

PEMANFAATAN PASIR PANTAI SEPEMPANG DAN BATU PECAH ASAL RANAI SEBAGAI BAHAN PEMBUATAN BETON NORMAL

Ahmad Husin Siregar¹⁾, Satyarno²⁾, Tjokrodinuljo²⁾

¹⁾ Dinas Kimpraswil Kab. Natuna Jalan DT. KY Wan Mohd. Benteng Ranai

²⁾ Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik,
Universitas Gadjah Mada. Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

ABSTRACT

Dealing with development in many physical structure and infrastructure sectors, the use of concrete as building component is so wide. Natuna Regency area in manner concrete production always face difficulty in material, crushed aggregate and sand, because this material most of portion was still supplied from outside Natuna Regency that is Tanjung Pinang. In fact local material is quite enough, stone and sand, that wasn't used optimally. However, the use of material need to be study, this why the research was performed. This study has objective to determine characteristic of nature Sepempang's sand and Ranai's crushed aggregate as normally concrete material.

This research used material consist of Sepempang's sand as material, Ranai's crushed aggregate and Gresik's Portland cement Type I. Mix design was fixed with water cement ratio (w/c) 0.4; 0.5; 0.6 with slump variable value 6 ± 2 cm and 12 ± 2 cm. Total variation is 6 pieces, each variation 9 pieces cylinder and 3 cube test material.

Test result shows Sepempang's sands have fine sand grading 3.07 fineness modulus (FM), SSD density 2.58; 1.49 of bulk density; 0.44% of clay and other fine material, 242.77 ppm (0.024277%) of salt content and 147.24 ppm (0.014724%) of chloride ion. Ratio fines aggregate-crushed aggregate to concrete mix with slump value 6 ± 2 cm is 35%:65%, and for 12 ± 2 cm slump value is 40%:60%. Ranai's crushed aggregate has fineness modulus (FM) 7.13; 2.65 of SSD density, 1.52 of bulk density; 1.13% of absorption and 40.94 ppm (0.004094%) of chloride ion. Concrete with water cement ratio (w/c) 0.4 with cement content 475 kg/m^3 and 550 kg/m^3 respectively, have compressive strength 37.33 MPa and 36.20 MPa, for water cement ratio (w/c) 0.5 with cement content 380 kg/m^3 and 450 kg/m^3 respectively, have compressive strength 35.51 MPa and 31.68 MPa, and for water cement ratio (w/c) 0.6 with cement content 317 kg/m^3 and 375 kg/m^3 respectively have compressive strength 27.69 MPa and 26.26 MPa. The result of this research the Modulus of Elasticity of concrete formula $E = 4328\sqrt{f'c}$. The ratio of concrete compressive strength 3, 7, and 28 days age was 68%, 87%, and 100%. Generally, the conclusion is Sepempang's seashore sands and Ranai's crushed aggregate appropriate as normal concrete material.

KEYWORDS: seashore sands, normal concrete, salt content, compressive strength.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Salah satu tanggung jawab Pemerintah Daerah dalam menjalankan fungsinya sebagai pelayan masyarakat adalah menyediakan sarana dan prasarana fisik terhadap kebutuhan masyarakat. Dalam pelaksanaan pembangunan sebagian besar komponen bangunan terbuat dari beton.

Pemerintah Kabupaten Natuna dalam hal ini sering kesulitan dan tidak dapat berjalan secara normal dalam melaksanakan pembangunan fisik, karena bahan/material bangunan sebagian besar terutama batu pecah selama ini masih didatangkan dari luar daerah Kabupaten Natuna. Keadaan tersebut tentu saja menjadikan biaya pembangunan sangat tinggi, pertumbuhan ekonomi daerah menjadi lambat. Karena itu diperlukan alternatif untuk mengatasi masalah tersebut.

