandingkan dengan nilai masing-masing alat uji. Akan tetapi pengaplikasian SRH diperlukan kalibrasi untuk menentukan faktor koreksi yang dapat dilihat pada referensi [14].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Material

Portland composite cement (PCC) tipe I akan digunakan sebagai bahan pengikat agregat dimana sifat fisiknya terlebih dahulu dianalisis sesuai SNI 15-2049-2004. Tiga jenis agregat akan dipergunakan yaitu *recycled* agregat kasar (RAK), *natural* agregat kasar (NAK) dan *natural* agregat halus (NAH). RAK diperoleh dengan cara menghancurkan sisa sampel beton hasil konstruksi dan industri dari berbagai proyek pada wilayah kabupaten dan kota di Sulawesi selatan. Nilai kuat tekan sampel bervariasi dari 250 sampai 350 kg/cm² dengan diameter agregat kasar batu pecah sebesar maksimum #3/8. Kemudian dilakukan pemisahan antara mortar lama dan agregat kasarnya untuk menghasilkan material RAK.

RAK yang memiliki mortar lama harus dipastikan masih bersisa 30-50% sesuai rekomendasi [11]. Setelah itu dilakukan penyaringan dengan menggunakan alat *siever* untuk mendapatkan gradasi baik RAK maupun NAK dengan diameter maksimum butiran agregat kasar adalah 25 mm. Sedangkan gradasi maksimum NAH sebesar 4.75 mm



Gambar 1. Analisis gradasi agregat kasar

Tabel 1. Karakteristik fisik dan mekanik agregat halus dan kasar

Karakteristik fisik dan mekanik agregat	0% RAK	50% RAK	100% RAK	Pasir
Berat jenis spesifik (bulk)	2.50	2.48	2.55	2.58
Berat jenis spesifik (SSD)	2.57	2.51	2.65	2.55
Berat jenis spesifik (apparent)	2.68	2.62	2.7	2.52
Penyerapan (%)	2.59	2.63	2.66	1.62
Persen keausan (%)	23.18	24.35	25.18	-
Modulus kekasaran (%)	6.11	6.17	6.23	2.83

Tabel 2. Rasio campuran material sampel beton

Kategori	Semen (kg/m ³)	Pasir (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Air (kg/m ³)
BAN	411.11	588.32	1122.25	185
BAR-50	411.11	639.43	1537.71	185
BAR-100	411.11	517.03	1585.57	185

sesuai SNI 03-1968-1990. **Gambar 1** memperlihatkan hasil analisis gradasi agregat kasar dimana distribusi ukuran partikel agregat adalah seragam antara ketiga jenis campuran. Hal ini akan mempengaruhi kekuatan tekan beton yang diberikan beban tekan [15]. Selain itu hasil karakteristik agregat seperti kadar air, berat volume, *specific gravity* dan penyerapannya serta keausan dapat dilihat pada **Tabel 1**. Analisis tersebut berdasarkan SNI yang sesuai dengan pengujian karakteristik masing-masing agregat.

Air yang digunakan dalam desain campuran beton ada dua jenis yaitu air laut dengan kadar garam sebesar 3.5% sebagai campuran beton untuk 50%-RAK dan 100%-RAK dan air tawar sebagai campuran pada beton 0%-RAK sekaligus air perawatan untuk keseluruhan sampel.

3.2. Desain dan perawatan sampel

Development of environment (DOE) *system* adalah metode desain campuran beton yang dipakai pada penelitian ini [16]. Target kuat tekan rencana sebesar 250 kg/cm², faktor air semen (FAS) 0.45 dan *slump* beton segar berkisar 100±2 mm. Pada desain campuran juga berdasarkan input hasil karakteristik material penyusun beton sehingga mendapatkan proporsi rasio semen : agregat kasar : agregat halus : air seperti pada **Tabel 2**.

Total 72 sampel yang masing-masing terdiri atas dua kategori yaitu CTM 36 sampel dan SRH 36 sampel. Setiap kategori terdiri dari tiga jenis campuran yaitu satu jenis BAN sebagai kontrol sampel beton terdiri dari semen, air tawar, dan 100% *natural* agregat (kasar dan halus) dan dua jenis BAR yaitu semen, air laut, pasir alam dan RAK (50% dan 100%) atau dinamakan BAR-50 dan BAR-100. Proses pencampuran material pembentuk sampel dibuat dengan memperhatikan langkah-langkah sesuai dengan tata cara pembuatan dan perawatan sampel uji beton di laboratorium sesuai SNI 2439:2011. Beton segar dari tiga jenis campuran tersebut dihasilkan dan kemudian

dicetak ke dalam *mold* silinder.

