

BETON NON-PASIR

Diarto Trisnoyuwono, S.T., M.T.

PERPUSTAKAAN
KEARSIPAN
DI JAWA TIMUR

91.3
DIA
b2



BETON NON-PASIR

Diarto Trisnoyuwono, S.T., M.T.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan pada Allah swt, yang telah menganugerahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat memperoleh kekuatan dan hidayah untuk menyelesaikan penulisan buku ini.

Penulis juga ingin mengucapkan limpah terima kasih kepada alumni Magister Teknologi Bahan Bangunan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta beserta teman – teman seangkatan 2006, dari sanalah ide dan materi buku ini penulis peroleh melalui proses pembimbingan perkuliahan dari para pengajar yang berdedikasi tinggi.

Buku ini memperkenalkan salah satu teknologi bahan beton ringan yaitu beton non pasir atau beton yang tidak atau sedikit menggunakan agregat halus (pasir) dalam campurannya, beton ini memiliki sifat dapat melewatkan air yang besar (permeabilitas tinggi), berbobot ringan dengan penggunaan semen yang minim. Karena lingkup aplikasinya yang luas yang mencakup konstruksi perkerasan jalan, dinding penahan, rumah tinggal, gedung bertingkat, buis beton sampai barang – barang kerajinan sehingga diharapkan melalui buku ini dapat menjadi sumbangsih dan solusi untuk menyebarkan teknologi bahan

M I L I K
Badan Perpustakaan
dan Kearsipan
Propinsi Jawa Timur

405-49016 P1/P12dy.

BETON NON-PASIR, oleh Diarto Trisnoyuwono
Hak Cipta © 2014 pada penulis



GRAHA ILMU

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-882262; 0274-889398; Fax: 0274-889057;

E-mail: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memin-dahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: 978-602-262-242-0
Cetakan ke I, tahun 2014

bangunan yang lebih ramah lingkungan serta dapat menjadi jalan keluar bagi sejumlah permasalahan konstruksi di Indonesia.

Semoga buku ini bermanfaat bagi para praktisi teknik sipil maupun masyarakat luas yang ingin menerapkan teknologi beton non pasir di lingkungannya. Sumbang saran dari para pembaca sangat diharapkan demi perbaikan isi buku ini. Terima kasih.

Kupang, April 2014

Diarto Trisnoyuwono



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 BETON NON-PASIR	1
1.1 Apa Itu Beton Non-pasir	1
1.2 Karakteristik Kekuatan Beton Non-pasir	3
1.3 Proporsi Campuran	4
1.4 Contoh Desain Campuran Beton Non-pasir (Raju, 1983)	5
BAB 2 APLIKASI SEBAGAI LAPIS PERKERASAN JALAN	7
2.1 Persoalan Genangan di Saat Musim Hujan	7
2.2 Mengapa Beton Non-pasir Bermanfaat dalam Melestarikan Lingkungan	9
2.3 Contoh Proporsi Campuran Beton Non-pasir	12
2.4 Bagaimana Membuat Lapis Perkerasan dari Beton Non-pasir	13
2.4.1 Lapisan Sub Grade	14

2.4.2 Lapisan Lembar Penyaring (<i>Filter Fabric</i>)	15
2.4.3 Lapisan Sub Base	16
2.4.4 Lapisan Permukaan Beton Non-pasir	16
2.5 Pembuatan Celah Dilatasi (<i>Tranverse Joint</i>)	24
2.6 Perawatan Beton	25
2.7 Pemeliharaan Perkerasan Beton Non-pasir	26
2.8 Spesifikasi Perkerasan	27
2.8.1 Konstruksi Perkerasan dengan Beban Lalu Lintas Ringan	28
2.8.2 Konstruksi Halaman Parkir dan Jalan dengan Lalu Lintas Ringan-Sedang	29
2.8.3 Lalu Lintas Berat	30
2.9 Bagaimana Menguji dan Memeriksa Hasil Pekerjaan Perkerasan Beton Non-pasir	30
BAB 3 APLIKASI SEBAGAI BAHAN BANGUNAN GEDUNG	35
3.1 Sejarah Singkat	35
3.2 Beton Non-pasir di Indonesia	37
3.3 Hasil Uji Coba di Lapangan	37
3.4 Bagaimana Aplikasi Beton Non-pasir untuk Bangunan Gedung	42
3.5 Hasil Penelitian	42
3.5.1 Penelitian Terhadap Kebutuhan Semen Per m ³ Beton	42
3.5.2 Penelitian Terhadap Berat Jenis dan Kekuatan Beton Non-pasir	44
3.5.3 Penelitian Penggunaan Beton Non-pasir untuk Elemen Struktur Bangunan	45
3.6 Contoh Perancangan Campuran Beton Non-pasir	48

DAFTAR PUSTAKA 51

-oo0oo-



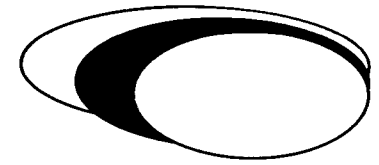
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Karakteristik Utama dari Beton Non-pasir (Aoki, 2009)	2
Gambar 1.2	Hubungan Antara Kuat Tekan, w/c ratio, a/c ratio Untuk Beton Non-Pasir (M.S. Shetty, 2009)	3
Gambar 2.1	Teknologi Beton Non-Pasir Mendukung Konservasi Sumber Daya Air (NRMC, 2004)	10
Gambar 2.2	Beton Non-Pasir Dapat Meneruskan Air Ke Sistem Perakaran Tanaman (NRMC, 2004)	11
Gambar 2.3	Pemadatan Tanah Dasar (NRMC, 2004)	15
Gambar 2.4	Pemasangan Lembaran Non-Woven Geotextile (NRMC, 2004)	15
Gambar 2.5	Penyiapan Lapis Pondasi Berbutir (pemadatan dan memberi kelembaban yang cukup) (NRMC, 2004)	16
Gambar 2.6	Bentuk-bentuk Partikel Agregat BS 812: Part I: 1975	17
Gambar 2.7	Uji Konsistensi Campuran (Aoki, 2009)	18
Gambar 2.8	Ketersediaan Personil Yang Cukup Menjamin Pelaksanaan yang Baik (NRMC, 2004)	19
Gambar 2.9	Penyiapan Acuan Perkerasan (NRMC, 2004)	20

Gambar 2.10	Penuangan Campuran (NRMC, 2004)	21
Gambar 2.11	Proses Penghamparan dan Pemadatan Lapis Permukaan (NRMC, 2004)	21
Gambar 2.12	Pemadatan Dengan Static Roller(NRMC, 2004)	22
Gambar 2.13	Penghamparan Tanpa Adanya Acuan (NRMC, 2004)	22
Gambar 2.14	Pemadatan Tepi Perkerasan(NRMC, 2004)	23
Gambar 2.15	Perapihan Tepi Perkerasan (NRMC, 2004)	23
Gambar 2.16	Pembuatan Celah Dilatasi (NRMC, 2004)	24
Gambar 2.17	Perataan Permukaan di atas Lembaran Plastik (NRMC, 2004)	25
Gambar 2.18	Proses Perawatan Beton (NRMC, 2004)	26
Gambar 2.19	Proses Pemeliharaan Perkerasan (NRMC, 2004)	27
Gambar 2.20	Lapis Perkerasan untuk Konstruksi Jalan Berbeban Ringan	29
Gambar 2.21	Lapis Perkerasan untuk Konstruksi Jalan Berbeban Ringan - Sedang	29
Gambar 2.22	Lapis Perkerasan untuk Konstruksi Jalan Berbeban Berat	30
Gambar 2.23	Alat Uji Permeabilitas Beton(NRMC, 2004)	31
Gambar 2.24	Uji Permeabilitas Di Lapangan (NRMC, 2004)	32
Gambar 2.25	Jalan Lingkungan	34
Gambar 2.26	Jalan di Lingkungan Pabrik Dengan Beban Kendaraan Berat	34
Gambar 3.1	Proses Konstruksi Gedung Berlantai 19 di Stuttgart Jerman (malholtra, 1976, dalam harber 2005)	36
Gambar 3.2	Pabrik Batako Beton Non-Pasir di Bawuran, Pleret, Bantul (foto: Tjokrodimaljo, 2004 dalam Tjokrodimaljo 2007)	38

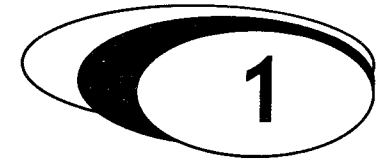
Gambar 3.3	Proses Konstruksi Rumah Contoh di Beran, Sleman (foto: Tjokrodimaljo, 2004 dalam Tjokrodimaljo 2007)	38
Gambar 3.4	Rumah Contoh di Beran, Sleman (foto: Tjokrodimaljo, 2004 dalam Tjokrodimaljo 2007)	39
Gambar 3.5	Buis Beton Dibuat Di Dusun Kemiri (foto: Rannu Nugraha T., 2007 dalam Tjokrodimaljo 2007)	39
Gambar 3.6	Gapura Di Perumnas Condongcatur, Sleman (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimaljo 2007)	40
Gambar 3.7	Interior Pusat Penjualan Barang-Barang Kerajinan Di Dusun Kemiri (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimaljo 2007)	40
Gambar 3.8	Tampak Samping Pusat Penjualan Barang-Barang Kerajinan di Dusun Kemiri (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimaljo 2007)	41
Gambar 3.9	Pot Bunga Dan Barang Kerajinan (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimaljo 2007)	41

-oo0oo-



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Desain Campuran Beton Non-pasir Menurut Standar ACI 522R-10	12
Tabel 2.2	Desain Campuran Beton Non-pasir dengan Agregat Kasar Ukuran 20 mm	12
Tabel 2.3	Desain Campuran Beton Non-pasir dengan Agregat Kasar Ukuran 10 mm	13
Tabel 2.4	Perbandingan Sifat Fisik Campuran Beton Non-pasir Terkait Porsi Penggunaan Pasta Semen	18
Tabel 3.1	Kebutuhan Semen Per m ³ Beton Non-pasir	43
Tabel 3.2	Rasio Volume dan Berat Jenis Beton Non-pasir	44
Tabel 3.3	Rasio Volume dan Kuat Tekan Beton Non-pasir	44



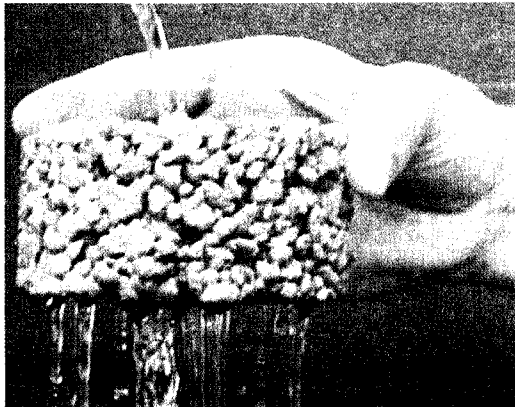
BETON NON-PASIR

1.1 APA ITU BETON NON-PASIR

Beton non-pasir adalah bentuk sederhana dari beton ringan yang dibuat dengan cara mengurangi penggunaan butiran halus (pasir). Beton non-pasir dapat dikenal dengan berbagai istilah seperti beton porous, *no-fines concrete*, *permeconcrete* dan *pervious concrete*, dengan tidak digunakannya pasir dalam campuran menyebabkan terciptanya rongga antar agregat kasar, distribusi rongga dalam campuran merata dan saling terkoneksi (kadar rongga berkisar antara 12 % - 25%) menyebabkan berkurangnya kepadatan beton dan permukaan efektif butiran yang harus diselimuti oleh pasta semen, umumnya kebutuhan semen per m³ beton berkisar antara 70-130 kg sehingga berdampak langsung terhadap porsi semen dalam campuran dan menghemat biaya konstruksi. Kelebihan utama dari beton non-pasir ini adalah dapat meredam panas, proses pembuatannya yang cepat, kepadatan yang rendah, porositasnya yang tinggi dan sifat penyusutan yang rendah. Adonan beton non-pasir tidak mudah bersegregasi (karena penggunaan satu macam jenis/ukuran agregat) oleh sebab itu dapat dituangkan dari ketinggian.