Pemanfaatan bahan bangunan lokal batu alam (rata-rata diameter 2 – 30 m) dan pasir pantai yang tersebar di wilayah perairan Natuna secara optimal merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi masalah tersebut. Namun bahan ini belum diketahui sifat-sifatnya dan kekuatannya apabila digunakan sebagai bahan bangunan (beton), sehingga perlu diteliti dulu sebelum digunakan sebagai bahan beton normal.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui sifat-sifat fisik pasir pantai Sepempang dan batu pecah dari Ranai, Kabupaten Natuna.
2. Mengetahui sifat-sifat beton normal dengan pemakaian bahan pasir pantai Sepempang dan batu pecah asal Ranai meliputi kuat tekan, serapan air, modulus elastisitas, nilai *slump* dan laju kenaikan kuat tekan beton

Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai dasar/acuan/referensi dalam pembuatan beton normal dengan penggunaan bahan lokal pasir pantai Sepempang dan batu pecah dari Ranai

Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian dibatasi terutama pada hal-hal pemanfaatan pasir pantai dan batu pecah asal Ranai untuk bahan beton terutama pada kuat tekan beton, dengan batasan-batasan sebagai berikut:

- 1) Agregat halus yang digunakan adalah pasir pantai Sepempang.
- 2) Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah asal Ranai dengan ukuran maksimum 40 mm.
- 3) Faktor Air Semen sebesar 0,4 ; 0,5 ; 0,60.
- 4) Adukan beton dibuat dengan *slump* : 6 ± 2 cm, 12 ± 2 cm.
- 5) Kuat tekan beton di uji pada umur 3, 7, 28 hari.

Keaslian Penelitian

Dari penelusuran yang dilakukan di berbagai pustaka, literatur maupun informasi lainnya bahwa penelitian tentang pemanfaatan pasir pantai Sepempang dan batu pecah asal Ranai sebagai bahan pembuatan beton normal menurut pengetahuan penulis belum pernah dilakukan.

Hipotesa

Berdasarkan pengamatan secara visual pasir pantai Sepempang mempunyai gradasi yang baik dan kandungan lumpur yang kecil (bersih) sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan beton normal. Batu pecah asal Ranai mempunyai tekstur permukaan yang kasar dan kekuatan yang cukup sehingga dapat dijadikan untuk bahan pembuatan beton normal.

TINJAUAN PUSTAKA

Hasil pemeriksaan kadar garam pasir pantai dari beberapa lokasi yang pernah diteliti adalah Pasir Pantai Samas tanpa pencucian sebesar 0,0017% (Trisno,2000), Pasir Pantai Alam Indah, Tegal Jawa Tengah tanpa pencucian sebesar 0,002% (Suroso, 2001), Pasir Pantai Parangtritis tanpa pencucian sebesar 0,022% (Purwanto,2002), Pasir Pantai Ketawang, Purworejo, Jawa Tengah tanpa pencucian sebesar 0,0887% (C. Aji Nusanto,2005).

British Code CP 110:1972 (Neville, 1987) memberikan batasan maksimum kandungan garam CaCl (*Calcium Chloride*) dari agregat laut sebesar 1% dari berat semen yang digunakan, bahkan untuk penggunaan semen alumina atau beton prategang hanya 0,1%. Hal ini disebabkan kandungan garam yang ada bila berhubungan dengan udara akan menimbulkan *efflorescence*. Menurut Basic Construction Materials (Hirubin, 1931, dalam Sing, 1994) batasan kandungan garam adalah sebesar 2% dari berat agregat. Dengan demikian pasir pantai tersebut diatas dapat digunakan sebagai agregat halus pada pembuatan beton.

LANDASAN TEORI

A. Agregat

1. Sifat-sifat agregat halus sesuai dengan SNI 03-6861.1-2002 (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam)
2. Untuk persyaratan kekerasan agregat kasar adalah dengan uji Los Angeles dan bejana Rudeloff (SNI 03-6861.1-2002)
3. Gradasi agregat halus dan agregat kasar menurut SNI 03-2834-1993

B. Gradasi Agregat Campuran

Gradasi agregat campuran untuk beton normal menurut SNI-03-2934-1993 (tata cara pembuatan beton normal) tercantum dalam Gambar 1.

C. Sifat-sifat yang harus dipenuhi beton kedap air dalam SNI-03-2914-1992 (Spesifikasi beton bertulang kedap air)

D. Hubungan modulus elastisitas dan kepadatan beton dalam SNI 03-2847-2002 (Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung) untuk beton normal dinyatakan :

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \tag{1}$$

E_c = Modulus elastisitas beton tekan (Mpa),

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

Agregat halus adalah berupa pasir pantai yang diambil dari pantai Sepempang Desa Sepempang Kabupaten Natuna, dan agregat kasar adalah batu pecah dari Ranai Kabupaten Natuna, semen yang dipakai adalah semen Type I merk Semen Gresik.

