

PEMANFAATAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN CAMPURAN BETON AGROPOLYMER

Musbar, Faisal Rizal, Herri Mahyar

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe,

Abstract

Contribution of production PC every year at glasshouse emission continue to experience of increase, estimated about 7% from totalizing the glasshouse emission transmitted to atmosphere earth. On that account, is very needed the new inventions of concrete technology to produce the friendly environment. Some alternatives among its by making the concrete polymer which materials base natural, be like fly ash and rice husk ash (RHA). this research use the RHA upon which mixture to make the concrete agropolymer. Concrete agropolymer use fixative of silicate sodium condensation mixture, hydroxide sodium and RHA. Variable remain to this research is strength the concrete agropolymer. Free variable consist of the ratio variation water and agropolymer solid that is 0,6 and 0,7, treatment time during 3,7, 14 and 21 day. Temperature treatment of object test at room temperature, each; every variation made by the object test the cube with side of 10 cm counted 5. This research can give the alternative to invention of friendly concrete of environment by exploiting the waste materials natural agricultural produce, but not yet application can at building construction because of strength depress the concrete still lower. Strength depress the obtained by concrete range from 4 - 5 Mpa at the age of concrete of 21 day. It's needed to do the further research to get the ideal composition of materials concrete agropolimer this so that can be obtained the strength depress the application concrete able to building construction.

Keyword : RHA, agropolymer, concrete strength

PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Permintaan beton sebagai bahan utama konstruksi akan semakin meningkat dari tahun ke tahun, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya: penambahan penduduk, perkembangan teknologi dan pelaksanaan pembangunan yang berkelanjutan. Oleh karenanya, maka permintaan semen juga akan terus bertambah, pada tahun 1995 telah digunakan sebesar 1,5 milyar ton semen dan diperkirakan pada tahun 2010 sebesar 2,2 milyar ton semen (Maholtra, 1999)

Kontribusi dari produksi PC biasa diseluruh dunia pada emisi rumah kaca diperkirakan 1.35 miliar ton tiap tahun atau kira-kira 7% dari total emisi rumah kaca yang dipancarkan ke atmosphere bumi. Juga telah dilaporkan bahwa struktur beton yang banyak itu, terutama yang

dibangun pada lingkungan yang korosif, mulai memburuk setelah 20-30 tahun walaupun dirancang untuk lebih dari 50 tahun.

Industri beton telah mengakui isu tersebut, sebagai contoh, industri beton U.S telah mengembangkan rencana untuk menunjuk isu ini didalam " Visi 2030: Suatu Visi untuk industri beton U.S. Di dalam tulisan ini, strategi untuk mempertahankan beton sebagai material konstruksi pilihan untuk pengembangan infratraktur, dan pada masa yang sama membuatnya menjadi suatu material yang ramah lingkungan untuk masa depan.

Untuk menghasilkan beton yang ramah lingkungan, Mehta (2002) mengusulkan penggunaan sumber daya alam yang terbatas, hemat energi, serta meminimalkan gas karbon dioksida yang dilepaskan ke udara. Ia menggolongkan usaha jangka pendek ini sebagai ekologi industri. Sasaran jangka panjang dari mengurangi dampak dari hasil sampingan yang tak dikehendaki tentang industri dapat dicapai dengan penurunan tingkat konsumsi material.

Sejalan dengan yang tersebut di atas, salah satu usaha untuk menghasilkan beton yang lebih ramah lingkungan adalah menggantikan sejumlah PC di dalam beton dengan bahan-bahan hasil sampingan yang mengandung pozzolan seperti abu sekam padi (ASP), *fly ash* dan *silica fume*. Hasil penelitian yang telah dilakukan memberikan suatu prestasi yang penting mengenai ini yaitu pengembangan dari beton *high-volume fly ash* (HVFA) yang menggunakan hanya sekitar 40% PC, namun juga menguasai sifat mekanis yang sempurna dengan capaian ketahanan yang ditingkatkan. Hasil percobaan menunjukkan HVFA beton itu lebih tahan lama dibanding beton PC biasa.

Seperti kita ketahui semua, pada umumnya setelah terjadinya gempa bumi dengan skala yang cukup besar, akan mengakibatkan kerusakan struktur maupun non-struktur pada bangunan yang terbuat dari konstruksi beton bertulang. Bentuk dan tingkat kerusakan yang terjadi mulai dari yang ringan sampai berat.

Dengan adanya tuntutan bahwa bangunan yang mengalami kerusakan harus sudah dapat secepatnya difungsikan kembali, maka perlu adanya penanganan terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi, baik dengan melakukan perbaikan ataupun perkuatan. Seringkali dengan terbatasnya waktu, maka perbaikan atau perkuatan yang dilakukan tidak memperhatikan beberapa kaidah yang berkaitan dengan kapasitas struktur dan prosedur pelaksanaan serta kontrol kualitas.