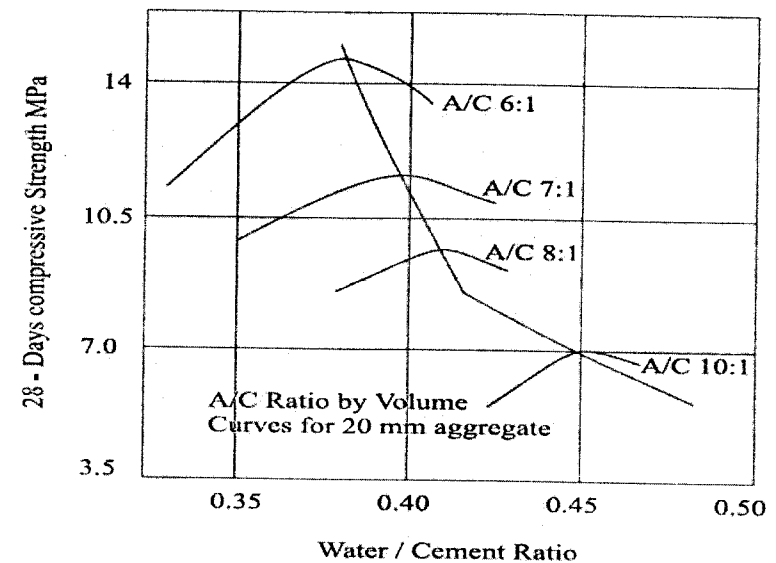
Kepadatan beton non-pasir tergantung pada gradasi agregat kasar yang digunakan, pada umumnya kepadatannya berkisar antara 60 % - 75 % dari beton normal. Ukuran agregat yang biasa digunakan 10-20 mm, meskipun ukuran yang lebih besar masih juga dapat digunakan. Penggunaan agregat ringan dapat mempengaruhi kepadatan beton hingga mencapai 70 kg/m³. Beberapa jenis agregat seperti batu pecah, kerikil alami, *blast furnace slag* (hasil sampingan dalam pengolahan logam dalam tanur tegak) dan *clinker* (dari bahan tanah liat yang dibakar-batu bekah) dapat menjadi bahan penyusun beton non-pasir. Agregat batu pecah menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dibanding jika menggunakan kerikil alami yang cenderung memiliki permukaan *rounded* (Raju, 1983).

Beton non-pasir telah luas digunakan di beberapa Negara. Umumnya diaplikasikan sebagai area parkir, jalur jalan dengan lalu lintas ringan, trotoar serta permukiman yang berwawasan lingkungan karena sifatnya yang permeable (meneruskan air). Di Indonesia khususnya di kota Yogyakarta (Fakultas Teknik-Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada) beton non-pasir telah dicoba untuk pembuatan buis beton, perkerasan jalan lingkungan, batako ringan, bangunan rumah sederhana sampai dengan gapura.



1.2 KARAKTERISTIK KEKUATAN BETON NON-PASIR

Kekuatan tekan beton non-pasir tergantung pada kepadatannya. Kuat tekannya bervariasi antara 70 kg/cm² jika kepadatan beton sebesar 1900 kg/m³ hingga mencapai kuat tekan 140 kg/cm² untuk besar kepadatan beton 2100 kg/m³ pada umur 28 hari. Kuat tekan beton tetap bertambah setelah umur 28 hari hingga dapat sebesar kuat tekan beton normal. Dalam hal desain campuran beton non-pasir, perbandingan air dan semen (w/c ratio) bukan merupakan faktor kontrol utama melainkan perbandingan campuran agregat dan semen (a/c ratio) pada posisi w/c ratio optimum yang menghasilkan kekuatan tekan tertinggi. Kecenderungan ini dapat dilihat pada gambar 3 (McIntosh, Botton dan Muir), yang memperlihatkan variasi a/c ratio 6: 1 sampai dengan 10: 1 (berdasarkan volume), sedangkan w/c ratio bervariasi dari 0,37-0,45 (berdasarkan berat), dengan kepadatan beton berkisar antara 1940 sampai dengan 2100 kg/m³.



Gambar 1.2 Hubungan Antara Kuat Tekan, w/c ratio, a/c ratio Untuk Beton Non-pasir (M.S. Shetty, 2009)

Grafik pada gambar 1.2 dapat dilihat bahwa w/c ratio yang optimum berada di puncak kurva a/c ratio, dimana kondisi ini yang ideal untuk dipilih sebagai porsi campuran. Karena jika w/c ratio yang digunakan lebih tinggi dari nilai optimum akan menyebabkan segregasi butiran agregat dalam campuran, sedangkan jika lebih rendah dari nilai optimum, campuran akan sulit untuk dipadatkan.

1.3 PROPORSI CAMPURAN

Desain campuran beton non-pasir selalu terkait dengan kebutuhan akan kekuatan yang diinginkan pada umur tertentu. Grafik pada gambar 1.2 bermanfaat untuk menentukan porsi campuran yang optimum, yang artinya bahwa beton tersebut dapat memenuhi syarat-syarat seperti berbobot ringan, memiliki kadar rongga yang cukup dan saling terkoneksi agar bersifat porous/permeable. Pada beton non-pasir pasta semen hanya dibutuhkan untuk menyelimuti setiap butir agregat, oleh sebab itu kebutuhan semen lebih sedikit jika dibandingkan dengan beton normal.

Agar sifat campuran dapat diaplikasikan dengan mudah dan memenuhi syarat kekuatan dan permeabilitas maka prosedur trial mixes harus dilakukan. Jika *workability* terlalu rendah (campuran terlalu kental/kaku) maka dapat dilakukan penyesuaian proporsi campuran, seperti penambahan takaran semen dan atau perbandingan air terhadap semen atau faktor air semen (*w/c ratio*), sedangkan bila *workability* terlalu tinggi (campuran terlalu encer) dan dikhawatirkan akan menyebabkan bleeding, maka perlu dilakukan pengurangan *w/c ratio* dan atau perbandingan agregat terhadap semen (*a/c ratio*).

Umumnya jenis agregat yang digunakan adalah kerikil alami (memiliki permukaan yang bersudut dan rounded) atau batu pecah dengan daya serap rendah terhadap air (agregat dengan angka pori minimum). Sedangkan jika digunakan agregat ringan alami atau buatan, maka akan sulit untuk memprediksi/menentukan kebutuhan air optimum dalam campuran (*w/c ratio*) karena agregat jenis ini memiliki

angka pori yang tinggi (penyerapan 10-20 % air dalam kurun waktu 24 jam) sehingga dapat menyebabkan campuran kekurangan air. Oleh sebab itu, pentingnya prosedur *trial mixes* yang disertai dengan serangkaian pengujian laboratorium agar diperoleh sifat fisik campuran yang baik (Raju, 1983).

1.4. CONTOH DESAIN CAMPURAN BETON NON-PASIR (RAJU, 1983)

- Desain campuran beton non-pasir dengan kuat tekan minimum yang disyaratkan pada benda uji kubus umur 28 hari adalah 90 kg/cm².

- Faktor kontrol diasumsikan = 0,75.
- Ukuran maks. agregat kasar = 20 mm
- Jenis agregat kasar = kerikil alami
- Jenis semen = Portland semen
- Kepadatan curah semen = 1472 kg/m³
- Kepadatan curah agregat kasar = 1520 kg/m³

Desain campuran:

$$\text{Kuat tekan rata-rata pada 28 hari} = \frac{90}{0,75} = 120 \text{ kg/cm}^2$$

Dari gambar 3 diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{w/c ratio (terhadap berat)} &= 0,39 \\ \text{a/c ratio (terhadap volume)} &= 7,00 \\ \text{kepadatan beton yang sesuai} &= 2050 \text{ kg/m}^3 \\ \text{a/c ratio (terhadap berat)} &= \frac{7 \times 1520}{1472} = 7,25 \end{aligned}$$

proporsi campuran berdasarkan perbandingan berat:

$$\begin{aligned} \text{Semen} : \text{Agregat Kasar} : \text{Air} \\ 1 : 7,25 : 0,39 \end{aligned}$$

Jumlah berat bahan-bahan untuk setiap m³ campuran:

$$\text{Semen} = \frac{1}{8,64} \times 2050 = 236 \text{ kg}$$

$$\text{Agregat kasar} = \frac{7,25}{8,64} \times 2050 = 1722 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = \frac{0,39}{8,64} \times 2050 = 92 \text{ kg}$$

-oo0oo-



APLIKASI SEBAGAI LAPIS PERKERASAN JALAN

2.1 PERSOALAN GENANGAN DI SAAT MUSIM HUJAN

Di saat musim hujan, terutama di kawasan perkotaan banyak ditemukan pemandangan yang kurang baik karena terdapat genangan di mana-mana, hal tersebut menyebabkan kualitas lingkungan menurun karena terlihat kotor, tempat bersarangnya nyamuk dan sumber penyakit. Genangan air tersebut merambah daerah pemukiman penduduk dan jalan-jalan perkampungan. Sementara itu sebagian penduduk berlomba-lomba meninggikan pekarangan halaman dan elevasi lantai rumahnya karena khawatir menjadi pengalihan limpahan genangan air. Kasus-kasus semacam ini, baik yang bersifat perorangan ataupun yang bersama-sama dalam suatu kompleks perumahan, akan membuat bagian yang lebih rendah makin banyak dan makin lama mendapat genangan air, saluran-saluran drainase yang tidak normal juga memperlambat genangan-genangan ini untuk mengalir kembali ke posisi semula meskipun air laut sudah surut.

Persoalan genangan air ini menimbulkan dampak negatif yang tidak bisa diabaikan karena menyangkut kerugian dan penderitaan yang bersifat non fisik maupun fisik, sebagai contoh adalah dampak genangan air terhadap sarana infrastruktur kota, sebagian besar ruas-

ruas jalan yang tergenang air mengalami kerusakan parah, sehingga mengganggu aktivitas lalu lintas di ruas jalan tersebut. Dari segi kesehatan jelas genangan air ini memberi pengaruh negatif yang besar pula, seperti: penyakit gatal-gatal, genangan air sebagai tempat bersarangnya nyamuk yang bisa menyebabkan penyakit malaria ataupun demam berdarah. Buangan limbah masyarakat di saluran terbuka menambah kekumuhan di daerah yang saluran-saluran drainasenya tidak berfungsi penuh, belum lagi ditambah septictank yang akan segera penuh air, sehingga tidak bisa berfungsi dan menimbulkan pencemaran.

Keadaan yang seperti ini memerlukan upaya penanganan yang cukup serius, ditambah lagi persoalan genangan air merupakan suatu persoalan teknis dan non teknis yang sangat kompleks dan rumit, meskipun demikian tentunya harus ada langkah kongkret untuk menangani permasalahan di atas. Untuk itu harus dipikirkan bagaimana cara mengatasi banjir dan genangan air sehingga tidak membawa dampak lebih buruk yaitu terhambatnya perkembangan perekonomian dan sosial budaya masyarakat.



Gambar 2.1 Kondisi Lingkungan Yang Tergenang air

2.2 MENGAPA BETON NON-PASIR BERMANFAAT DALAM MELESTARIKAN LINGKUNGAN

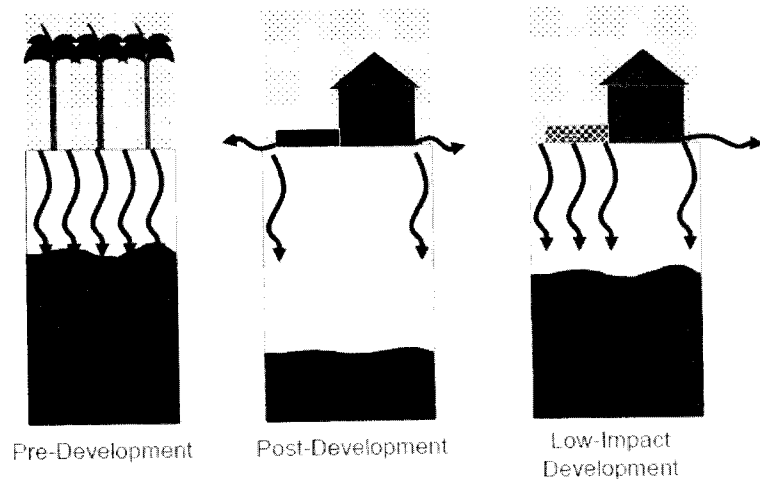
Pembangunan pada dasarnya adalah usaha untuk menuju kearah yang lebih baik, tetapi selalu ada dampak yang ditinggalkannya, baik itu positif maupun negatif. Menurut Habeeb Maaru dalam <http://pencari-ilmu-goresantinta.blogspot.com> 2011. Pembangunan tersebut erat kaitannya dengan perubahan penggunaan lahan. Apabila terjadi perubahan penggunaan lahan, misalnya di daerah hulu/atas berupa hutan lindung digunakan untuk permukiman atau perumahan sedangkan daerah hilir digunakan untuk industri dan permukiman, maka akan berdampak besar untuk daerah itu sendiri maupun daerah di bawahnya. Terjadi erosi atau longsor di bagian atas/hulu karena terjadi pengundulan hutan yang dialihfungsikan untuk perumahan.