B. Alat penelitian

Alat-alat yang digunakan adalah: Ayakan, mesin getar, timbangan, gelas ukur, kerucut konic, jangka sorong, oven pengering, *riffle boxes*, piknometer, bejana baja, mesin aduk beton, cetok dan talam, kerucut Abrams, cetakan benda uji, alat pemadat, bak air, oven pengering beton, mesin uji tekan, compressometer, mesin uji ketahanan aus (Los Angeles), alat uji Rudeloff.

C. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini secara umum meliputi persiapan bahan dan alat, uji pendahuluan (bahan-bahan), perancangan campuran benda uji, pembuatan benda uji, perawatan, pengujian benda uji, analisis data, pembahasan, seperti terlihat dalam diagram alir pada Gambar 2.

D. Benda Uji

1. Benda uji

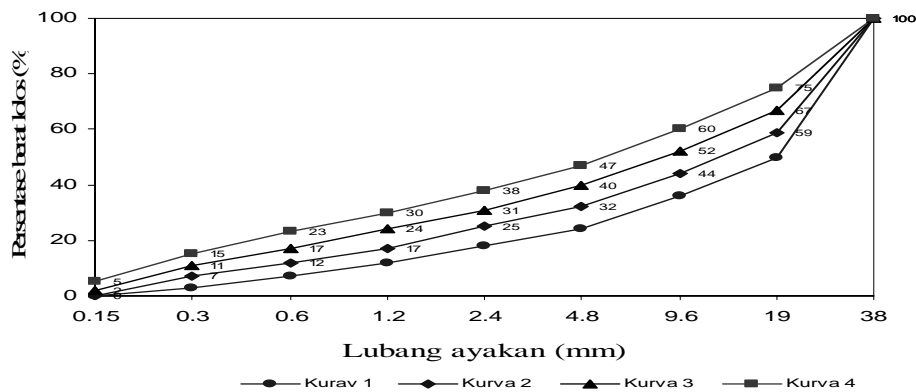
Pemeriksaan bahan-bahan dan benda uji (sifat-sifat fisika dan sifat mekanika) dilakukan sesuai dengan peraturan Standar Nasional Indonesia.

2. Perancangan campuran sesuai dengan SNI 03-2834-1993. Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

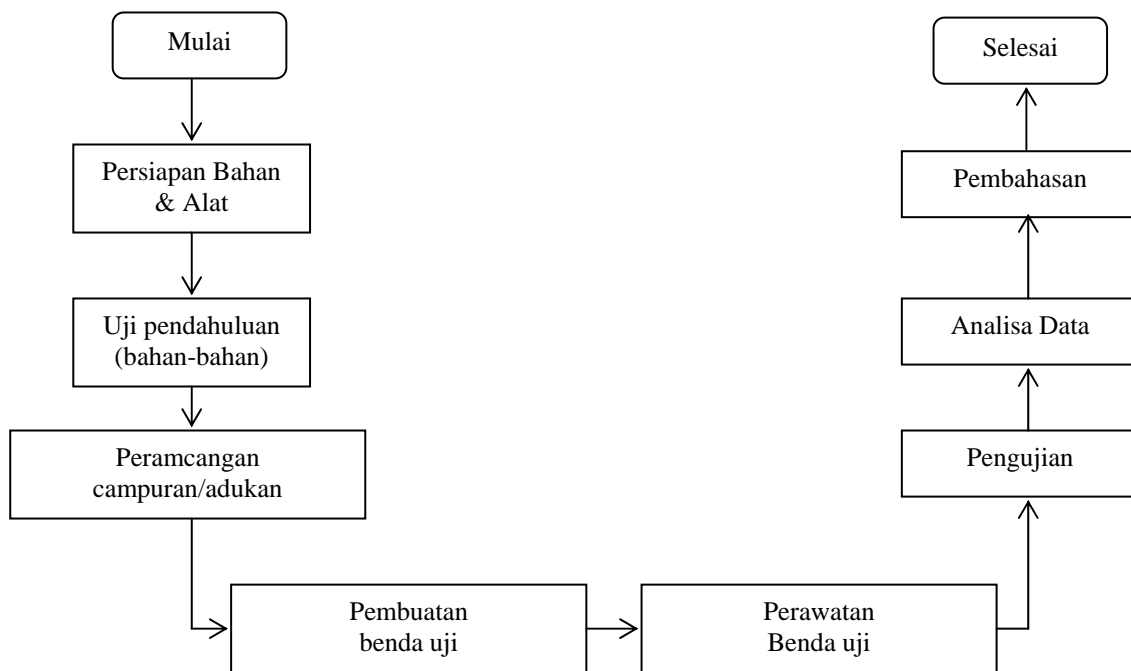
E. Tahap perancangan adukan sesuai dengan SNI 03-2834-1993