Oleh sebab itu untuk mendapatkan hasil perbaikan dan perkuatan yang tepat guna dan mencapai sasaran yang telah ditetapkan, maka perlu dilakukan investigasi untuk mendapatkan data-data kerusakan baik melalui pengamatan visual ataupun dengan bantuan pengujian non-destructive maupun semi *destructive* dan mereview dokumen dari struktur yang ada. Dari hasil investigasi tersebut, kemudian dilakukan analisa dan evaluasi pada struktur tersebut untuk menetapkan apakah kerusakan yang terjadi hanya perlu perbaikan atau perlu perkuatan atau dalam kondisi yang terjelek struktur yang mengalami kerusakan harus dilakukan pembongkaran dan dibangun struktur baru.

Beton polimer memiliki sifat kedap air, tidak terpengaruh sinar ultra violet, tahan terhadap larutan agresif seperti bahan kimia serta kelebihan lainnya. Yang lebih istimewa lagi, beton polimer bisa mengeras di dalam air sehingga bisa digunakan untuk memperbaiki bangunan-bangunan di dalam air. Satu-satunya kelemahan yang hingga kini belum teratasi adalah harga beton polimer masih belum bisa lebih rendah dibanding beton semen, kecuali untuk daerah Irian Jaya, di mana harga semen sangat mahal. Karena itu, beton polimer selama ini lebih banyak digunakan untuk rehabilitasi bangunan yang rusak. Perbaikan kubah

clinker storage PT Semen Padang yang retak antara 0,01 sampai 5 mm akibat tertimpa crane dilakukan dengan menginjeksi bahan polimer JDB-01 Grout. Bahan serupa diberikan untuk perbaikan *rotary kiln* PT Tonasa IV yang retak pada pondasinya. Sementara perbaikan prilling tower PT Multi Nitrotama Kimia di lingkungan pabrik natrium nitrat di Dawuan, Cikampek, yang rusak akibat agresi bahan kimia tersebut, dilakukan dengan bahan polimer JDB-05 Coat. "Sampai sekarang masih tetap baik dan tidak ada keluhan,"

Perumusan Masalah

Akibat sumbangan yang cukup besar pada efek rumah kaca pada proses pembuatan semen, maka diperlukan usaha-usaha untuk mengurangi penggunaan PC dalam beton dalam kaitannya pada peningkatan pemanasan global. Beberapa usaha yang dilakukan adalah menggantikan sebagian semen dengan material lain yang bersifat *pozzolanic* seperti : *fly ash*, *silica fume*, *granulated blast furnace slag*, ASP, metakaolin dan pengembangan binder-binder alternatif pada PC.

Salah satu usaha yang dilakukan adalah dengan membuat beton agropolymer yang merupakan kombinasi dari campuran bahan sisa produksi pertanian (abu sekam padi) dan polymer. Campuran kedua bahan tersebut dapat dijadikan sebagai bahan pengikat yang berfungsi seperti semen pada campuran beton. Beton agropolymer merupakan bahan konstruksi alternatif selain beton konvensional, dimana beton tersebut ramah terhadap lingkungan.

STUDI PUSTAKA

Pada bagian ini akan dibahas mengenai pengembangan binder alternatif pada campuran beton dengan menggunakan bahan limbah yang bersifat *pozzolanic*. Secara lengkap literatur yang mendukung penelitian ini disajikan pada bab ini.

Dampak Industri Beton Terhadap Lingkungan

Hasil sampingan yang berupa limbah karbon dioksida (CO₂) merupakan isu yang penting dalam industri. Pada kenyataannya industri semen ikut juga menyumbangkan emisi rumah kaca ini, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan temperatur global. Mekanisme perdagangan yang berbasis pengurangan emisi secara ekonomi menjadi salah satu cara membantu negara-negara di dunia dalam mengurangi emisi rumah kaca seperti yang termaktub dalam protokol Kyoto tahun 1997.

Produksi semen terus meningkat setiap tahunnya, rata-rata mengalami peningkatan sebesar 3% (McCaffrey, 2002). Pada industri semen untuk setiap produksi 1 ton semen melepaskan 1 ton gas karbon dioksida (CO₂) ke atmosphere, sebagai hasil dari de-

karbonisasi batu kapur di dalam tanur selama proses pembuatan semen dan pembakaran bahan bakar fosil (Roy, 1999).

Diperlukan usaha-usaha untuk mengurangi penggunaan PC dalam beton dalam kaitannya pada peningkatan pemanasan global. Beberapa usaha yang dilakukan adalah menggantikan sebagian semen dengan material lain yang bersifat *pozzolanic* seperti : *fly ash*, *silica fume*, *granulated blast furnace slag*, ASP, metakaolin dan pengembangan binder-binder alternatif pada PC (Rangan, 2008).