Selain itu karena terjadi perubahan penggunaan lahan, juga terjadi kerusakan suatu ekosistem yang menyebabkan habitat tanaman atau binatang rusak. Hal tersebut sangat berdampak kepada beberapa tumbuhan atau hewan yang punya karakter khusus, yaitu hanya dapat bertahan hidup pada daerah dengan keadaan tertentu. Dibagian hilir dapat terjadi banjir karena di bagian hulu telah terjadi alih fungsi lahan dari hutan lindung menjadi permukiman, sehingga daerah diatas akan mengirimkan limpasan sedangkan daerah hilir. Karena daerah hilir juga mengalami perubahan penggunaan lahan, dari kebun menjadi industri maupun permukiman untuk kegiatan ekonomi, sehingga daerah resapan air semakin sedikit. Potensi banjir juga semakin besar.

Kekeringan juga mungkin dapat terjadi akibat pembangunan, dengan penggunaan air tanah yang berlebihan karena pembangunan besar-besaran maka persediaan air tanah semakin sedikit, sementara air hujan yang masuk kedalam tanah lebih lambat dari air yang digunakan/dipompa.

Dampak lain yang menjadi masalah rutin di perkotaan adalah genangan air, jika porsinya berlebihan di ruas jalan dapat meng-

akibatkan pemicu terjadinya kemacetan dan membahayakan pengguna jalan, atau apabila terjadi di lingkungan pemukiman berdampak terhadap kesehatan dan aktivitas sehari-hari masyarakat. Satu-satunya usaha yang selama ini diterapkan adalah dengan membangun sistem drainase jalan atau pemukiman yang berkonsekuensi terhadap biaya yang harus dikeluarkan untuk konstruksi dan pemeliharaan.



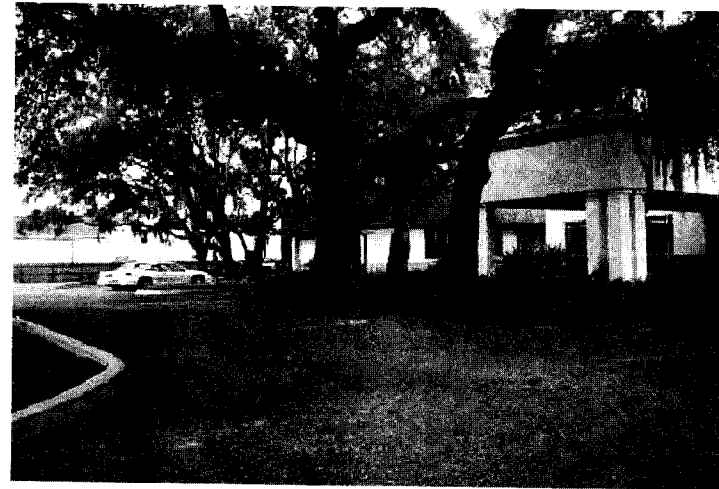
Gambar 2.2 Teknologi Beton Non-pasir Mendukung Konservasi Sumber Daya Air (NRM, 2004)

Beton non-pasir dapat mengurangi genangan atau aliran air dari permukaan lapisan yang kedap (lapis permukaan berbahan aspal dan beton), sehingga dapat mengurangi kebutuhan terhadap saluran drainase atau memungkinkan penggunaan saluran drainase dengan kapasitas yang lebih kecil. Hal tersebut berdampak terhadap efisiensi biaya pengelolaan limpasan air hujan.

Beton non-pasir juga secara alami akan menyaring air hujan yang telah bercampur dengan material polutan, melalui limpasan air permukaan terbawa masuk ke dalam saluran drainase, waduk maupun aliran sungai dapat dikurangi. Sifat beton yg dapat tembus air memungkinkan air hujan untuk menyusup masuk ke tanah dalam wilayah yang

luas, hal ini berdampak baik untuk menjamin kelestarian ketersediaan air tanah masyarakat. Semua manfaat ini akan berdampak pada penggunaan lahan yang lebih efektif.

Permukaan tanah yang tertutup oleh lapisan beton non-pasir dapat meningkatkan kesuburan tanaman khususnya di daerah perkotaan / kawasan permukiman, seperti diketahui bersama bahwa pada wilayah-wilayah tersebut hampir tidak tersisa permukaan tanah yang terbuka sebagai daerah resapan karena telah tertutup rapat oleh lapisan aspal dan beton yang kedap, dengan penggunaan beton non-pasir, air maupun udara dapat bebas berfiltrasi masuk ke sistem perakaran yang memungkinkan tanaman mendapat pasokan air yang cukup. Selain itu, bakteri pengurai/mikro-organisme yang berada dalam tanah dapat berkembang dengan baik karena cukup mendapat pasokan oksigen, nutrisi dan kelembaban, bakteri tersebut berfungsi membantu mengurai material polutan yang terbawa oleh air yang meresap masuk dengan demikian kebersihan sumber air dapat terjaga.



Gambar 2.3 Beton Non-pasir Dapat Meneruskan Air Ke Sistem Perakaran Tanaman (NRM, 2004)

2.3 CONTOH PROPORSI CAMPURAN BETON NON-PASIR

Tabel 2.1 Desain Campuran Beton Non-pasir Menurut Standar ACI 522R-10

Bahan Penyusun	Porsi Bahan Dalam Campuran (Kg/m ³)
Semen	270 – 415
Agregat	1190 – 1480
Rasio (berat) Air: Semen	0,27 – 0,34
Rasio (berat) Pasir: Agregat Kasar	0 – 1: 1
Bahan tambah kimiawi (retarder, untuk memperlambat waktu setting) biasanya digunakan, penambahan pasir akan mengurangi kadar rongga tetapi sekaligus dapat meningkatkan kekuatan beton	

Tabel 2.2 Desain Campuran Beton Non-pasir Dengan Agregat Kasar Ukuran 20 mm

Bahan Penyusun	Porsi Bahan Dalam Campuran (Kg/m ³)
Semen	580*
Agregat kasar (20 mm)	1026
Rasio (berat) Air: Semen	0,3
Rasio (berat) Pasir: Agregat Kasar	0
Digunakan bahan tambah kimiawi (high range, water reducing Rheobuild 1000, untuk mengurangi penggunaan air dalam campuran beton) sebanyak 760mL untuk setiap penggunaan 100 kg semen.	

Catatan:

- * (Diuji Di Fasilitas Laboratorium Holcim Dengan Menggunakan Bahan-Bahan Local)
- Kuat tekan kubus beton pada umur 28 hari = 20,2 MPa
- * penggunaan semen lebih banyak karena tidak digunakannya pasir dan ukuran agregat yang lebih besar (20 mm)

Tabel 2.3 Desain Campuran Beton Non-pasir dengan Agregat Kasar Ukuran 10 mm

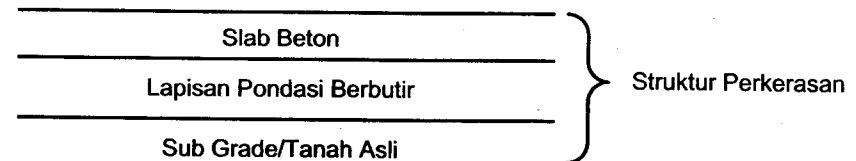
Bahan Penyusun	Porsi Bahan Dalam Campuran (Kg/m ³)
Semen	300 – 400
Agregat kasar (20 mm)	1026
Rasio (berat) Air: Semen	0,3 – 0,4
Rasio (berat) Pasir: Agregat Kasar	0
Digunakan bahan tambah kimiawi (retarder, sebanyak 300mL dan super plasticizer 800mL untuk setiap penggunaan 100 kg semen). Slump: < 75 mm	

Catatan:

- * Kuat tekan kubus beton pada umur 28 hari = 20,2 MPa
- * telah diaplikasikan oleh holcim singapura pada proyek sesungguhnya.

2.4 BAGAIMANA MEMBUAT LAPIS PERKERASAN DARI BETON NON-PASIR

Perkerasan jalan dari bahan beton non-pasir pada dasarnya tergolong sebagai perkerasan kaku/*rigid*, tetapi berbeda secara substansi disebabkan oleh penggunaan material penyusun konstruksinya.



Gambar 2.4 Tipikal Struktur Perkerasan Kaku

Struktur perkerasan beton non-pasir terdiri atas lapisan *slab* beton yang terletak di atas lapisan pondasi berbutir (*sub base*) dari bahan agregat dengan gradasi terbuka, lapisan *sub base* ini terletak di atas *sub grade* yang dipisahkan dengan lembaran *geo membrane*. Susunan material tersebut dipilih agar lapis perkerasan dapat meneruskan air ke tanah dasar.

2.4.1 Lapisan Sub Grade

Seperti halnya konstruksi perkerasan yang menggunakan beton normal, tanah dasar juga perlu dipersiapkan dengan baik. Tanah dasar harus benar-benar dipadatkan untuk menjamin hasil yang seragam dan kestabilan bagi lapisan perkerasan di atasnya. Apabila lapisan beton non-pasir ditempatkan langsung di atas tanah berpasir atau berkerikil dianjurkan untuk memadatkan tanah dasar sampai mencapai angka kepadatan maksimum 92-96 % (ASTM D 1557).



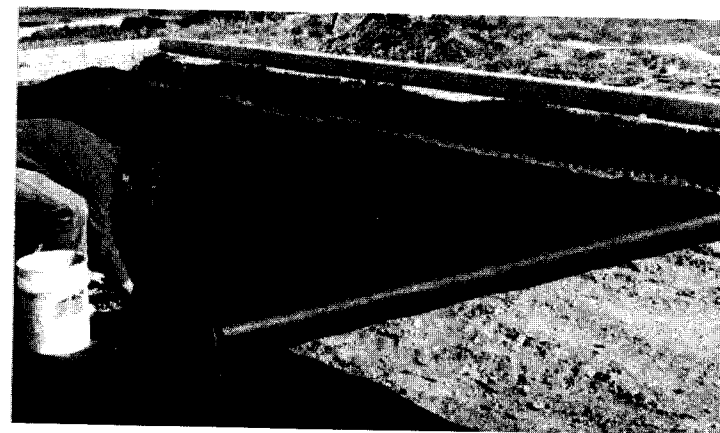
Gambar 2.5 Pemadatan Tanah Dasar (NRMCC, 2004)

Jika tanah dasar berupa tanah berlumpur atau tanah liat, tingkat pemadatan akan tergantung pada spesifikasi dari desain perkerasan dan mungkin harus diberikan lapisan pondasi berupa agregat bergradasi terbuka terlebih dahulu. Pada kondisi tertentu digunakan *geo textile* untuk memisahkan lapisan tanah dasar dengan lapisan agregat kasar di atasnya. Selanjutnya tanah yang memiliki potensi kembang susut, harus diperhatikan agar tidak dipadatkan secara berlebihan (*overcompact*). Lapisan tanah dasar sebaiknya dalam keadaan lembab (3 % dari kadar air optimum yang nilainya diperoleh berdasarkan uji pemadatan) sebelum penghamparan lapisan *sub base* di atasnya, selain itu kemiringan melintang konstruksi jalan harus diperhatikan

serta dipadatkan dengan baik. Kelembaban tanah dasar yang cukup dimaksudkan agar beton non-pasir tidak mengalami pengeringan yang terlampau cepat (memperlambat waktu *setting* beton).

2.4.2 Lapisan Lembar Penyaring (Filter Fabric)

Letaknya diantara lapisan tanah dasar (*sub grade*) dan lapisan pondasi (*sub base*). Keseluruhan permukaan tanah dasar dianjurkan untuk dilapisi oleh lembaran *non-woven geo textile*. Manfaatnya, yaitu pertama untuk memisahkan *sub-grade* dengan lapisan *sub-base*, kedua untuk mencegah butiran halus dari tanah dasar naik bercampur dengan lapisan di atasnya yang dapat berakibat mengurangi daya permeabilitasnya.