METODOLIGI PENELITIAN

A. Bahan Penelitian



Gambar 1. Gradasi agregat campuran untuk beton normal dengan butir maksimum 40 mm (SNI-03-2834-1993)



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Perencanaan adukan beton

No	Kode Benda Uji	Fas	Jumlah Semen (Kg/m ³)	Jumlah Air (liter /m ³)	Jumlah Pasta (Kg/m ³)	Nilai Slump (cm)
I	A.1	0.40	475	190	665	6±2
	A.2		500	200	700	12±2
II	B.1	0.50	380	190	570	6±2
	B.2		400	200	600	12±2
III	C.1	0.60	317	190	507	6±2
	C.2		333	200	500	12±2

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Agregat

- Berat jenis pasir pantai Sepempang sebesar 2,55, daya serap air sebesar 1,15%, berat satuan 1,49, dan berat jenis jenuh kering muka (SSD) 2,58, sedangkan berat jenis batu pecah asal Ranai adalah 2,64, berat SSD adalah 2,65, daya serap air 0,77% dan berat satuan sebesar 1,5.
- Kandungan lumpur pasir pantai Sepempang sebesar 0,44% sehingga memenuhi syarat SK SNI S-04-1989-F
- Hasil uji Los Angeles bagian yang hancur 43% dan uji Rudeloff (fraksi 9,5-19) yang hancur 22,33%.
- Gradasi agregat halus pasir pantai Sepempang masuk dalam daerah II (agak kasar) juga diketahui nilai mhb pasir pantai Sepempang sebesar 3,07, dan mhb batu pecah 7,13.
- Pemeriksaan kadar garam (NaCl) pasir pantai Sepempang, kandungan ion Khlorida (Cl) batu pecah dan pasir dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengkajian Terpadu (LPPT) UGM Yogyakarta. Dari hasil pemeriksaan diketahui pasir pantai Sepempang memiliki kadar NaCl sebesar 242,77 ppm (0,024277%), sedangkan kadar ion Cl pasir pantai Sepempang sebesar 147,24 ppm (0,014724%) dan batu pecah asal Ranai sebesar 40,94 ppm (0,004094%).

B. Nilai slump

Dari Gambar 3 tampak bahwa semakin banyak pasta semakin tinggi nilai *slump*. Hal ini karena semakin banyak pasta berarti semakin tebal lapisan pasta dipermukaan butiran agregat sehingga gesekan antara butir agregat semakin kecil dan nilai *slump* semakin tinggi (Tjokrodimuljo, 1998). Tampak pula bahwa semakin tinggi fas semakin tinggi nilai slump karena pasta semakin encer sehingga kohesi pasta semakin rendah. Pengujian nilai slump untuk masing-masing adukan beton dapat dilihat pada Tabel 2.