Material BAN dan BAR yang telah terbentuk dengan ukuran $\phi 150 \times 300$ mm, kemudian dibiarkan selama 24 jam hingga campuran beton mengeras, lalu dilakukan perawatan. Perawatan spesimen dilakukan kedalam air tawar dengan suhu ruangan 25~30 °C dengan waktu selama 7, 28, 56 dan 90 hari. setelah mencapai waktu telah ditentukan, sampel kemudian dikeluarkan dalam bak perendaman untuk dilakukan pengujian kuat tekan dengan alat CTM dan SRH. **Tabel 3** memperlihatkan detail program yang dilakukan secara eksperimen di laboratorium.

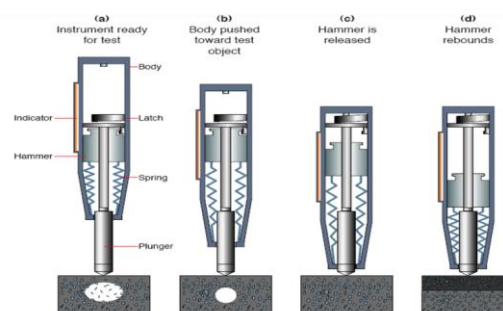
3.3. Analisis pengujian CTM dan SRH

3.3.1. Uji CTM

Penggunaan alat CTM diperuntukan sebagai kontrol pengujian kuat tekan. Jumlah 36 spesimen silinder untuk pengujian kuat tekan (f'_c) dengan menggunakan alat CTM. Kapasitas beban alat yang digunakan dapat mencapai beban tekan hingga 50 MPa dengan kecepatan secara berkesinambungan rata-rata sebesar 0.14 sampai 0.34 MPa/detik. Kondisi sampel silinder beton sebelum dilakukan pengujian adalah kering permukaan atau *saturated surface dry* (SSD) dan pengukuran diameter permukaan atas dan bawah sampel sebagai penentuan dalam perhitungan luas permukaan kontak (A) dengan beban tekan (P). Keseluruhan sampel silinder beton akan diuji dan dicatat setelah mencapai puncak beban maksimum yang terjadi pada sampel. Tata cara pengujian kuat tekan beton mengacu pada SNI 1947:2011.

3.3.2. Uji SRH

Pengujian kuat tekan pada 36 spesimen silinder dengan menggunakan SRH dilakukan setelah proses perawatan berbeda dengan variasi persen pengganti NAK.

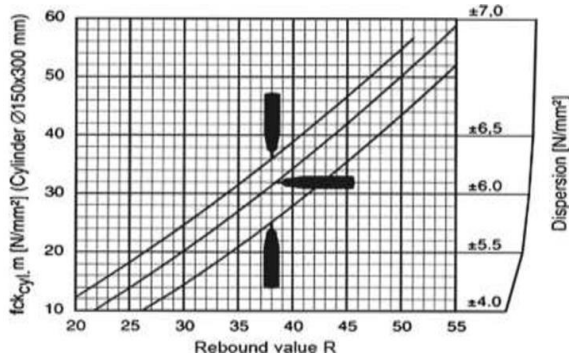


Gambar 2. Proses penggunaan SRH

Tabel 3. Detail penelitian

Jenis campuran	Material penyusun	Kuat tekan rencana (kg/cm ²)	Rasio w/c	Waktu rendaman (hari)	Media perawatan
BAN	Semen PCC Pasir sungai 0% RAK (100% NAK) Air tawar	250	0.45	7	Air tawar
				28	
				56	
				90	
BAR-50	Semen PCC Pasir sungai 50% RAK Air laut	250	0.45	7	Air tawar
				28	
				56	
				90	
BAR-100	Semen PCC Pasir sungai 100% RAK Air laut	250	0.45	7	Air tawar
				28	
				56	
				90	

Prosedur pengujian SRH mengacu pada SNI 03-4430-1997 dimana **Gambar 2** memperlihatkan proses penggunaan SRH. Untuk memperoleh data pengujian, *Rebound value* dicatat pada setiap titik pengujian dimana satu sampel dilakukan sebanyak sepuluh titik uji dengan posisi tekan secara vertikal. Hasilnya kemudian dikonversi melalui grafik pada **Gambar 3**.