Gambar 2.6 Pemasangan Lembaran Non-Woven Geotextile (NRMCC, 2004)

2.4.3 Lapisan Sub Base

Lapisan *sub base* menggunakan material agregat yang tertahan saringan ukuran 37 mm dan lolos saringan ukuran 50 mm. Material agregat tidak boleh bercampur dengan material butiran halus (pasir/tanah) karena akan mengurangi kinerja dari perkerasan.

Pemadatan dilakukan pada lapisan ini menggunakan mesin pemadat sampai diperoleh permukaan yang rata atau seragam. Kelembaban agregat harus dipertahankan untuk mengurangi penyerapan air semen dari campuran beton non-pasir.

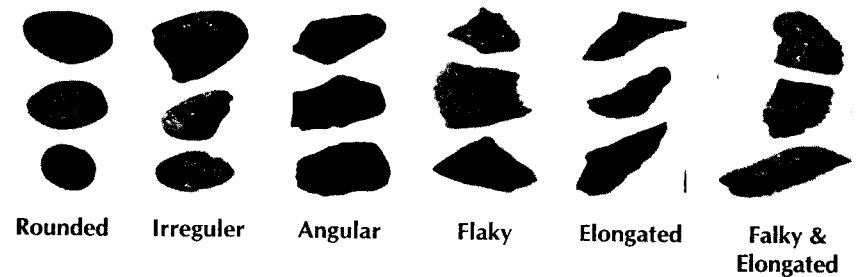
Ketebalan lapisan sub base ini tergantung pada jenis lapisan tanah dasar dan fungsi jalan dalam melayani beban kendaraan di atasnya. Jika perkerasan akan digunakan sebagai jalan lingkungan, trotoar, pekarangan rumah/gedung lapisan sub base-nya disarankan setebal 10 cm, sedangkan apabila diaplikasikan untuk jalan yang dilalui oleh kendaraan berat maka sub base dibuat setebal 25 cm.



Gambar 2.7 Penyiapan Lapis Pondasi Berbutir (pemadatan dan memberi kelembaban yang cukup) (NRMC, 2004)

2.4.4 Lapisan Permukaan Beton Non-pasir

Jenis agregat kasar yang disarankan untuk digunakan sebagai bahan beton non-pasir adalah yang berbentuk *rounded*, *irregular* dan *angular*, hindari agregat yang berbentuk *flaky* (pada gambar berikut, yang dicetak tebal keterangannya) karena akan mengurangi kekuatan struktur secara keseluruhan.



Gambar 2.8 Bentuk-bentuk Partikel Agregat BS 812: Part 1: 1975

Kebersihan agregat juga perlu diperhatikan, lumpur, minyak dan material organik lainnya yang menempel pada agregat harus dibersihkan dulu sebelum digunakan dalam campuran. Karena kotoran tersebut akan menghalangi pasta semen melekat di permukaan agregat, sehingga akan mengurangi daya rekat dan berdampak pada penurunan kualitas beton.

Rasio penggunaan air dengan semen berkisar antara 0,35 - 0,45 dengan kadar rongga (*void content*) 15% - 25 %. Campuran terdiri dari semen portland, agregat kasar dan air dengan sedikit atau tidak ada agregat halus. Tambahan sedikit agregat halus dimaksudkan untuk mengurangi *void content* serta meningkatkan kekuatan beton, yang mungkin diinginkan dalam situasi tertentu.

Bahan campuran beton non-pasir ini sensitif terhadap porsi air yang dicampurkan, sehingga diperlukan penyesuaian yang ketat terhadap kekentalan campuran (*workability*) di lapangan. Porsi air dalam campuran sangatlah penting, karena terlalu banyak air akan menyebabkan segregasi dan jika air terlalu sedikit akan menyebabkan kesulitan dalam pengadukan dan penuangan dari *concrete mixer*. Kadar air campuran yang terlampau rendah juga akan menghambat proses *curing* dari beton karena semen kekurangan air untuk berhidrasi/mengeras yang berakibat pada kelekatan antar butiran yang lemah (pelepasan butiran agregat beton). Campuran yang proporsional dapat diketahui dari penampilannya yang nampak basah - metallic atau kemi-

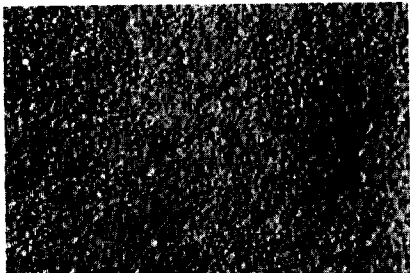
lau. Waktu pengadukan campuran dalam concrete molen tidak lebih dari 10 menit.



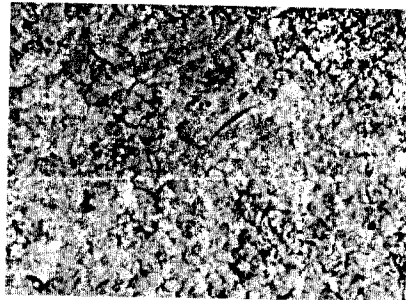
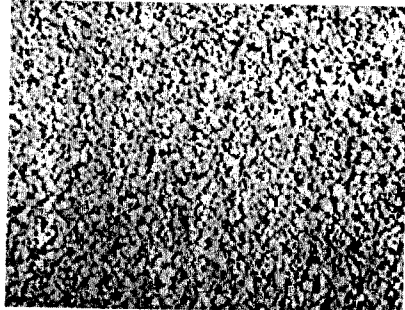
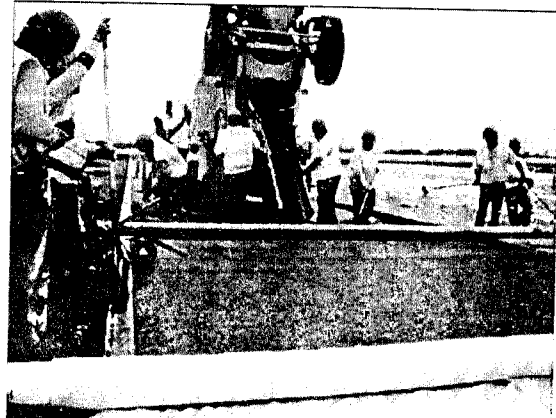
Gambar 2.9 Uji Konsistensi Campuran (Aoki, 2009)

Penggunaan porsi air yang ketat, berakibat pada sifat adonan beton non-pasir yang sangat kental (nilai slump yang rendah) sehingga akan menyulitkan pengecoran dan pemadatan, maka dimungkinkan penggunaan bahan tambah kimia dari jenis *plasticizer*, untuk memperoleh *workability* (kemudahan pengerjaan) yang lebih baik sehingga diperoleh kepadatan perkerasan yang optimum. Pada Tabel berikut ditampilkan tiga macam penampilan produk beton non-pasir terkait porsi penggunaan pasta semen dan takaran air.

Tabel 2.4 Perbandingan Sifat Fisik Campuran Beton Non-pasir
Terkait Porsi Penggunaan Pasta Semen

Penampilan Produk Beton Non-pasir	Keterangan
	Terlampau sedikit air dalam campuran, menyebabkan semen kurang sempurna berhidrasi, ikatan antara partikel butiran menjadi lemah, berpotensi terjadi pelepasan butiran (<i>raveling</i>).

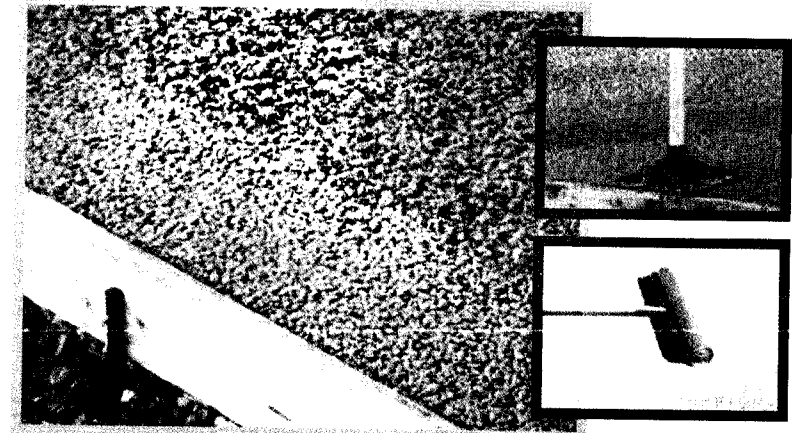
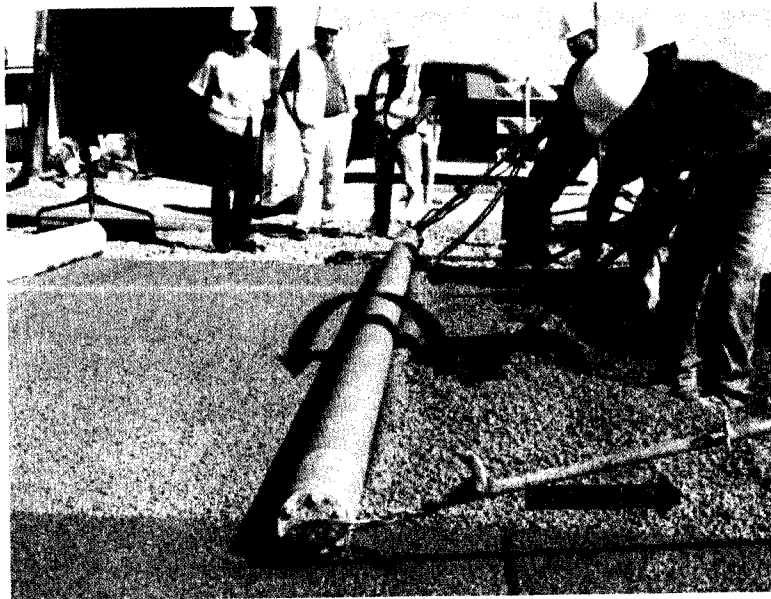
Tabel 2.4 Perbandingan Sifat Fisik Campuran Beton Non Pasir
Terkait Porsi Penggunaan Pasta Semen (Lanjutan)

Penampilan Produk Beton Non-pasir	Keterangan
	Terlalu banyak pasta semen dan air yang digunakan, kadar pori beton sangat minim. Karakteristik utama beton non-pasir tidak tercapai.
	Penggunaan pasta semen dan air yang proporsional, kadar pori tetap terjaga dan karakteristik beton non-pasir dapat tercapai
	

Gambar 2.10 Ketersediaan Personil yang Cukup Menjamin Pelaksanaan yang Baik (NRMC, 2004)

Beton non-pasir dapat dituangkan ke dalam acuan cetakan (bekisting) yang telah dipersiapkan terlebih dahulu. Jarak penuangan campuran dari kendaraan pengangkut harus diatur untuk memperoleh ketebalan padat yang sesuai. Selanjutnya segera diratakan dan dipadatkan tumpukan campuran tersebut dengan *screed roller* atau bisa juga digunakan pemadat jenis *hand vibro*. Pemadatan ini dimaksudkan untuk memperoleh ikatan yang kuat antara pasta dan agregat, agar diperoleh permukaan yang halus/rata, tetapi pemadatan yang berlebihan akan berakibat pada berubahnya kadar rongga dalam beton/*void content*. Proses pemadatan ini harus segera dilakukan setelah campuran digelar.