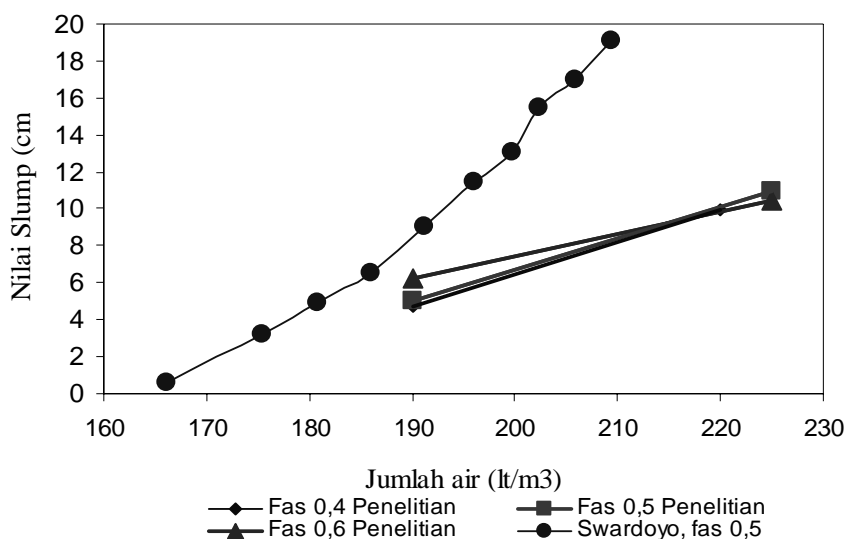
1. Pengaruh jumlah air per meter kubik beton dan factor air semen terhadap nilai slump dapat dilihat pada Gambar 3. Tampak bahwa pada fas yang sama semakin banyak air dalam adukan semakin tinggi nilai *slump*. Keadaan

ini disebabkan karena semakin banyak jumlah air berarti semakin banyak pasta (anggapan pasta sebagai pelumas) sehingga lapisan pasta dipermukaan butiran agregat semakin tebal sehingga gesekan antara butir agregat semakin kecil dan nilai slump semakin tinggi (Tjokrodimuljo, 1998).

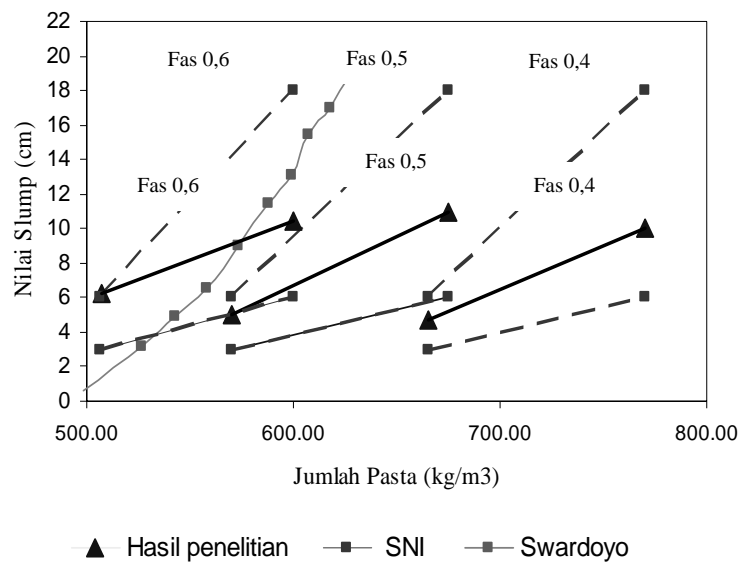
2. Hubungan antara jumlah pasta dan nilai *slump* seperti Gambar 4. Dari Gambar 4, tampak bahwa semakin banyak pasta semakin tinggi nilai *slump*. Hal ini sesuai dengan pendapat Tjokrodimuljo,(1998) karena semakin banyak pasta berarti semakin tebal lapisan pasta dipermukaan butiran agregat sehingga gesekan antara butir agregat semakin kecil dan nilai *slump* semakin tinggi .

Tabel 2. Nilai *slump* adukan beton

No	Kode Benda Uji	Fas	Nilai Slump Rencana (cm)	Nilai Slump hasil (cm)	Jumlah Semen (Kg/m ³)	Jumlah Air (liter /m ³)	Jumlah Pasta (Kg/m ³)
I	A.1	0.40	6±2	4,75	475	190	665
	A.2		12±2	10	550	220	770
II	B.1	0.50	6±2	5	380	190	570
	B.2		12±2	11	450	225	675
III	C.1	0.60	6±2	6.20	317	190	507
	C.2		12±2	10,43	375	225	600



Gambar 3. Hubungan antara jumlah air dan nilai *slump*.



Gambar 4. Hubungan antara jumlah pasta, faktor air semen dan nilai slump.