Abu Sekam Padi

Salah satu bahan mineral tambahan alternatif yang bersifat *pozzolanic* yang merupakan limbah hasil penggilingan padi yang dinamakan dekan abu sekam padi (ASP). ASP mempunyai kesamaan yang banyak dengan *silica fume*. Bahan-bahan tambahan ini merupakan alternatif yang dapat mengurangi penggunaan semen pada beton, sehingga dapat mengurangi emisi gas buang karbon dioksida (CO_2) yang dihasilkan dari industri semen (Damtoft, 1999).

ASP merupakan bahan *pozzolan* yang sangat reaktif dengan kandungan silika dioksida (SiO_2) sekitar 85 % (Yu, 1999). Material ini dapat digunakan sebagai pengganti semen dalam batasan jumlah tertentu. Reaktivitas material ini tergantung kombinasi dari dua faktor, yang dinamakan dengan kandungan silika non-crystalline dan permukaan yang spesifik dari ASP tersebut. Pembakaran yang tidak terkontrol pada pembakaran ASP umumnya akan menghasilkan abu yang mengkristal dan juga akan menghasilkan *pozzolan* yang tidak bagus. Pembakaran yang terkontrol dengan baik akan diperoleh ASP yang sangat reaktif (Paya, 2001 & Majuar, 2004). Bentuk dari kandungan silika pada ASP tergantung dari temperatur dan lamanya proses pembakaran. Temperatur pembakaran pada batas 400 – 500°C menunjukkan kandungan karbon monoksida yang tinggi, sedangkan jika temperatur sampai 750°C menghasilkan silika yang amorf dan pada temperature dibawah 780°C silika mulai mentransformasi dalam bentuk kristal (Majuar, 2004). Komposisi perbandingan OPC (*ordinary portland cement*), ASP dan CSF (*condensed silica fume*) menurut Majuar (2004) diperlihatkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Komposisi Kimia OPC, ASP dan CSF

Oxide (%)	OPC	ASP	CSF
Silicon dioxide (SiO_2)	20,99	88,82	92,06
Aluminium Trioxide (Al_2O_3)	6,19	0,46	0,48

Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃)	3,86	0,67	2,11
Calcium Oxide (CaO)	65,96	0,67	0,40
Magnesium Oxide (MgO)	0,20	0,44	0,63
Sodium Oxide (Na ₂ O)	0,17	0,12	0,28
Potassium Oxide (K ₂ O)	0,60	2,91	1,24
Phosphorus Oxide (P ₂ O ₅)	0,05	1,00	0,02
Titanium Oxide (TiO ₂)	0,40	0,02	0,01
Manganese Oxide (MnO)	0,06	0,08	0,23
Loss on Ignition	1,53	4,81	2,54

Sumber : Majuar (2004)

Mehta dan Pitt (1978) menyatakan bahwa ASP yang dibakar secara terkontrol, dapat memiliki kandungan silika dioksida yang tinggi dan menjadi bahan tambah yang sangat reaktif. Kandungan silika dioksida pada ASP tinggi daripada *blast furnace slag* maupun *fly ash* dan hampir sama dengan *silica fume* (Sugita, 1992).

Penelitian terhadap ASP sebagai material yang mempunyai sifat seperti semen (*cementitious*) telah dikembangkan di banyak negara di dunia. Dari penelitian-penelitian tersebut telah disimpulkan bahwa ASP sebagai suatu material yang diberikan pada campuran semen dalam pembuatan beton ternyata banyak memperbaiki propertis beton. Semula bahan-bahan yang bersifat *pozzolanic* ini hanya dikembangkan sebagai bahan pengisi (*filler*) ruang mikro yang terbentuk diantara butiran semen yang terhidrasi agar matriks beton menjadi lebih padat. Kemudian terbukti bahwa daerah lekatan agregat-matriks semen yang bersifat *pozzolanic* yang mengandung silika dioksida (SiO₂) bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) yang merupakan produk samping proses hidrasi semen yang terkumpul di daerah perbatasan agregat dan matrik semen (*Internal Transitional Zone*) (Musbar, 2005). Adapun hasil reaksi tersebut yaitu kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang merupakan material padat yang tidak larut dengan air. C-S-H ini akan mengisi daerah perbatasan agregat dan matrik semen sehingga mengurangi pori-pori dan dapat meningkatkan kekuatan pada beton (Yu, 1999 & Memeon, 2002).

ASP merupakan material yang sangat halus luas area permukaan yang spesifik dan porositas yang tinggi dibandingkan dengan PC biasa. Zhang (1996) melaporkan bahwa ukuran partikel dan luas permukaan spesifik dari ASP berkisar antara 5 – 10 µm dan 20 – 50 m²/g dengan berat jenis sekitar 2,06.

Penggunaan ASP pada Beton

Penambahan ASP pada campuran beton akan menjadi masalah untuk menghasilkan beton mutu tinggi, hal ini dikarenakan kebutuhan air yang tinggi. Padahal beton mutu tinggi dihasilkan dengan rasio air-binder yang rendah, untuk mengatasinya maka digunakan bahan superplasticizer (Aitcin, 1997).