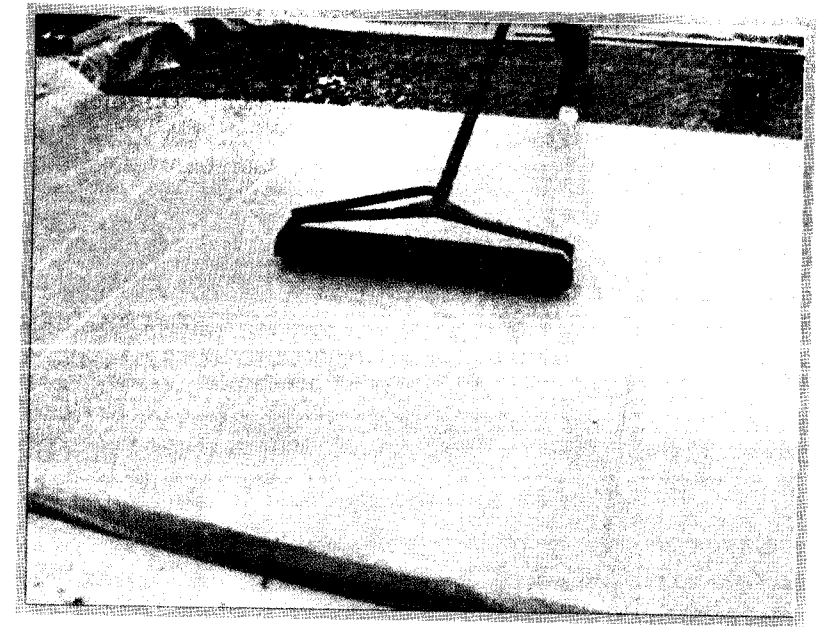
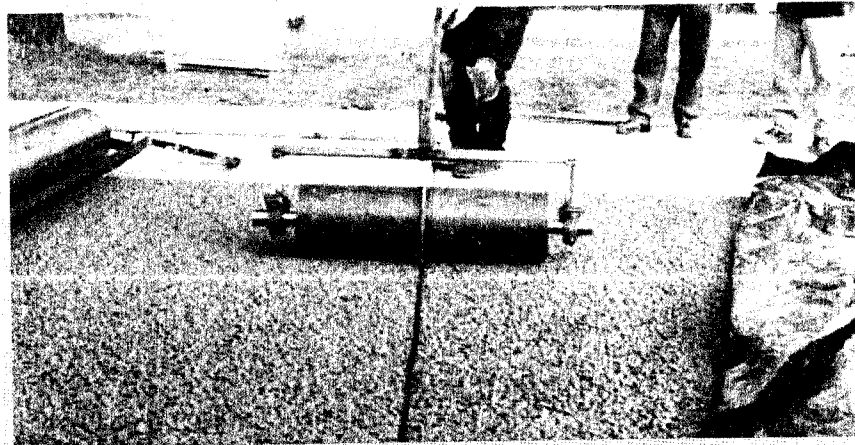




2.5 PEMBUATAN CELAH DILATASI (TRANVERSE JOINT)

Walaupun beton non-pasir memiliki koefisien penyusutan lebih kecil dari beton konvensional yang memiliki koefisien penyusutan yang lebih besar, tetapi untuk memperoleh produk yang baik untuk plat beton, maka permukaan beton non-pasir harus diberi celah dilatasi melintang jalan. Pembuatan celah melintang pada permukaan jalan sama seperti aturan dalam membuat slab beton konvensional. Kedalaman celah harus dibuat sama dengan lebar dengan interval sekitar 6 m.

Maksud pemberian celah dilatasi adalah untuk mengurangi pelepasan butiran dan retak yang tidak terkontrol akibat penyusutan. Pembuatan *transverse joint* dapat dilakukan dengan alat yang telah ditentukan atau alat sederhana yang dibuat sendiri yang mampu membuat celah dengan segera sebelum adonan beton segar mengeras.

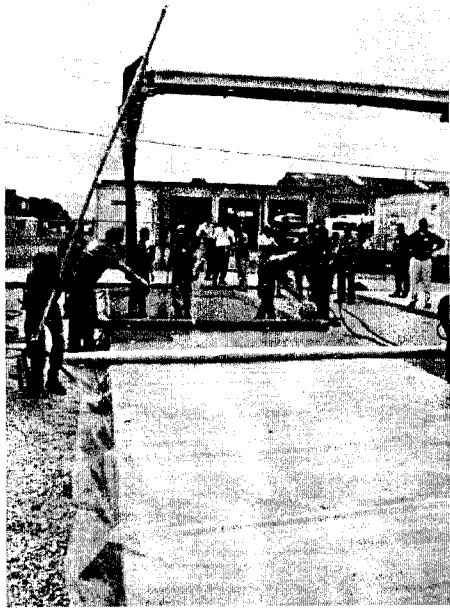


2.6 PERAWATAN BETON

Setelah permukaan beton selesai dikerjakan, sebaiknya produk beton dirawat (*curing*) secara tepat, tujuannya adalah untuk memperoleh integritas struktural beton non-pasir yang baik, sekaligus memastikan proses hidrasi pasta semen yang cukup agar tercapai kekuatan ikatan antar agregat untuk mencegah pelepasan butiran (*raveling*).

Curing harus dimulai dalam jangka waktu 20 menit setelah beton dikerjakan dan dilanjutkan sampai 7 hari, jika menggunakan jenis *additive accelerator* untuk beton dengan kekuatan awal tinggi maka proses *curing* dapat dilakukan minimal 3 hari. Proses *curing* dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu menggunakan lembaran plastik yang dihamparkan di atas permukaan beton, penyemprotan dengan lapisan khusus (semacam vaselin) di atas permukaan beton,

membungkus permukaan beton dengan karung basah atau membasahi permukaan beton secara terus menerus, misalnya disemprot dengan air setiap hari, yang penting tujuannya permukaan beton dijaga tetap lembab.



Gambar 2.20 Proses Perawatan Beton (NRM, 2004)

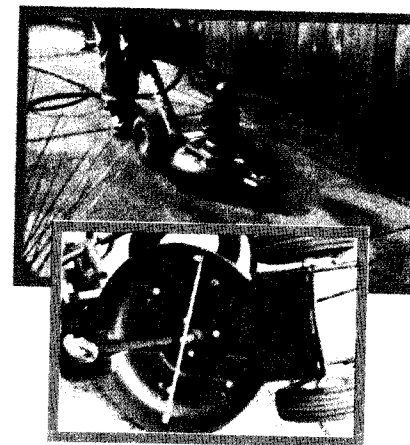
2.7 PEMELIHARAAN PERKERASAN BETON NON-PASIR

Perkerasan jenis ini membutuhkan pemeliharaan yang baik (terjadwal), agar sifat permeabilitasnya dapat terjaga. Di beberapa negara yang telah mengaplikasikan beton non-pasir untuk perkerasan jalan, dapat menempuh metode *vacuum* (4 kali dalam setahun) dan *high pressure water flushing* (2 kali dalam setahun).

Proses *vacuum* dilakukan untuk mengeluarkan / mengurangi kotoran yang berada di celah-celah pori, frekuensinya harus ditingkatkan jika disekitar perkerasan terdapat banyak timbunan atau deposit yang

berpotensi akan menutupi permukaan perkerasan dan apabila terlihat banyak dari dedaunan yang rontok/serpihan pepohonan.

Sedangkan aktifitas penyemprotan bertekanan tinggi di permukaan perkerasan dimaksudkan untuk membilas kontaminan/bahan polutan agar lolos masuk ke lapisan pondasi atau tanah dasar di bawahnya. Bila lapisan sub base menjadi jenuh oleh material polutan, hal ini sama sekali tidak mempengaruhi kinerja dari lapisan beton non-pasir di atasnya. Karena material polutan (hidrokarbon) tersebut berinfiltrasi ke lapisan tanah dasar dan akan mengalami penguraian secara biologis oleh mikro-organisme.



2.8 SPESIFIKASI PERKERASAN

Konstruksi lapis perkerasan jalan dengan sifat *permeable* terdiri atas bagian *sub grade*, *sub base* dan *wearing course* dari beton non-pasir. Karena standar nasional yang mengatur tentang perkerasan beton ringan belum tersedia di Indonesia, maka spesifikasi yang ditawarkan di sini merupakan hasil adaptasi dari spesifikasi dari Negara lain yang telah secara luas menggunakan material beton non-pasir, misalnya Australia dan Amerika Serikat atau berdasarkan pengalaman penulis.

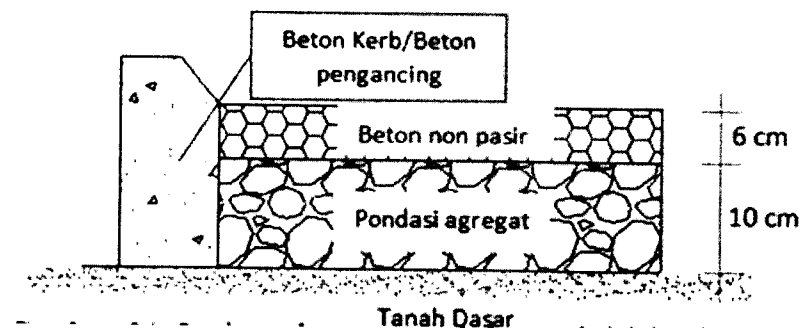
Selain untuk konstruksi badan jalan, beton non-pasir dapat juga diaplikasikan sebagai bahan bahu jalan, seperti diketahui bersama bahwa bahu berfungsi sebagai dukungan lateral terhadap badan jalan, sebagai tempat berhenti sementara kendaraan dan bidang tambahan di daerah tikungan. Karena fungsinya tersebut, sebenarnya material bahu jalan terbuat dari bahan yang stabil menahan beban lalu lintas dan gaya lateral serta gerusan air permukaan. Di Indonesia mayoritas bahan untuk bahu jalan adalah material non perkerasan atau agregat yang dipadatkan, khususnya pada jalur jalan luar kota, sehingga mudah tergerus oleh roda ataupun aliran air permukaan, bila demikian bahu akan kehilangan fungsinya.

Jika menggunakan konstruksi bahu dari beton non-pasir, maka dapat dijamin kestabilan dan durabilitasnya selain itu limpasan air dari permukaan dapat langsung terserap masuk ke lapisan tanah dasar. Sehingga tidak timbul lagi masalah bahu jalan yang tergerus oleh aliran air.

Berikut ini akan ditampilkan beberapa jenis desain untuk aplikasi lapis perkerasan jalan, seperti trotoar, bahu jalan, halaman rumah lapangan parkir, dari konstruksi yang melayani beban ringan sampai dengan berat.

2.8.1 Konstruksi Perkerasan Dengan Beban Lalu Lintas Ringan

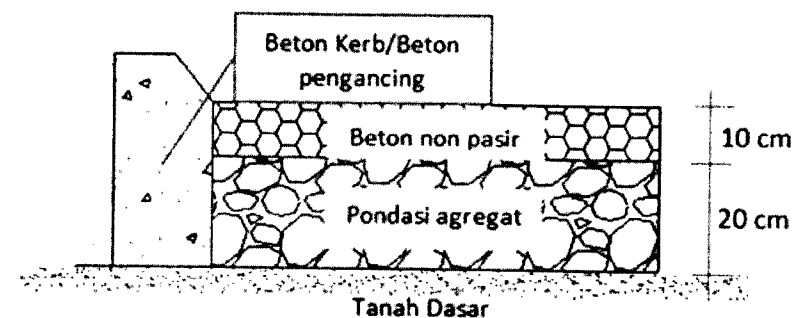
Gambar berikut ini merupakan spesifikasi yang dapat diaplikasikan untuk jalur pejalan kaki/sepeda, jalan lingkungan dan halaman rumah. Lapisan *sub base* dapat menggunakan batu pecah ukuran 3/5, sedangkan manfaat beton kerb di sini adalah untuk memberikan dukungan arah lateral terhadap perkerasan serta alasan estetika. Jika tanah dasar cukup porous dan bukan dari jenis tanah *expansive*, lembaran *geo textile* tidak perlu digunakan.



Gambar 2.22 Lapis Perkerasan Untuk Konstruksi Jalan Berbeban Ringan

2.8.2 Konstruksi Halaman Parkir dan Jalan dengan Lalu Lintas Ringan-Sedang

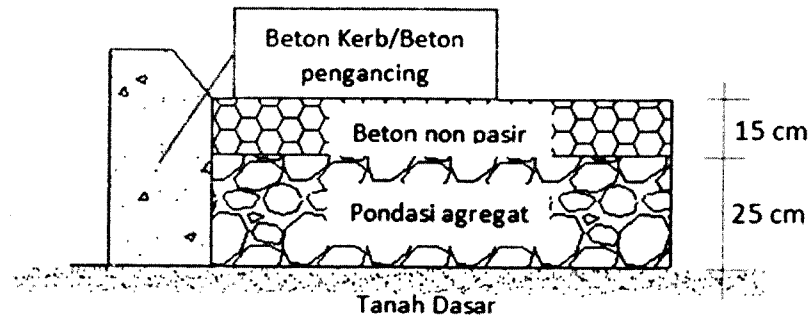
Struktur konstruksi perkerasan masih sama, tetapi berbeda ketebalan masing-masing lapisannya. Lapisan pondasi setebal 20 cm yang ditutup dengan lapisan beton non-pasir yang tebalnya 10 cm, tetapi ketebalan setiap lapisan tersebut bukanlah harga mati, karena dapat disesuaikan dengan kondisi tanah dasar dan jenis konstruksi. Semakin berat beban lalu lintas yang harus dilayani maka akan membutuhkan lapisan pondasi dan permukaan yang lebih tebal serta ukuran batuan untuk lapis pondasi yang lebih besar.