C. Kebutuhan Bahan Tiap Meter Kubik Beton

Meskipun berat jenis hasil penelitian tidak jauh berbeda jauh dengan asumsi awal namun hal ini mengakibatkan sedikit perbedaan kebutuhan bahan tiap m³ beton dapat dilihat pada Tabel 3.

D. Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa kuat tekan beton dalam penelitian ini masih lebih tinggi dari rata-rata kuat tekan beton grafik SNI 03-2834-1993. Ini menunjukkan apabila dilakukan mix

design, pelaksanaan serta perawatan beton dengan prosedur yang baik dapat menghasilkan kuat tekan beton yang disyaratkan walaupun kuat agregatnya sendiri sedikit dibawah standar.

E. Modulus Elastisitas Beton

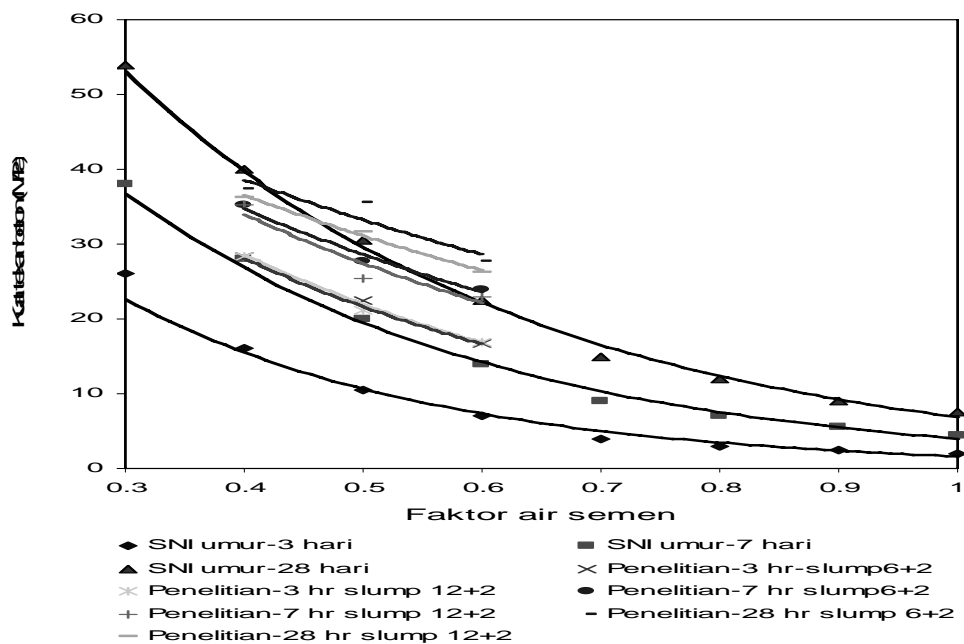
Dari hasil perhitungan diperoleh persamaan modulus elastis beton dalam penelitian ini adalah $E = 4328\sqrt{f'c}$. Nilai ini sedikit dibawah nilai modulus elastis untuk beton normal menurut SNI 03-2847-2002 yaitu $E = 4700\sqrt{f'c}$.

Tabel 3. Kebutuhan Bahan tiap m³ beton

Kode Benda Uji	Fas	Jumlah semen (kg/m ³)	Air (liter)	Berat beton (kg/m ³)	halus ; kasar	Berat agregat (kg/m ³)	Berat Agregat Halus (kg/m ³)	Berat agregat kasar (kg/m ³)
A1	0.4	475	190	2392.23	35 : 65	1727.23	604.53	1122.70
A2	0.4	550	220	2358.98	40 : 60	1588.98	635.59	953.39
B1	0.5	380	190	2346.58	35 : 65	1776.58	621.80	1154.78
B2	0.5	450	225	2350.11	40 : 60	1675.11	670.04	1005.07
C1	0.6	317	190	2289.99	35 : 65	1782.99	624.05	1158.945
C2	0.6	375	225	2328.58	40 : 60	1728.58	691.43	1037.15