ASP dapat berfungsi sebagai pengisi pada semen dan meningkatkan tingkat kohesifitas dari campuran beton. Sebaliknya, ASK mempengaruhi workability dan waktu pengikatan pada beton segar. Dengan menggunakan bahan superplasticizer pada campuran beton, maka beton ASK dengan workabilitas tinggi dapat di buat (Majuar, 2004).

Agropolymers

Agropolymers ini merupakan sesuatu yang masih baru, sehingga referensi tentang agropolymers sangat sulit didapat dan penulis mengalami sedikit kesulitan dalam menguraikan agropolymers secara rinci. Tetapi sebagai pembanding maka penulis memberikan gambaran tentang material yang mempunyai propertis yang hampir sama dengan agropolymers yaitu geopolymers.

Davidovits (1998 ; 1994) menyatakan bahwa larutan basa dapat digunakan untuk mereaksikan silika dan aluminium yang terdapat dalam material dari sumber geologi murni ataupun material produk sampingan (limbah) seperti *fly ash* dan ASP untuk menghasilkan binder. dikarenakan reaksi kimia ini berlangsung dan ini dinamakan dengan proses polymerisasi, dia menemukan istilah "geopolymers" yang hadir sebagai bahan binder pengganti semen pada beton.

Berdasarkan pernyataan Davidovits di atas, maka dapat disimpulkan bahwa penamaan geopolymer disebabkan oleh penggabungan nama bahan utama yang digunakan yaitu *fly ash* dari hasil geologi yang merupakan produk sampingan, kemudian direaksikan dengan larutan basa dan dinamakan proses polymerisasi, maka nama tersebut digabungkan menjadi geopolymers.

Berpijak dari uraian ini, penulis menggunakan bahan utama yaitu ASP dari produk sampingan agronomi (pertanian) dengan direaksikan dengan larutan basa dan dinamakan proses polymerisasi, maka nama tersebut digabungkan menjadi agropolymers.

Agropolymers merupakan famili dari polymers inorganic. Komposisi kimia dari material agropolymer ini mempunyai kesamaan dengan material zeolit alami, tetapi mempunyai microstruktur yang amorphus (Palomo et al, 1999 ; Xu and van Deventer, 2000). Proses polymerisasi meliputi reaksi kimia yang sangat banyak dibawah kondisi basa dan unsur Si-Al.

Ada dua unsur utama dari agropolymers/geopolymer, dinamakan dengan material sumber (ASP) dan larutan basa. Material sumber untuk agropolymer berbahan dasar alumina-silikat yang kaya dengan silika (Si) dan aluminium (Al). Material-material sumber ini didapat dari produk sampingan seperti fly ash, sica fume, ASP, lumpur merah, dll. Pilihan untuk material sumber untuk membuat geopolymer atau agropolymers tergantung dari ketersediaan material sumber, biaya, tipe aplikasi dan kebutuhan spesifik (Rangan, 2008). Larutan basa dibuat dari logam basa yang dapat larut yang biasanya dengan bahan dasar potassium dan sodium. Larutan yang bersifat paling basa yang digunakan dalam geopolymerisasi adalah kombinasi dari sodium hidroksida (NaOH) atau Potassium Hidroksida (KOH) dan sodium silikat atau potassium silikat.

Davidovits (1999) menjabarkan aplikasi yang mungkin dari geopolymer atau agropolymer tergantung dari rasio molar Si dengan Al, diberikan pada Tabel 2. berikut :

Tabel 2. Aplikasi Geopolymer/Agropolymer berdasarkan Rasio Si dan Al

Si: Al ratio	Applications
1	<ul style="list-style-type: none"> - Bricks - Ceramics - Fire protection
2	<ul style="list-style-type: none"> - Low CO₂ Cements and concretes - Radioactive and toxic waste encapsulation
3	<ul style="list-style-type: none"> - Fire protection fibre glass composite - Foundry equipments - Heat resistant composites, 200°C to 1000°C - Tooling for aeronautics titanium process
>33	<ul style="list-style-type: none"> - Sealants for industry, 200°C to 600°C - Tooling for aeronautics, SPF aluminium
20 – 35	<ul style="list-style-type: none"> - Fire resistant and heat resistant fibre composites

Sumber : Davidovits (1999)

Larutan Basa

Larutan yang bersifat sangat basa yang digunakan yang digunakan dalam geopolymerisasi atau agropolymerisasi adalah kombinasi dari sodium hidroksida (NaOH) atau potasium hidroksida (KOH) dan sodium silikat atau potasium silikat (Davidovits, 1999; Palomo et al. 1999; Barbosa et al. 2000; Xu dan van Deventer, 2000, Swanepoel dan Strydom 2002; Xu dan van Deventer 2002, Hardjito et al. 2004; Rangan, 2008). Pemakaian aktivator basa tunggal telah dilaporkan (Palomo et al. 1999; Teixeira-Pinto et al. 2002).