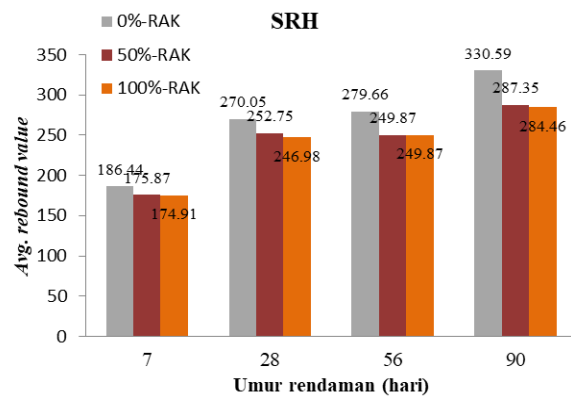


Gambar 3. Grafik konversi rebound value

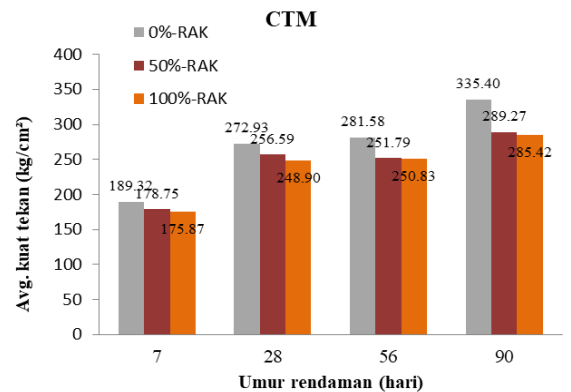
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil kuat tekan rata-rata dengan CTM, SRH dan CTM setelah pengujian SRH

Ringkasan hasil pengujian kuat tekan rata-rata dengan SRH, CTM dan CTM setelah pengujian SRH pada umur perawatan 7, 28, 56 dan 90 hari dengan persen variasi pengganti NAK dengan RAK dapat diperlihatkan pada **Tabel 4**. Secara umum pada tabel tersebut terlihat bahwa terjadi peningkatan kuat tekan mulai dari umur perawatan 7 hari hingga 90 hari untuk ketiga jenis campuran dengan menggunakan kedua metode yang digunakan.



Gambar 4. Hubungan *rebound value* SRH dan lama perendaman sampel uji



Gambar 5. Hubungan kuat tekan CTM dan lama perendaman sampel uji

Lebih lanjut, tidak ada perbedaan signifikan kuat tekan dengan CTM setelah uji SRH bila dibandingkan dengan uji CTM.

Gambar 4 dan **5** memperlihatkan detail hubungan antara rata-rata *rebound value* dan kuat tekan dengan lama waktu rendaman air tawar. Seiring peningkatan umur sampel beton terlihat bahwa *rebound value* beton 50%-RAK dan 100%-RAK campuran air laut mengalami peningkatan kekuatan namun masih berada di