Gambar 2.23 Lapis Perkerasan Untuk Konstruksi Jalan Berbeban Ringan - Sedang

2.8.3 Lalu Lintas Berat

Ketebalan lapis perkerasan untuk lalu lintas dengan volume tinggi terdiri atas lapisan pondasi berbutir setebal 25 cm dengan ukuran agregat 37 s/d 60 mm dan ketebalan lapis permukaan beton non-pasir 15 cm serta lembaran *non-woven geo textile* yang berada diantara tanah dasar / *sub grade* dengan lapis pondasi.



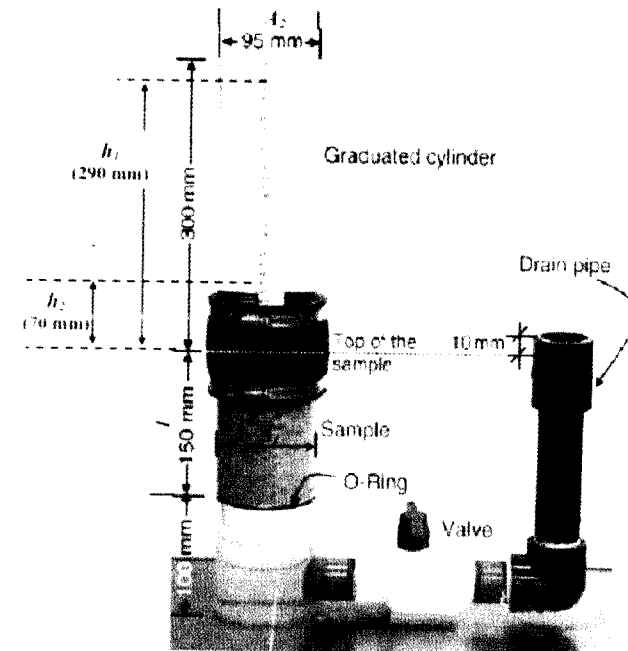
Gambar 2.24 Lapis Perkerasan Untuk Konstruksi Jalan Berbeban Berat

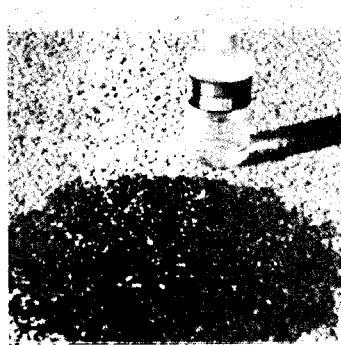
2.9 BAGAIMANA MENGUJI DAN MEMERIKSA HASIL PEKERJAAN PERKERASAN BETON NON-PASIR

Beton non-pasir dapat dirancang untuk mencapai kekuatan tekan mulai dari 2,8 - 28 MPa meskipun kekuatan 2,8 - 10 Mpa lebih umum dicapai. Mutu kekuatan tekan beton non-pasir, sebenarnya bukanlah tujuan utama yang harus dicapai, karena yang lebih utama dan menjadi karakteristiknya di sini adalah kadar pori beton (*void content*). Penilaian mutunya biasanya didasarkan pada kepadatan produk lapis permukaan tersebut di lokasi, toleransi kepadatan beton segar adalah $\pm 80 \text{ kg/m}^3$. Nilai kepadatan ini harus diverifikasi melalui uji lapangan. Kepadatan segar beton non-pasir diukur dengan menggunakan metode *jigging*, tahapan selengkapnya dapat dibaca dalam ASTM C 29. Pengukuran nilai slump dan pengujian kadar rongga udara udara

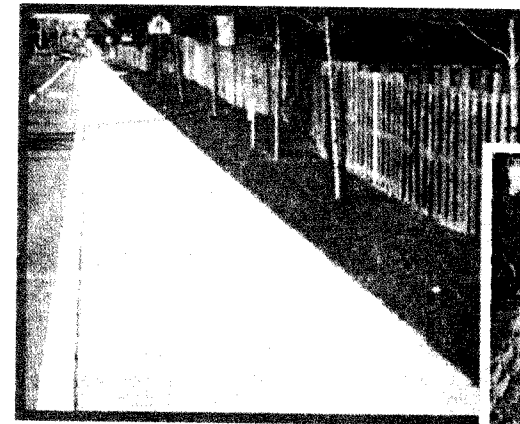
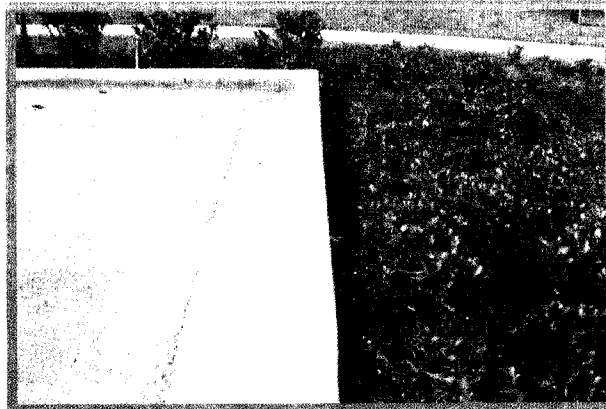
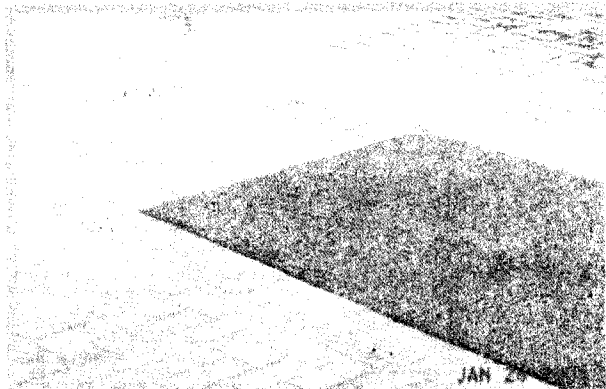
tidak perlu dilakukan. Jika beton non-pasir diaplikasikan untuk lapis permukaan jalan dengan tujuan untuk mengatasi genangan air, dalam proses perancangan dan produksinya harus dipastikan bahwa fungsi/karakteristik porositas beton harus tercapai. Ketebalan padat untuk lapis permukaan perkerasan beton non-pasir adalah 20-60 cm di atas lapisan pondasi atas (agregat bergradasi terbuka).

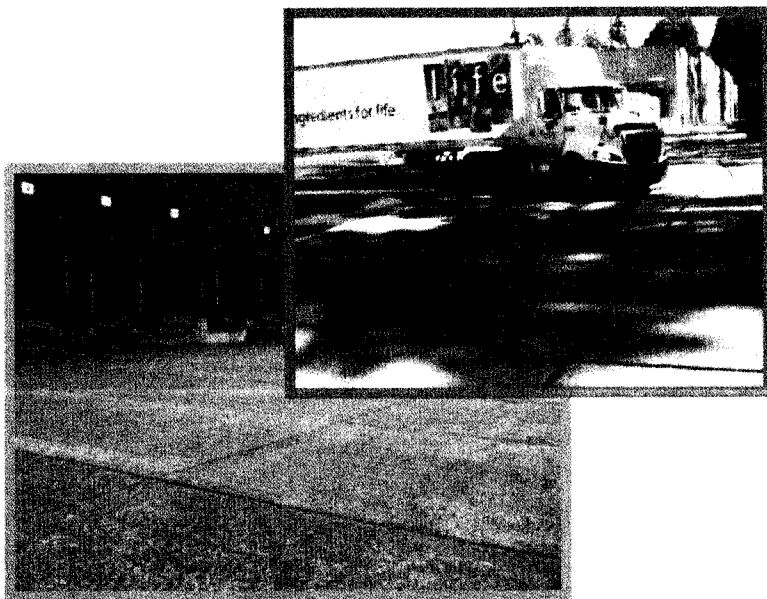
Dalam masa operasionalnya, konstruksi lapis perkerasan beton non-pasir harus dibersihkan secara teratur untuk mencegah penyumbatan. Pembersihan dapat dilakukan dengan cara menggunakan pompa vakum atau disemprot dengan air tekanan tinggi. Meskipun beton non-pasir dan lapisan tanah dasar memberikan kemampuan filtrasi yang sangat baik, tidak semua kontaminan dapat tersaring. Dalam rangka menjaga kualitas air tanah, dianjurkan dilakukan pengujian berkala terhadap kualitas air hujan maupun aliran air permukaan.





Contoh Konstruksi Perkerasan Beton Non-pasir (NORMA, 2004)





-oo0oo-



APLIKASI SEBAGAI BAHAN BANGUNAN GEDUNG

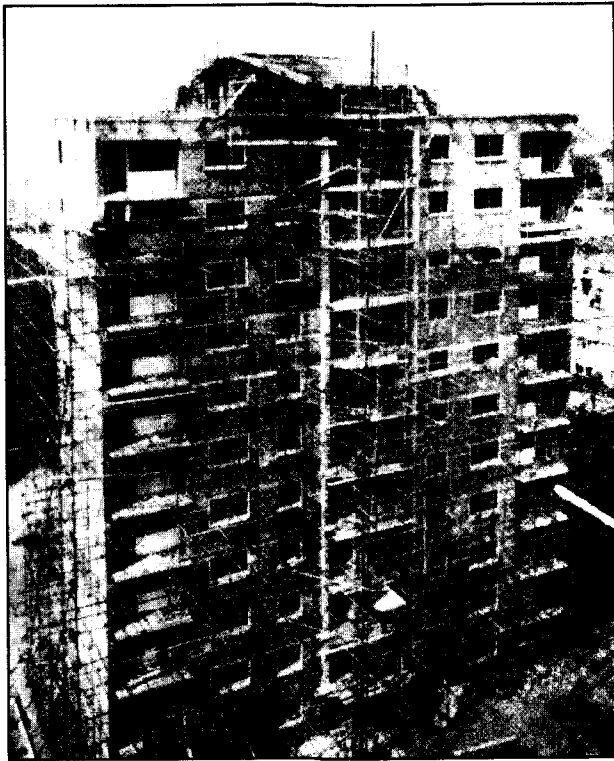
3.1 SEJARAH SINGKAT

Menurut Macintosh, et, al 1965 dalam Harber, Paul 2005 penggunaan beton non-pasir sebagai material struktur bangunan gedung telah dimulai lebih dari 70 tahun di Eropa, Australia dan Kawasan Timur Tengah. Penggunaan awal teknologi beton ini diketahui dimulai di Inggris pada tahun 1852 untuk konstruksi 2 unit rumah tinggal dan dinding penahan di tepi pantai yang berdimensi panjang 61 m dan lebar 2,15 m (francis, 1965 dalam harber, 2005). Pemanfaatan teknologi beton non-pasir terus berkembang luas terutama setelah krisis material bahan bangunan pasca perang dunia ke 2, jenis konstruksi yang sering ditemukan adalah misalnya dinding struktur system *cast in place* untuk bangunan 1 lantai maupun gedung bertingkat banyak.

Penggunaan Teknologi beton non-pasir untuk elemen struktur utama bangunan bertingkat awalnya dicoba untuk bangunan 2 lantai, yang kemudian terus berkembang hingga di tahun 1950 berhasil diterapkan untuk bangunan 5 lantai. Di saat ini beton non-pasir sudah bisa digunakan untuk komponen material pemikul beban bagi bangunan bertingkat banyak-hingga 10 lantai. Pencapaian luar biasa

tercatat di kota Stuttgart, Jerman pada saat itu dibangun gedung berlantai 19, yang terdiri dari konstruksi struktur utama 6 lantai terbawah menggunakan beton normal, dan 13 lantai sisanya menggunakan bahan beton non-pasir (malholtra 1976 dalam harber, 2005).

Produk beton non-pasir memiliki kelebihan jika dipakai sebagai bahan elemen bangunan seperti dinding karena berbobot ringan (alternative material untuk konstruksi di daerah rawan gempa), teksturnya yang kasar dapat meredam gema suara dalam ruangan (cocok untuk ruangan studio rekaman atau siaran), karena mengandung pori yang banyak maka dapat berfungsi sebagai isolator panas serta menghemat penggunaan semen dan pasir.