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada

Kode Benda Uji	Kuat tekan (Mpa)		
	Umur 3 hari	Umur 7 hari	Umur 28 hari
A.1.1	29,41	34,51	40,16
A.1.2	27,15	37,33	33,94
A.1.3	28,28	33,94	37,90
Rata-rata	28,28	35,26	37,33
A.2.1	26,58	37,33	40,16
A.2.2	30,00	31,68	40,73
A.2.3	28,66	36,78	27,72
Rata-rata	28,41	35,26	36,20
B.1.1	21,50	23,76	34,22
B.1.2	23,44	31,68	35,83
B.1.3	22,36	27,72	36,48
Rata-rata	22,43	27,72	35,51
B.2.1	22,91	25,80	35,64
B.2.2	19,80	25,40	27,15
B.2.3	20,65	25,17	32,24
Rata-rata	21,18	25,45	31,68
C.1.1	17,20	24,08	31,39
C.1.2	15,84	25,17	26,22
C.1.3	16,97	22,63	25,45
Rata-rata	16,67	23,96	27,69
C.2.1	17,25	22,06	27,80
C.2.2	16,40	22,93	25,17
C.2.3	16,91	24,00	25,80
Rata-rata	16,86	23,00	26,26



Gambar 5. Grafik kuat tekan hasil penelitian dan SNI 03-2834-1993.

F. Serapan Air pada Beton

1. Hubungan antar jumlah pasta dan serapan air

Beton kedap air normal adalah yang bila diuji dengan perendaman dalam air selama $10 \pm 0,5$ menit, serapan maksimum sebesar 2,5% dan bila diuji dengan perendaman dalam air selama 24 jam serapan maksimum 6,5% (SNI 03-2914-1992), Gambar 6 dan Gambar 7.

2. Tingkat kedekatan terhadap persyaratan SNI-03-2914-1992

Dari hasil penelitian ini terlihat bahwa nilai serapan air pada beton masih di bawah serapan maksimum yang diizinkan untuk perendaman 10 menit dan perendaman 24 jam (6,5%) sehingga

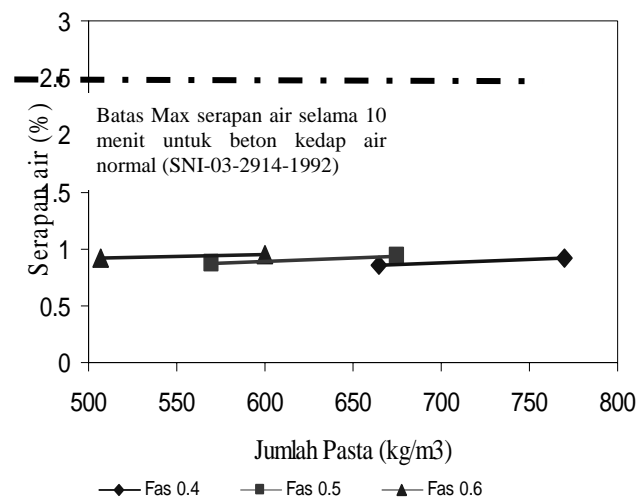
memenuhi syarat beton kedap air normal menurut SNI -03-2914-1992.

KESIMPULAN DAN SARAN

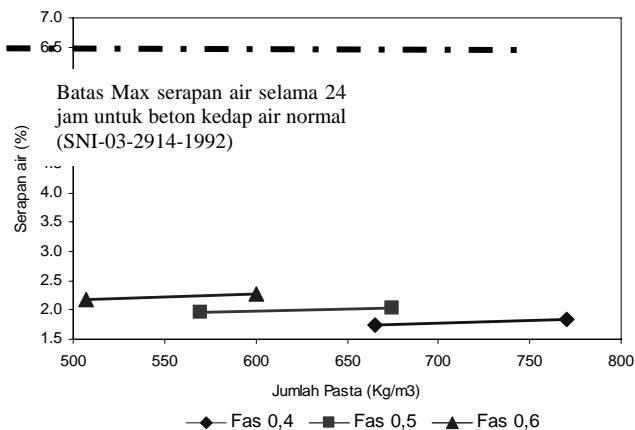
A. Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan hasil penelitian maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik fisik pasir pantai Sepempang, Kec. Bunguran Timur, Kab. Natuna, Kepulauan Riau meliputi kandungan lumpur sebesar 0,44%, memenuhi syarat SK SNI S-04-1989-F, gradasi pasir pantai Sepempang termasuk golongan II (sedang) dengan mhb 3,07, kandungan garam 242,77 ppm (0,0242 %), sehingga tidak perlu dilakukan pencucian.