Palomo et al (1999) menyimpulkan bahwa tipe larutan basa memainkan peranan penting dalam proses polymerisasi. Reaksi terjadi sangat cepat ketika larutan basa diberikan atau ditambahkan silikat yang dapat larut, dapat juga untuk sodium atau potasium silikat, dibandingkan menggunakan hanya basa hidroksida saja. Xu dan van Deventer (2000) mengkonfirmasi bahwa penambahan larutan sodium silikat ke dalam larutan sodium hidroksida sebagai larutan basa meningkatkan reaksi antara material sumber dan larutan. Lebih lanjut, setelah penelitian geopolymerisasi dari 16 mineral alami Al-Si, didapati bahwa secara umum larutan NaOH sebagai pelarut dengan tingkat yang lebih tinggi dari material dibandingkan dengan larutan KOH.

Proporsi Campuran Beton Polymer (Geopolymer/Agropolymer)

Banyak hasil-hasil penelitian tentang material geopolymers sampai sekarang ini hanya pada propertis dari pasta atau mortar geopolymer, pengukuran menggunakan ukuran spesimen yang kecil. Banyak percobaan campuran dari beton geopolymer dibuat dan diuji di laboratorium. Data yang dikumpulkan dari studi ini menunjukkan bahwa parameter yang menyolok yang mempengaruhi kuat tekan dari beton geopolymer adalah seperti di bawah ini (Hardjito dan Rangan, 2005)

- Rasio Silika Oksida (SiO_2)-Aluminum oksida (Al_2O_3) dengan massa dari bahan sumber (*fly ash*); rasio ini lebih disukai di sekitar 2.0 sampai 3.5 untuk membuat beton yang bagus;
- Rasio larutan katalis-material sumber (*fly ash*) dengan massa;
- Konsentrasi dari larutan Sodium Hidroksida (NaOH) diukur dalam Molaritas (M), di sekitar 8 sampai 16 M;
- Rasio dari larutan Sodium Silicate-Sodium Hidroksida dengan massa; efek dari parameter ini tergantung dari komposisi larutan Sodium Silikat ;
- Kadar air dalam campuran.

Harus dicatat bahwa hanya *binder* (yang pada umumnya menduduki kira-kira 20 sampai 25% dari massa total) berbeda di dalam beton geopolymer jika dibandingkan dengan beton PC biasa. Oleh karena itu, pengaruh dari propertis dan kualitas dari agregat tidaklah diselidiki pada penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijabarkan lebih jelas tentang mekanisme mendapatkan material dasar, larutan alkali, agregat, *superplasticizer*, variasi variabel yang diteliti, proses pencampuran, perawatan, dan uji tekan.

Abu Sekam Padi

ASP diperoleh dari limbah penggilingan padi yang banyak terdapat disekitar lokasi penelitian. ASP yang digunakan sebagai material sumber didapatkan dari pabrik penggilingan padi dalam keadaan belum terbakar, pada umumnya penggilingan padi membakar hasil limbah penggilingan ini. Majuar (2004) menyatakan bahwa untuk mendapatkan ASP yang mengandung silika yang tinggi yaitu dengan melakukan pembakaran pada kisaran suhu sekitar 500 – 750°C.

Proses pembakaran

Proses pembakaran dilakukan pada tanur pembakaran yang terdapat pada Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe (PNL). Proses pembakaran ASP memerlukan waktu sedikit lama karena terbatasnya kapasitas tungku pembakaran. Sekam padi yang telah diambil dari tempat penggilingan padi dibakar dengan menggunakan alat pembakaran *furnace*, yaitu pembakaran dengan sistem pembakaran tertutup pada suhu 500 – 750°C dengan lama waktu pembakaran 1 (satu) jam.

Proses penghalusan abu sekam padi

Abu sekam padi yang telah dibakar kemudian dihaluskan dengan menggunakan *Los Angeles Abrasion Machine* di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe, kemudian diayak dengan menggunakan ayakan No.100.

Larutan Alkali

Larutan alkali yaitu sodium hidroksida (NaOH), Sodium silikat (Na₂O) dan silikat (SiO₂) merupakan bahan-bahan yang mudah didapatkan. Untuk kemudahan mendapatkannya, peneliti merencanakan kerjasama dengan Laboratorium Kimia PNL dalam mendatangkan larutan ini dan sekaligus merakitnya dalam konsentrasi Molaritas (M).

Agregat

Agregat yang digunakan direncanakan adalah agregat alami lokal. Agregat kasar adalah tipe granite yang diperoleh dari industri pemecah batu yang berada disekitar lokasi penelitian. Diameter maksimum agregat dipilih sebesar 10 mm. Agregat halus didatangkan dari lokasi Krueng Tingkuem yang secara umum telah banyak digunakan untuk berbagai penelitian di Laboratorium Beton PNL dan dianggap layak untuk digunakan pada penelitian ini. Perhitungan gradasi dan kombinasi agregat dengan menggunakan acuan BS 882 : 92. Jumlah agregat yang digunakan pada pembuatan beton agropolymer dalam batasan 75 – 80 % dari berat beton keseluruhan, jumlah ini hampir sama dengan jumlah agregat pada pembuatan beton normal.