Gambar 3.1 Proses Konstruksi Gedung Berlantai 19 di Stuttgart Jerman (malholtra, 1976, dalam harber 2005)

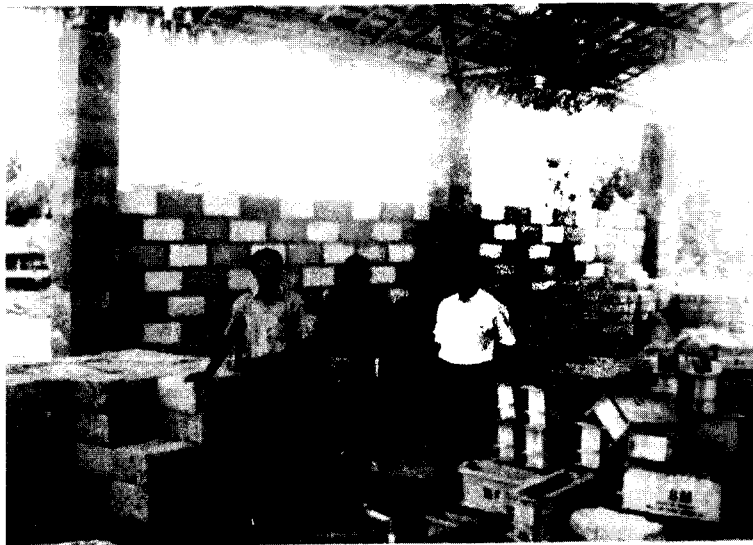
3.2 BETON NON-PASIR DI INDONESIA

Berdasarkan catatan yang diperoleh, pemanfaatan teknologi beton non-pasir di Indonesia telah dimulai sejak tahun 2002. Pelopornya adalah Jurusan Teknik Sipil Dan Lingkungan (JTSL), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Pada masa itu banyak penelitian dan uji coba lapangan yang dilakukan oleh para akademisi untuk dapat menghasilkan produk berbasis beton non-pasir dengan memanfaatkan material yang ada di daerah Yogyakarta, misalnya kerikil dari Gunung Merapi.

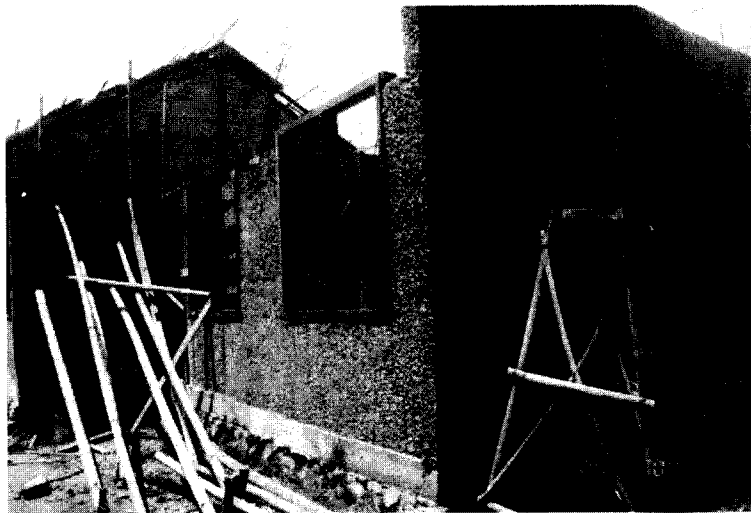
3.3 HASIL UJI COBA DI LAPANGAN

Beberapa hasil penelitian di laboratorium dan uji coba lapangan yang menjadi tonggak awal penggunaan bahan beton non-pasir di Indonesia, diantaranya sebagai berikut:

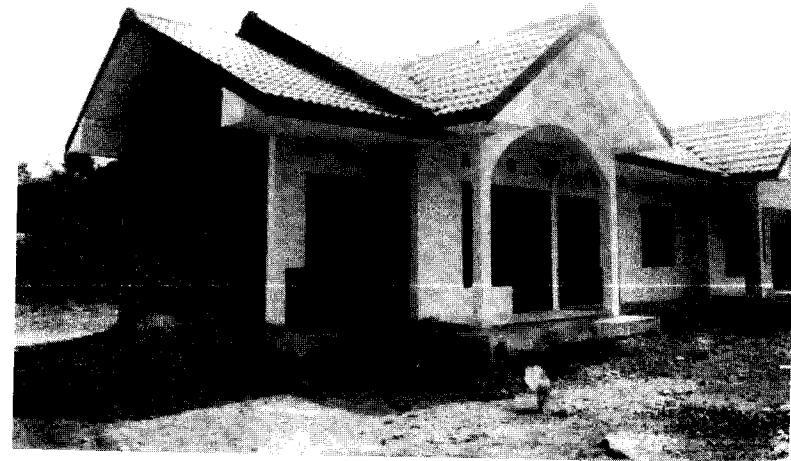
1. Pembuatan bata dari beton non-pasir (BATAGAMA I). Bata beton ini telah diproduksi di Dusun Jambon, Desa bawuran, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul, sejak tahun 2002. Bata beton dari daerah ini telah dipakai untuk dinding tembok gedung, antara lain di bangunan pabrik bata beton di dusun Jambon, bangunan restoran kedai kebun di jalan Tirtodipuran no. 3 Yogyakarta, adapun bata beton (BATAGAMA II) yang diproduksi di dusun Kemiri, desa Purwobinangun, kecamatan Pakem, kabupaten Sleman, sejak tahun 2003, telah dipakai untuk perluasan masjid di dusun Kemiri, rumah percontohan di kompleks perumahan kabupaten Sleman dan gedung pusat penjualan barang-barang kerajinan dari beton non-pasir di dusun Kemiri.
2. Struktur beton non-pasir bertulang. Struktur beton ini telah dipakai untuk membuat bangunan gapura di dusun Kemiri dan Perumnas Condongcatur
3. Buis beton untuk sumur resapan
4. Perkerasan jalan lingkungan
5. Barang kerajinan, misalnya pot bunga, meja-kursi taman, dsb.



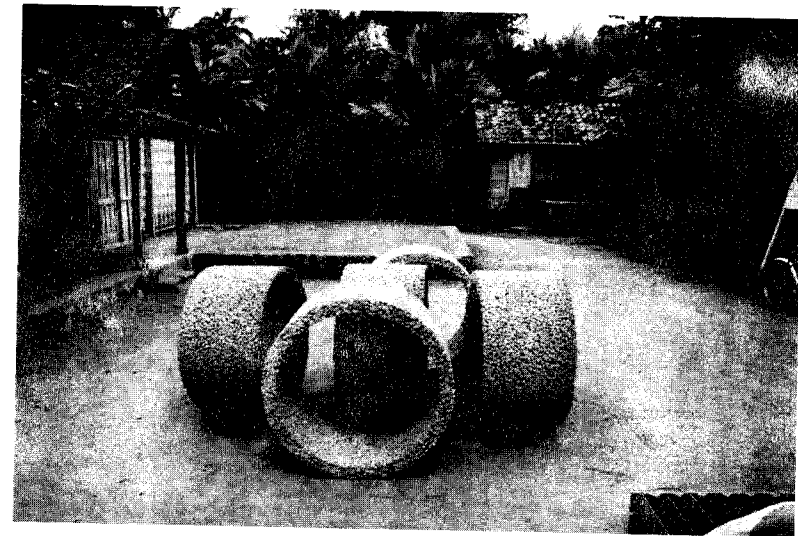
Gambar 3.2 Pabrik Batako Beton Non-pasir di Bawuran, Pleret, Bantul (foto: Tjokrodimuljo, 2004 dalam Tjokrodimuljo 2007)



Gambar 3.3 Proses Konstruksi Rumah Contoh di Beran, Sleman (foto: Tjokrodimuljo, 2004 dalam Tjokrodimuljo 2007)



Gambar 3.4 Rumah Contoh di Beran, Sleman (foto: Tjokrodimuljo, 2004 dalam Tjokrodimuljo 2007)



Gambar 3.5 Buis Beton Dibuat Di Dusun Kemiri (foto: Rannu Nugraha T., 2007 dalam Tjokrodimuljo 2007)



Gambar 3.6 Capura Di Perumnas Condongcatur, Sleman (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimuljo 2007)



Gambar 3.7 Interior Pusat Penjualan Barang-Barang Kerajinan Di Dusun Kemiri (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimuljo 2007)



Gambar 3.8 Tampak Samping Pusat Penjualan Barang-Barang Kerajinan di Dusun Kemiri (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimuljo 2007)



Gambar 3.9 Pot Bunga Dan Barang Kerajinan (foto: L. Bagas, F.D., 2007 dalam Tjokrodimuljo 2007)

3.4 BAGAIMANA APLIKASI BETON NON-PASIR UNTUK BANGUNAN GEDUNG

Pada dasarnya proporsi campuran untuk aplikasi bangunan gedung tidak jauh berbeda dengan aplikasi untuk konstruksi perkerasan jalan. Mulai dari spesifikasi material kerikil, takaran material penyusun, prosedur pengadukan, pencetakan dan perawatan. Tetapi yang membedakannya di sini adalah tidak perlu dilakukan prosedur pemeliharaan yang karena untuk konstruksi bangunan tidak diutamakan sifat porositasnya melainkan aspek penghematan dari penggunaan agregat halus dan semen. Oleh sebab itu, penggunaan sedikit porsi agregat halus (pasir) dalam campuran masih diperbolehkan karena target yang ingin dicapai di sini adalah kekuatan bahan, terutama apabila ingin diterapkan sebagai komponen utama struktur bangunan.

3.5 HASIL PENELITIAN

Penelitian yang pernah dilakukan di Indonesia difokuskan pada usaha untuk menemukan formulasi campuran yang sesuai dengan kondisi di setiap wilayah seperti mencoba pemanfaatan material-material local untuk diaplikasikan sebagai bahan agregat beton non-pasir yang dapat berupa produk elemen bangunan sampai dengan kerajinan. Kegiatan tersebut terasa manfaatnya misalnya bagi masyarakat yang wilayahnya tidak memiliki ketersediaan material pasir atau material agregat kasar yang ada kurang memenuhi persyaratan teknis.

3.5.1 Penelitian terhadap kebutuhan semen per m³ beton

Beton non-pasir tidak/sedikit menggunakan bahan pasir maka kebutuhan semen lebih sedikit daripada beton normal. Jumlah kebutuhan semen per m³ betonnya tergantung rasio campuran antara semen dan agregat kasarnya, yaitu antara 137-700 kg. di sini kebutuhan semen juga tergantung pada kekuatan dan ukuran partikel, jika agregat mudah hancur dan ukurannya semakin kecil maka kebutuhan semen akan meningkat.

Data yang disajikan pada Tabel 3-1 sampai dengan Tabel 3-3 berikut ini merupakan hasil penelitian beton non-pasir yang memanfaatkan material agregat kasar batu apung dan kerikil gunung merapi, yang lazimnya kurang dimanfaatkan sebagai bahan bangunan karena sifatnya yang lemah. Tetapi sejatinya di teknik sipil khususnya bidang bahan bangunan bahwa tidak ada material yang tidak dapat dimanfaatkan, atau dapat dikatakan zero waste karena prinsipnya tidak semua elemen konstruksi bangunan membutuhkan material yang sama mutunya

Tabel 3.1 Kebutuhan Semen Per m³ Beton Non-pasir

Perbandingan (volume) Semen: Kerikil	Jumlah Kebutuhan Semen Tiap Meter Kubik Beton Non-pasir (kg)	
	Batu Apung Asal Bawuran, Bantul*	Kerikil Gn. Merapi Asal Kaliputih, Muntilan, Magelang**
1: 2	781	605
1: 4	421	351
1: 6	322	239
1: 8	273	177
1: 10	195	137

*¹) Niken Rahayu P.H., 2000

**²) Akhmad Subkhannur, 2002

Dari Tabel di atas menunjukkan bahwa kebutuhan semen pada beton non-pasir dengan agregat batu apung yang lebih rendah kekerasannya membutuhkan porsi semen yang lebih banyak dari pada beton dengan agregat kerikil gunung Merapi.

Dari segi porsi semen yang sesuai dengan karakteristik beton non-pasir yang memiliki porositas, pemakaian semen lebih hemat dibanding beton normal (porsi pasta semen yang ada hanya untuk menyelimuti agregat) dan berbobot ringan maka porsi campuran yang optimal untuk kedua jenis agregat tersebut adalah mulai dari 1 Semen: 8 Agregat.

3.5.2 Penelitian terhadap berat jenis dan kekuatan beton non-pasir

Penelitian masih menggunakan dua jenis agregat yang berbeda karakteristik, untuk melihat pengaruhnya terhadap berat jenis dan kekuatan tekan beton non-pasir. Selain itu dari variasi campuran yang ada akan menunjukkan *range* mutu beton non-pasir yang masih bisa digunakan sebagai bahan bangunan.