Tabel 4. Ringkasan pengujian kuat tekan SRH,CTM dan CTM setelah uji SRH

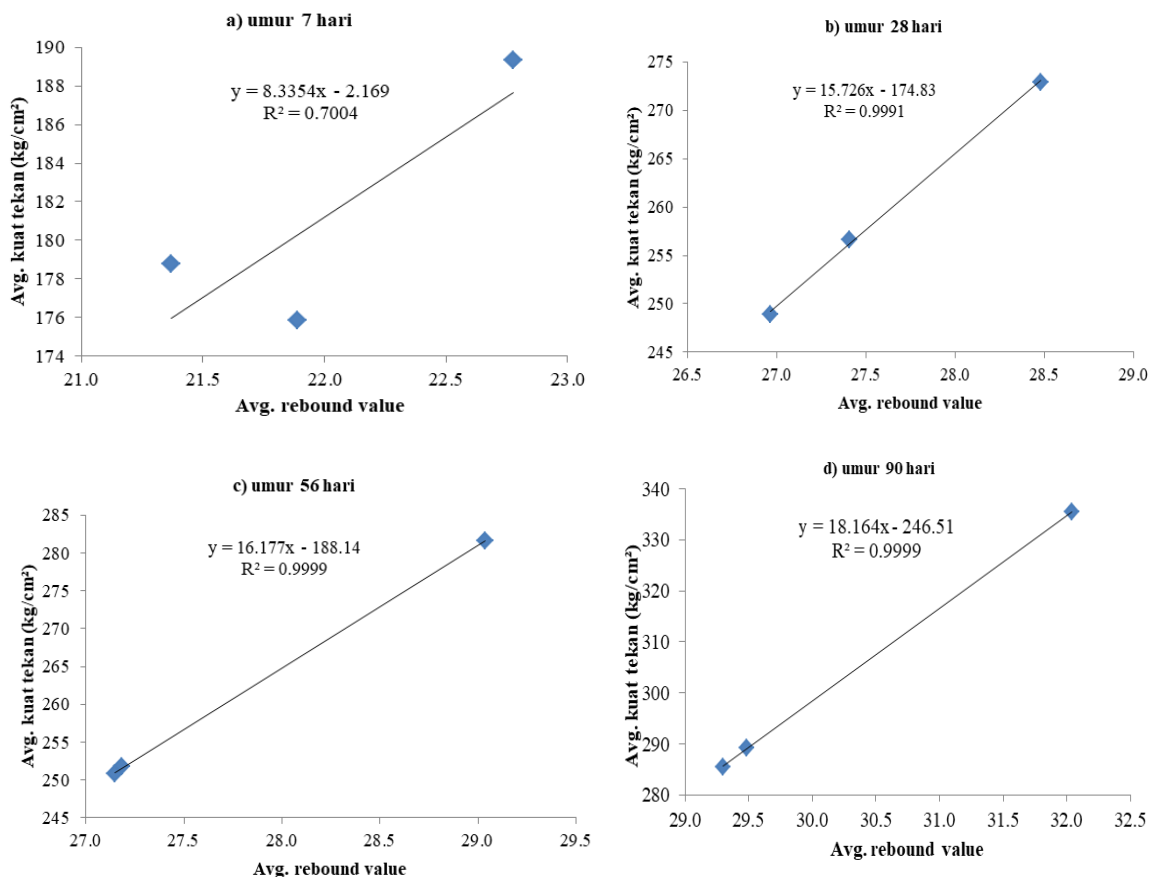
Metode	umur perendaman	0%-RAK	50%-RAK	100%-RAK
SRH (rebound number)	7	22.78	21.37	21.89
	28	28.48	27.41	26.96
	56	29.04	27.18	27.15
	90	32.04	29.48	29.30
CTM (kg/cm ²)	7	189.32	178.75	175.87
	28	272.93	256.59	248.90
	56	281.58	251.79	250.83
CTM setelah uji SRH (kg/cm ²)	7	186.44	175.87	174.91
	28	270.05	252.75	246.98
	56	279.66	249.87	249.87
	90	330.59	287.35	284.46

level bawah beton 0%-RAK (normal) sebagai kontrol beton. Walaupun demikian, target kuat tekan sebesar 250 kg/cm² dapat tercapai pada umur 90 hari untuk kedua campuran 50% dan 100%-RAK. Selain itu, selama waktu perendaman, peningkatan kekuatan baik uji SRH maupun CTM tetap terjadi dari umur 7 hari perendaman hingga 90 hari dengan rata-rata sebesar 1.5 kg/cm² untuk beton normal, 0.85 kg/cm² untuk 50%-RAK dan 0.13

kg/cm² untuk 100%-RAK.

Berdasarkan data diatas jelas bahwa dengan adanya peningkatan jumlah pengganti NAK dengan RAK hingga 100% akan menurunkan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh karena masih adanya mortar lama yang melekat pada agregat RAK sehingga menurunkan ikatan dengan mortar baru dengan menimbulkan *interface transition zone* (ITZ).

Walaupun demikian beberapa literatur mengungkapkan bahwa dengan adanya campuran air pada pembuatan beton tidak begitu signifikan mempengaruhi penurunan kekuatan beton [17]–[19]. Bahkan dapat meningkatkan kekuatan tekan material beton. Penelitian ini, Sifat korosi pada material beton tidak terlihat selama masa perendaman sehingga dapat disimpulkan bahwa korosi akan berpengaruh pada besi tulangan bila dikombinasikan dengan material beton. Oleh karena itu, perlu penelitian lanjut untuk kombinasi kedua material beton dan baja tulangan yang dipengaruhi oleh air laut baik sebagai rendaman/perawatan maupun campuran dalam pembuatan elemen struktur beton.