Superplasticizer

Superplasticizer yang digunakan berbahan dasar *naphthalene formaldehyde sulphonate* yang termasuk dalam jenis *admixture high range water reducing* (HRWR) dengan merek dagang sikamen NN produk dari Sika. Superplasticizer digunakan sebanyak 3% dari berat ASP.

Variasi Variabel Benda Uji yang Diteliti

Diameter maksimum agregat ditetapkan sebesar 10 mm. Spesimen benda uji adalah kubus dengan ukuran sisi 100 mm dan setiap variasi variabel berdasarkan umur perawatan dibuat 5 buah spesimen benda uji. Variasi benda uji berdasarkan rasio air dengan agropolymer padat yang diambil sebesar 0,7 dan 0,6.

1. Rasio sodium silikat terhadap sodium hidroksida sebesar 2,5.
2. Rasio SiO₂ terhadap Na₂O sebesar 1,0.
3. Rasio air dan agropolimers padat 0,7 dan 0,6.
4. Rasio larutan aktifator terhadap abu sekam padi sebesar 0,35.
5. Waktu perawatan 3, 7, 14 dan 21 hari.
6. Molaritas sodium hidroksida (NaOH) sebesar 14 M.
7. Agregat kasar diambil pada kisaran 77%.
8. *Superplasticizer* diambil 3% dari abu sekam padi.
9. Air ekstra jika diperlukan.

Adapun perhitungan campuran material dengan proses campuran beton agropolimer yaitu :

Step-1. Asumsikan bahwa agregat dalam keadaan SSD dan berat volume beton sebesar 2400 kg/m³.

- Step-2. Tetapkan jumlah agregat dalam campuran beton sebesar 77% dari massa beton, sehingga berat agregat adalah $0,77 \times 2400 = 1848 \text{ kg/m}^3$.
- Step-3. Kombinasi agregat berdasarkan standar kurva gradasi seperti pada proses pembuatan beton PC normal, pada penelitian ini menggunakan BS (*British Standard*).
- Step-4. Tetapkan nilai modulus kehalusan agregat campuran, pada penelitian ini ditetapkan sebesar 5,0.
- Step-5. Hitung massa ASP dan larutan basa adalah $= 2400 - 1848 = 552 \text{ kg/m}^3$, rasio larutan aktifator dan ASP sebesar 0,35, maka massa ASP $= 552 / (1+0,35) = 408 \text{ kg/m}^3$ dan massa larutan alkali sebesar $= 552 - 408 = 144 \text{ kg/m}^3$.
- Step-6. Tetapkan rasio larutan sodium silika dan sodium hidroksida terhadap massa sebesar 2,5. Maka massa larutan sodium hidroksida sebesar $= 144 / (1+2,5) = 41 \text{ kg/m}^3$, sedangkan massa larutan sodium silikat sebesar $= 144 - 41 = 103 \text{ kg/m}^3$.
- Step-7. Maka diperoleh hasil trial proporsi campuran sebagai berikut :
- Agregat $= 1848 \text{ kg/m}^3$
 - ASP $= 408 \text{ kg/m}^3$
 - Larutan sodium hidroksida $= 103 \text{ kg/m}^3$
 - Larutan sodium silikat $= 41 \text{ kg/m}^3$
- Step-8. Rasio rasio $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$ terhadap massa sebesar 1, maka $\text{Na}_2\text{O} = 28,94\%$, $\text{SiO}_2 = 28,94\%$ dan air $= 42,1\%$. Sodium hidroksida yang tersedia dipasaran dengan kemurnian 97 – 98%, dan dicampur dengan air untuk membuat larutan dengan konsentrasi 14 M, maka diperoleh 26,2% NaOH padat dan 73% air.
- Step-9. Rasio air dan agropolimer padat dihitung sebagai berikut :
- Dalam larutan sodium hidroksida, air $= 42,1\% \times 103 = 43,36 \text{ kg}$ dan bahan padat $= 103 - 43,36 = 59,63 \text{ kg}$.
- Dalam sodium silikat, air $= 42,1\% \times 41 = 17,26 \text{ kg}$ dan bahan padat $= 41 - 17,26 = 23,74 \text{ kg}$.
- Maka jumlah total air $= 43,36 + 17,26 = 60,62 \text{ kg}$ dan massa agropolimer padat $= 59,63 + 23,74 + 408 \text{ (massa ASP)} = 491,37 \text{ kg}$.
- Step-10. Rasio air dan agropolimer padat $= \frac{23,74 + x}{491,37} = 0,7 \rightarrow x = 320,219$

Keterangan : x adalah jumlah air tambah (jika diperlukan).