Tabel 3.2 Rasio Volume Dan Berat Jenis Beton Non-pasir

Perbandingan (volume) Semen: Kerikil	Berat Jenis Beton Non-pasir	
	Batu Apung Asal Bawuran, Bantul*	Kerikil Gn. Merapi Asal Kaliputih, Muntilan, Magelang**
1: 2	1,79	2,24
1: 4	1,74	2,17
1: 6	1,69	2,00
1: 8	1,64	1,89
1: 10	1,59	1,79

*) Niken Rahayu P.H., 2000

**) Akhmad Subkhannur, 2002

Tabel 3.3 Rasio Volume Dan Kuat Tekan Beton Non-pasir

Perbandingan (volume) Semen: Kerikil	Kuat Tekan Beton Non-pasir (MPa)	
	Batu Apung Asal Bawuran, Bantul*	Kerikil Gn. Merapi Asal Kaliputih, Muntilan, Magelang**
1: 2	15	31
1: 4	20	20
1: 6	10	14
1: 8	9	9
1: 10	8	6

*) Niken Rahayu P.H., 2000

**) Akhmad Subkhannur, 2002

Hasil penelitian dalam Tabel 3-2 dan 3-3, menunjukkan bahwa penggunaan agregat yang lebih rendah kekerasannya ternyata berdampak pada semakin menurunnya berat jenis dan kuat tekan beton, tetapi jika dilihat pada campuran yang paling banyak porsi penggunaan agregatnya (1 PC: 10 Agregat) menunjukkan kuat tekan sebesar 8 MPa, jika dimanfaatkan untuk bahan batako atau panel dinding maka masih memenuhi syarat kekuatan.

3.5.3 Penelitian Penggunaan Beton Non-pasir Untuk Elemen Struktur Bangunan

Penelitian yang dilakukan oleh ahli di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta untuk mencoba menggunakan beton non-pasir sebagai bahan balok, kolom dan dinding bertulang, bertujuan mengetahui karakteristik beton non-pasir jika diaplikasikan sebagai elemen struktur bangunan.

Hasil pengujian berikut ini dilakukan terhadap elemen struktur bangunan yang menggunakan tulangan baja:

1. Balok

Penelitian untuk mengetahui kuat momen dan daktilitas alok beton-non-pasir dengan kerikil dari *lempung* bekah bakar (expanded clay, shale, berat jenis 1,2) telah dilakukan (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1995). Balok ukuran lebar 150 mm, tinggi 200 mm, panjang 2000 mm (panjang bentang 1800 mm).

Balok disisipkan tulangan atas dan tulangan bawah sama besar, masing-masing 2 Ø 8, 2 Ø 10, 2 Ø 12, 3 Ø 12 dan 3 Ø 16 (5 buah balok) telah diuji. Kuat tekan beton-non-pasir 15 MPa, dan tegangan leleh baja tulangan 340 MPa.

Hasil uji memperoleh momen elastis berturut-turut sebesar: 4,9 kN-m, 7,4 kN-m, 12,5 kN-m, 18 kN-m, dan 26 kN-m, serta momen plastis maksimum sebesar 5,1 kN-m, 7,7 kN-m, 14 kN-m, 20 kN-m, dan 30 kN-m.

Berdasarkan hasil tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa kuat momen elastis balok beton non-pasir setara dengan balok beton bertulang biasa dengan nilai keuletan/daktilitas yang cukup besar.

Berikutnya penelitian yang dilakukan Fathi Basewed dan Kardiyono Tjokrodinuljo (1997) untuk mengetahui kuat geser balok beton non-pasir. Benda uji yang digunakan berupa balok dengan ukuran lebar 150 mm, tinggi 200 mm, panjang 2000 mm (dengan panjang bentang 1800 mm), dengan tulangan atas dan tulangan bawah sama besar, masing-masing 2 Ø 16. Lima balok uji dibuat, dengan sengkang (begel) diameter 6 mm, dengan jarak berturut-turut: 50 mm, 75 mm, 100 mm, 125 mm, dan 150 mm. Tegangan leleh tulangan sengkang 320 MPa dan kuat tekan beton-non-pasir 15 MPa.

Hasil yang diperoleh adalah beban maksimum sekitar 30-48 kN (sekitar 55-80 persen dari hasil analisis sebagaimana beton biasa. Dari pengamatan pengujian tampak bahwa kerusakan geser bersifat rapuh. Dengan demikian beton non-pasir harus dihindari dari kerusakan geser.

2. Kolom

Prabowo Setiyawan di Tahun 2002 melakukan penelitian terhadap kolom beton non-pasir bertulang. Lima belas benda uji kolom dengan dimensi 150 mm x 150 mm dan panjang 2000 mm, telah dibuat. Lima kolom kelompok pertama diberi tulangan pokok 4 Ø 8, lima kelompok kedua 4 Ø 10, dan lima kelompok ketiga 4 Ø 12. Semua kolom diberi tulangan begel diameter 6 mm dengan jarak satu sama lain 160 mm. Pengujian dilakukan dengan beban aksial eksentris, dengan eksentrisitas bervariasi tiap benda ujinya, yaitu: 75 mm, 150 mm, 225 mm, 300 mm, dan 375 mm.

Hasil uji kuat tekan beton non-pasirnya sebesar 9 MPa, dan modulus elastisnya 13.300 MPa, dan regangan pada saat beban

maksimum sebesar 0.0009. Tegangan leleh baja tulangannya sebesar 293 MPa, 403 MPa, 361 MPa berturut-turut untuk tulangan berdiameter 8 mm, 10 mm, dan 12 mm. Dari penelitian ini tampak bahwa hubungan beban-lendutan hasil pengujian eksperimen sama dengan hasil cara analisis. Kerusakan/kegagalan kolom terjadi pada tekan betonnya.

3. Dinding

Penelitian untuk mengetahui sifat-sifat dinding beton non-pasir telah dilakukan oleh Hafni Baasir (2005). Pada penelitian dinding yang diuji dengan dimensi: tebal 100 mm, panjang 30000 mm, dan tinggi 3000 mm. Bagian bawah dinding bertumpu di atas balok berukuran lebar 150 mm x tinggi 300 mm (dengan tulangan pokok yang atas 2 Ø 10 dan yang bawah 3 Ø 14). Pada sisi atas dinding diberi balok beton ukuran 100 mm x 100 mm dengan tulangan 4 Ø 8, dan di kedua sisi dinding diberi kolom beton dengan ukuran 100 x 100 mm dengan tulangan 4 Ø 8.

Benda uji dibuat dua buah, yang pertama tanpa tulangan, dan yang kedua dengan tulangan horisontal diameter 6 mm dengan jarak vertikal 200 mm. Beton non-pasir ini beratnya 1500 kg per meter kubik, kuat tekan 4,45 MPa, kuat tarik 0,248 MPa, dan modulus elastis 16000 MPa. Hasil uji tulangan menunjukkan bahwa tegangan leleh 281 MPa, kuat tarik 398 MPa, dan modulus elastis 194983 MPa.

Kedua dinding dibebani arah horisontal di tepi atasnya searah bidang dindingnya dengan beban statis. Tampak bahwa retak pertama terjadi pada beban 2,972 kN dan 15,716 kN berturut-turut untuk dinding tanpa tulangan dan dinding dengan tulangan. Adapun beban maksimum sebesar 28,8 kN untuk dinding tanpa tulangan dan 59,9 untuk dinding dengan tulangan.

3.6 CONTOH PERANCANGAN CAMPURAN BETON NON-PASIR

Rancangan campuran beton non-pasir dengan menggunakan kerikil alam dari Cangkringan, Yogyakarta, yang merupakan hasil penelitian Akhmad Subhannur di tahun 2002 dalam Tjokrodinuljo 2009.

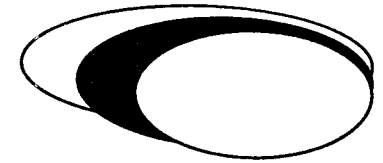
Kebutuhan bahan setiap 1 m ³ beton non-pasir			
No.	Uraian		Penjelasan
1	Kuat tekan yang disyaratkan	10 MPa	Sesuai keinginan ¹⁾
2	Nilai tambah (margin)	7 MPa	Sesuai SNI 03-2834-2002
3	Kuat tekan rata-rata yang hendak dicapai	12 MPa	10 MPa + 7 MPa
4	Jenis Semen	Tipe PCC	
5	Faktor air semen, porsi air terhadap berat semen	0,4	Ditetapkan ²⁾
6	Jenis Agregat	Kerikil Alam Cangkringan	
7	Ukuran agregat	10–20 mm	
8	Rasio volume Semen-Agregat	1: 6	
9	Faktor koreksi tambahan bahan	1,15	
10	Berat 1 m ³ agregat	1457 kg	Hasil uji laboratorium
11	Kebutuhan agregat per m ³ beton	1675 kg	1,15 x 1457 kg
12	Kebutuhan semen, per m ³ beton	239 kg	1/6 x 1,15 x 1250 kg/m ³ (berat volume semen)
13	Kebutuhan air, per m ³ beton	96 liter	0,4 x 239
14	Berat beton non-pasir per m ³ beton	2010 kg	Poin 11 + 12 + 13

¹⁾ dapat dipakai sebagai bahan batako, panel dinding dan jalan lingkungan

²⁾ berdasarkan pengalaman

Desain campuran merupakan sebagian proses produksi beton non-pasir, masih ada faktor lain yang paling menentukan mutu produk yaitu sebagai berikut:

1. Porsi air, air yang berlebihan dalam campuran hanya akan membuang material semen jika pengadukannya secara manual karena butiran semen yang ringan dan halus mudah terbawa oleh aliran air, sedangkan jika pengadukan memakai *concrete molen* air yang berlebih akan menurunkan mutu beton non-pasir.
2. Kebersihan agregat, agregat harus bersih dari kotoran dan minyak untuk menjamin pasta semen sempurna mengikat butiran agregat.
3. Bentuk agregat, beton non-pasir yang baik mutunya terbuat dari agregat batu pecah atau agregat alami yang berbentuk *angular* dan bersudut permukaannya, hindari penggunaan agregat pipih (*flaky*) dan bundar/licin permukaannya.
4. Pemadatan, mutu produk beton non-pasir tidak terlepas dari aktivitas pemadatan karena produk yang padat akan menghasilkan kekuatan dan kestabilan yang lebih baik.
5. Bahan tambahan, menurut riset penggantian sebagian porsi semen oleh bahan pozzolan seperti *fly ash* (limbah pembakaran batu bara) dan *rice husk ash* (abu pembakaran sekam padi) dari 20 % sampai 50 % dari berat semen, bermanfaat dalam mengurangi penggunaan semen, mengurangi penyusutan (*drying shrinkage*) dan meningkatkan kepadatan (*density*) beton non-pasir serta kuat tekan dan porositas yang tidak berbeda jauh hasilnya jika menggunakan 100 % semen (Aoki, 2009).
6. Porsi semen, penggunaan porsi semen yang berlebih dapat menghilangkan karakteristik utama beton non-pasir seperti bobot yang ringan dan bersifat permeable. Jika ingin digunakan sebagai elemen bahan dinding rumah misalnya produk batako atau dinding cor di tempat (*cast in place*) dapat menggunakan porsi semen, agregat dan air sebanyak 1: 5: 0,4 s/d 0,5, sampai dengan porsi campuran 1: 7: 0,4 s/d 0,5.



DAFTAR PUSTAKA

- Aoki, Yukari, 2009, *Development Of Pervious Concrete (Thesis)*, University Of Technology (Faculty Of Engineering and Information Technology), Sydney-Australia
- Harber, Paul, 2005, *Applicability of No-Fines Concrete As A Road Pavement* (Dissertation), University Of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying, Australia
- NRMC, 2004, *Concrete in Practice-what, why, how (CIP 38-Pervious Concrete)*, USA.
- NRMCA, 2010, *Pervious Concrete and Construction* (International Concrete Sustainability Conference Dubai, December 2010), USA
- M.S. Shetty, 2000, *Concrete Technology-Theory And Practice*, S. Chand Limited, India
- Raju, Krishna, 1983, *Design Of Concrete Mixes*, CBS Publishers & Distributors, India

Tjokrodimuljo, K, 2007, Serba-Serbi Beton Non-pasir (Hasil Penelitian Di Laboratorium dan Uji Coba Lapangan), JTSL-FT, UGM, Yogyakarta.

Internet:

<http://pencariilmu-goresantinta.blogspot.com>

-oo0oo-