Gambar 6. Hubungan antara kuat tekan dan *rebound value*

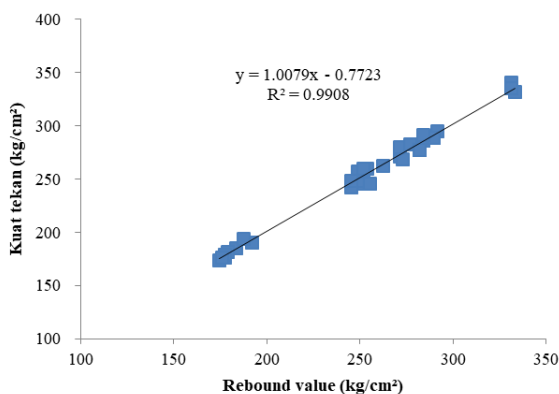
4.2. Hubungan kuat tekan CTM dan rebound value SRH

Hubungan data eksperimen antara kuat tekan (f_c) dan *rebound value* (RV) pada umur 7, 28, 56, dan 90 hari dapat diperlihatkan pada **Gambar 6**. Nilai R^2 diperoleh dengan menggunakan metode linear MS Excel dimana dengan sederhana dapat dijalankan dan direkomendasikan untuk menentukan korelasi kuat atau lemah. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa kuat tekan CTM dapat diprediksi kuat tekannya dengan menghubungkan nilai *rebound value* SRH.

Pada umur 7 hari nilai koefisien regresi diperlihatkan sebesar 0.7004, sedangkan umur 28 sebesar 0.9991, serta umur 56 dan 90 hari memiliki nilai serupa sebesar 0.9999 dimana hal ini mengindikasikan korelasi kuat. **Tabel 5** memperlihatkan model formula secara matematis keempat grafik pada **Gambar 6** di umur perendaman 7 hari (a), 28 hari (b), 56 hari (c) dan 90 hari (d) dengan variasi pengganti agregat kasar 0%-RAK, 50%-RAK, dan 100%-RAK. Dari berdasarkan tabel tersebut, prediksi kuat tekan beton dapat menggunakan formula model yang direkomendasikan baik dengan dan tanpa campuran RAK dan air laut.

4.3. Hubungan rebound value dan kuat tekan secara umum

Secara umum korelasi nilai R^2 antara kuat tekan CTM dan rebound value SRH terhadap beton *recycled* agregat campuran air laut dapat diperlihatkan pada **Gambar 7**. Nilai *rebound value* setelah dilakukan konversi nilai kedalam kuat tekan dengan menggunakan grafik **Gambar 7** memperlihatkan korelasi koefisien sebesar 0.9908. Hal ini memperlihatkan korelasi kuat antara kuat tekan dan *rebound*



Gambar 7. Hubungan secara umum kuat tekan vs *rebound value*

Tabel 5. Rekomendasi model formula matematis secara spesifik terhadap umur perendaman

Umur perendaman (hari)	formula	R^2
7	$f_c = 8.3354RV - 2.169$	0.7004
28	$f_c = 15.726RV - 174.83$	0.9991
56	$f_c = 16.177RV - 188.14$	0.9999
90	$f_c = 18.164RV - 246.51$	0.9999

value. Dari hubungan tersebut, penelitian ini merekomendasikan model matematis secara umum seperti pada **persamaan 1 (equation 1)**.

$$f'c = 1.0079RV - 0.7723 \quad (1)$$

5. KESIMPULAN

Schmidt rebound hammer dan *compressive testing machine* digunakan untuk memprediksi dan menentukan kuat tekan beton agregat *recycled* dengan campuran air laut. Hasil pengujian sampel beton silinder dengan menggunakan kedua alat uji tersebut memperlihatkan seiring meningkatnya waktu perendaman sampel uji maka terjadi peningkatan kuat tekan mulai dari umur 7 hari hingga 90 hari. Walaupun demikian, tiap waktu perendaman terjadi penurunan kuat tekan seiring meningkatnya jumlah pengganti NAK dengan menggunakan RAK. Namun secara umum, rencana kuat tekan yang diperoleh dari pengujian dapat tercapai. Selain itu, hasil pengujian juga diperoleh dari hubungan antara kuat tekan CTM dengan *rebound value* secara umum dengan nilai koefisien korelasi R^2 sebesar 0.9908. Berdasarkan nilai tersebut, Penggunaan alat SRH dapat digunakan untuk memprediksi kuat tekan material beton agregat *recycled* campuran air laut.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Xu, "Literature Review of Recycled Concrete Aggregate," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 638–640, pp. 1162–1165, Sep. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.638-640.1162.
- [2] V. Corinaldesi, "Structural Concrete Prepared with Coarse Recycled Concrete Aggregate: From Investigation to Design," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2011, pp. 1–6, 2011, doi: 10.1155/2011/283984.
- [3] C. J. Zega and A. A. Di Maio, "Recycled