Tabel 3. Rekapitulasi Campuran per 1m³ Beton Agropolimer

NaOH	Larutan NaOH		Larutan Na ₂ O.SiO ₂		ASP	Air tambah	Total		Air/Solid
	Solid	Air	Solid	Air			Solid	Air	
14 M	59,63	43,36	23,74	17,26	408	271,08	491,37	60,62	0,6
14 M	59,63	43,36	23,74	17,26	408	320,219	491,37	60,62	0,7

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat jenis abu sekam padi

Setelah dilakukan pemeriksaan terhadap berat jenis abu sekam padi didapat 1,62 gram. Pengujian ini didasari pada pengujian berat jenis semen.

Rancangan Campuran Beton

Komposisi rancangan campuran beton untuk agregat campuran didapat berdasarkan hasil perkalian koefisien perbandingan volume agregat kasar dan halus yang dipakai dalam proporsi beton agropolimer dengan rasio air dan agropolimer padat 0,6 dan 0,7, maka diperoleh komposisi campuran untuk 1 m³ beton seperti diperlihatkan dalam Tabel 4. dan 5. berikut :

Untuk mencapai rasio air dan agropolimer padat 0,6 dan 0,7 sesuai dengan perencanaan, maka penambahan air untuk 1m³ beton adalah 271,08 kg dan 320,22 kg.

5.1 Analisis Hasil Uji Beton

Pengujian terhadap beton hanya pengujian kuat tekan. Hasil-hasil pengujian dapat memberi gambaran yang menyeluruh mengenai potensi penggunaan abu sekam padi untuk pembuatan beton agropolimer serta mutu beton.

5.1.1 Kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat beton mencapai umur 3, 7 dan 14 hari. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan beton, masing-masing benda uji ditimbang untuk mengetahui berat dari beton, hal ini dilakukan adalah untuk menyeleksi kembali hasil

pemadatan pada tiap-tiap benda uji saat pengecoran. Data hasil nilai kuat tekan untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 hasil nilai kuat tekan beton.

Kuat tekan beton pada umur 3 hari sama dengan nol, hal ini dikarenakan belum mengerasnya benda uji beton. Sedangkan kuat tekan beton pada usia 7, 14 dan 21 hari telah memberikan hasil. Seiring dengan bertambahnya umur perawatan beton, maka kekuatan tekan beton juga semakin meningkat.

Berdasarkan nilai kekuatan yang diperoleh berdasarkan hasil uji kuat tekan, maka beton agropolymer yang dicoba teliti pada penelitian ini belum layak untuk dijadikan beton struktural. Ketidaklayakan ini dikarenakan nilai kuat tekan lebih kecil dari 20 Mpa seperti yang disyaratkan untuk konstruksi bangunan gedung tahan gempa. Rendahnya kuat tekan beton yang dihasilkan diduga dikarenakan oleh kurang maksimalnya reaksi antara komponen bahan polymer dan ASP. Kandungan bahan silika oksida yang tidak murni yang dijual dipasaran merupakan dugaan kuat sebagai sumbangan terbesar penurunan kuat tekan. Rasio ideal antara air dan agropolimer padat diduga juga belum tercapai, dengan rasio yang besar memungkinkan proses reaksi menjadi lebih lambat dan kurang maksimal.

Untuk mendapatkan beton agropolymer yang dapat diaplikasikan pada konstruksi bangunan gedung, maka perlu dilakukan penelitian selanjutnya. Perlu dikaji ulang tentang rasio perbandingan bahan-bahan aktifator, ASP dan air untuk mendapatkan rasio yang ideal sehingga didapat kuat tekan beton agropolimer yang tinggi.

Tabel 4. Komposisi Material untuk 1m³ Beton Agropolimer dengan Rasio Air dan Agropolimer Padat 0,7

Variasi Umur Perawatan (hari)	Pasir kg/m ³	Batu Pecah kg/m ³	Air kg/m ³	Larutan NaOH kg/m ³	Larutan SiO ₂ kg/m ³	ASP kg/m ³	Jumlah Benda Uji
3	616	1232	320,22	103	41	408	5 bh
7	616	1232	320,22	103	41	408	5 bh
14	616	1232	320,22	103	41	408	5 bh

Tabel 5. Komposisi Material untuk 1m³ Beton Agropolimer dengan Rasio Air dan Agropolimer Padat 0,6

Variasi Umur Perawatan (hari)	Pasir kg/m ³	Batu Pecah kg/m ³	Air kg/m ³	Larutan NaOH kg/m ³	Larutan SiO ₂ kg/m ³	ASP kg/m ³	Jumlah Benda Uji
3	616	1232	271,08	103	41	408	5 bh
7	616	1232	271,08	103	41	408	5 bh
14	616	1232	271,08	103	41	408	5 bh