Gambar 6. Hubungan antara jumlah pasta, faktor air semen dan serapan air pada beton dengan lama perendaman 10 menit.



Gambar 7. Hubungan antara jumlah pasta, faktor air semen dan serapan air pada beton dengan lama perendaman 24 jam.

2. Karakteristik fisik batu pecah asal Ranai, Kec. Bunguran Timur, Kab. Natuna, Kepulauan Riau meliputi kandungan ion khlorida 40,94 ppm ($0,004094^{-4}$ %) memenuhi syarat SNI 03-2847-2002, hasil uji Los Angeles bagian yang hancur 43%, sedangkan hasil uji Rudeloff (fraksi 9,5-19 mm) bagian yang hancur 22,33%

3. Karakteristik beton yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil uji keausan Los Angeles, menurut SNI 03-6861.1-2002 batu pecah asal Ranai tidak dapat digunakan untuk beton kelas II (mutu $f'c$ 10-20 MPa) berarti hanya dapat digunakan untuk beton kelas I (mutu Bo dan B1) saja, sedangkan hasil uji Rudeloff (fraksi 9,5-19 mm) , tidak dapat digunakan untuk beton kelas III (diatas 20 MPa), akan tetapi dapat digunakan untuk beton kelas I (mutu Bo dan B1, $f'c=10$ MPa) dan kelas II (mutu $f'c$ 10-20 MPa) saja, namun pada penelitian ini menghasilkan kuat tekan beton kelas III ($f'c > 20$ MPa).
- b. Diperoleh rumus Modulus Elastisitas beton

$$E = 4328\sqrt{f'c}$$
- c. Secara umum hipotesa yang diajukan dalam penelitian ini terbukti benar bahwa pasir pantai Sepempang dan batu pecah asal Ranai dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan beton normal dengan tetap memperhatikan mix design terlebih dahulu.

B. Saran

1. Apabila pasir pantai Sepempang dijadikan bahan pembuatan beton sebaiknya diendapkan terlebih dahulu sehingga air laut terpisah dari pasir.
2. Perlu penyebarluasan informasi bahwa pasir pantai Sepempang dan batu pecah asal Ranai layak dijadikan sebagai bahan pembuatan beton normal.
3. Perlu dikembangkan penelitian lebih lanjut hubungan kuat tekan beton dengan hasil uji Los Angeles dan Rudeloff, dimana dalam SNI 03-6861.1-2002 disyaratkan bahwa apabila

hasil uji Los Angeles yang hancur > 40 % dan uji Rudeloff (fraksi 9,5-19 mm) bagian yang hancur > 16 % tidak memenuhi syarat untuk bahan beton $f'c > 20$ MPa (diatas K225)

DAFTAR PUSTAKA

- Neville, A.M and Brook, J.J, 1987, *Concrete Technology, Logman Scienific & Tevhnical* Copublished in the United States with Jhon Wiley & Inc, New York
- Nusanto, C., 2005, *Pemanfaatan Pasir Pantai sebagai Bagian Agregat Halus pada Beton Kedap Air (Suatu Studi Kasus Pasir Pantai Ketawang Purworejo, Jawa Tengah)*, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Popovich, S.1979, *Concrete Making Materials*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington
- Purwanto, S., 2002, *Pemanfaatan Pasir Pantai Parangtritis sebagai bahan Agregat Halus pada Beton*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Shetty, M.S., 1997, *Concerte Technology*, S.Chand & Company Ltd, New Delhi
- SNI 03-2834-1993, *Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal*
- Suroso, H., 2001, *Pemanfaatan Pasir Pantai sebagai bahan Beton (Suatu Study Kasus Pasir Pantai Alam Indah Tegal Jawa Tengah)*, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Swardoyo, 2002, *Pengaruh Jumlah Semen dan Faktor Air Semen Terhadap Nilai Slump dan Kuat Tekan pada Beton dengan Agregat Batu Pecah*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yokyakarta
- Tjokrodumuljo, K., 1996, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta
- Tjokrodumuljo, K., 2004., *Teknologi Beton*, Buku Ajar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Trisno, R., 2002, *Pemanfaatan Pasir Pantai Samas sebagai bahan Agregat Halus pada Beton*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.