- Concretes Made with Waste Ready-Mix Concrete as Coarse Aggregate,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no. 3, pp. 281–286, Mar. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000165.
- [4] J. Hrůza, J. Topič, L. Hlubocký, and T. Plachý, “Development of Mechanical Properties of Cement Based Composites with Recycled Concrete Aggregate,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 825, pp. 11–14, Feb. 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.825.11.
- [5] W. Bai, W. Li, J. Guan, J. Wang, and C. Yuan, “Research on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete under Uniaxial Compression Based on the Statistical Damage Model,” *Materials*, vol. 13, no. 17, p. 3765, Aug. 2020, doi: 10.3390/ma13173765.
- [6] K. McNeil and T. H.-K. Kang, “Recycled Concrete Aggregates: A Review,” *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 7, no. 1, pp. 61–69, Mar. 2013, doi: 10.1007/s40069-013-0032-5.
- [7] F. M. Wegian, “Effect of seawater for mixing and curing on structural concrete,” *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 235–243, Nov. 2010, doi: 10.1080/19373260.2010.521048.
- [8] M. Arezoumandi, A. Smith, J. S. Volz, and K. H. Khayat, “An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100% recycled concrete aggregate,” *Engineering Structures*, vol. 88, pp. 154–162, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.engstruct.2015.01.043.
- [9] A. B. Ajdukiewicz and A. T. Kliszczewicz, “Comparative Tests of Beams and Columns Made of Recycled Aggregate Concrete and Natural Aggregate Concrete,” *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 259–273, 2007, doi: 10.3151/jact.5.259.
- [10] S. U. Hong, S. H. Kim, and Y. T. Lee, “Estimation of Compressive Strength of Recycled Aggregate High Strength Concrete Using Ultrasonic Pulse Velocity,” *Key Engineering Materials*, vol. 605, pp. 147–150, Apr. 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.605.147.
- [11] M. Malešev, V. Radonjanin, and G. Bro, “PROPERTIES OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE,” *Contemporary Materials*, p. 11, 2014.
- [12] J. Xiao, D. Lu, and J. Ying, “Durability of Recycled Aggregate Concrete: An Overview,” *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 11, no. 12, pp. 347–359, 2013, doi: 10.3151/jact.11.347.
- [13] M. Shariati, N. H. Ramli-Sulong, P. Shafiqh, and H. Sinaei, “Assessing the strength of reinforced concrete structures through Ultrasonic Pulse Velocity and Schmidt Rebound Hammer tests,” *Sci. Res. Essays*, p. 8.
- [14] F. Aydin and M. Saribiyik, “Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings,” *Sci. Res. Essays*, p. 5.
- [15] M. Kang and L. Weibin, “Effect of the Aggregate Size on Strength Properties of Recycled Aggregate Concrete,” *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, pp. 1–8, 2018, doi: 10.1155/2018/2428576.
- [16] K. W. Day, *Concrete mix design, quality control, and specification*, 2nd ed. London ; New York: E & EN Spon, 1999.
- [17] T. I. Abdel-Magid, O. M. Osman, O. H. Ibrahim, R. T. Mohammed, S. O. Hassan, and A. A. H. Bakkab, “Influence of Seawater in Strengths of Concrete Mix Design when Used in Mixing and Curing,” *Key Engineering Materials*, vol. 711, pp. 382–389, Sep. 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.711.382.
- [18] L. Sulaiman and A. A. Fisu, “PENGARUH CAMPURAN AIR LAUT TERHADAP KUAT TEKAN BETON AGREGAT RECYCLED,” *REKAYASA SIPIL*, vol. 14, p. 8, 2020.
- [19] P. Alaejos and M. A. Bermúdez, “Influence of Seawater Curing in Standard and High-Strength Submerged Concrete,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 23, no. 6, pp. 915–920, Jun. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000231.