Tabel 6. Hasil Nilai Kuat Tekan Beton untuk Rasio Air dan Agropolimer Padat 0,7

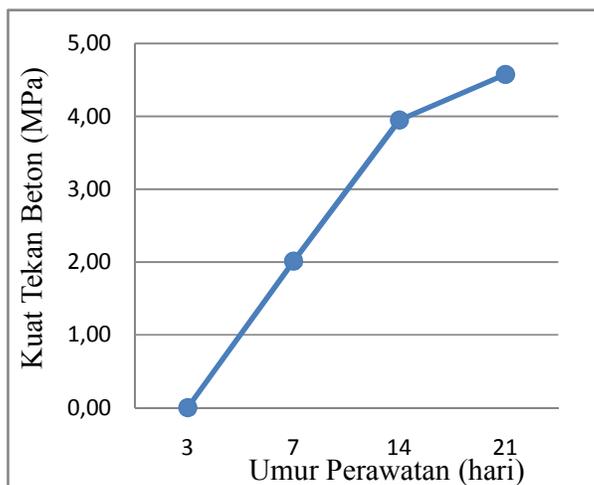
No. BU	Umur perawatan (hari)	Berat benda uji (gram)	Beban P max		Luas bidang tekan (cm ²)	Nilai kuat tekan MPa	Rata-rata MPa
			(kN)	(N)			
1	3	2300	0	0	100	0.00	0.00
2		2250	0	0	100	0.00	

3		2400	0	0	100	0.00	
4		2300	0	0	100	0.00	
5		2300	0	0	100	0.00	
6	7	2300	20	20000	100	1.73	2.01
7		2500	23	23000	100	1.99	
8		2300	20	20000	100	2.08	
9		2400	21	21000	100	2.18	
10		2300	20	20000	100	2.08	
11	14	2400	35	35000	100	3.64	3.95
12		2300	40	40000	100	4.16	
13		2400	35	35000	100	3.64	
14		2450	35	35000	100	3.64	
15		2300	45	45000	100	4.68	
16	21	2300	40	40000	100	4.16	4.58
17		2200	40	40000	100	4.16	
18		2200	45	45000	100	4.68	
19		2400	50	50000	100	5.20	
20		2300	45	45000	100	4.68	

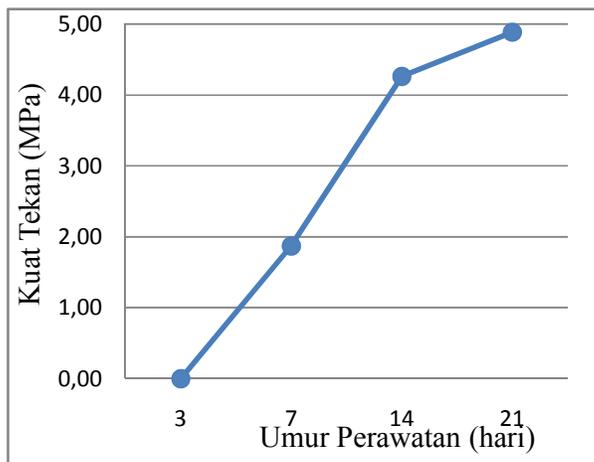
Tabel 7. Hasil Nilai Kuat Tekan Beton untuk Rasio Air dan Agropolimer Padat 0,6

No. BU	Umur perawatan (hari)	Berat benda uji (gram)	Beban P max		Luas bidang tekan (cm ²)	Nilai kuat tekan (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
			(kN)	(N)			
1	3	2300	0	0	100	0.00	0.00
2		2250	0	0	100	0.00	

3		2200	0	0	100	0.00	
4		2000	0	0	100	0.00	
5		2300	0	0	100	0.00	
6	7	2000	20	20000	100	2.08	1.87
7		2100	15	15000	100	1.56	
8		2000	15	15000	100	1.56	
9		2000	20	20000	100	2.08	
10		2200	20	20000	100	2.08	
11	14	2400	40	40000	100	4.16	4.26
12		2400	50	50000	100	5.20	
13		2500	40	40000	100	4.16	
14		2300	35	35000	100	3.64	
15		2500	40	40000	100	4.16	
16	21	2100	45	45000	100	4.68	4.89
17		2400	45	45000	100	4.68	
18		2400	50	50000	100	5.20	
19		2300	50	50000	100	5.20	
20		2200	45	45000	100	4.68	



Gambar 1. Grafik kuat tekan beton untuk Rasio 0,7



Gambar 2. Grafik kuat tekan beton untuk Rasio 0,6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan campuran beton agropolimer dengan rasio air dan agropolimer padat diambil 0,6 dan 0,7, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat yang dipergunakan dalam penelitian ini memenuhi ketentuan yang diisyaratkan pada ASTM.
2. Komposisi rancangan campuran beton untuk agregat campuran didapat berdasarkan hasil perkalian koefisien perbandingan volume agregat kasar dan halus yang dipakai dalam proporsi beton.
3. Perbandingan kuat tekan beton dengan rasio air dan agropolimer padat 0,6 pada umur beton 3 hari nilai rata-ratanya adalah 0 Mpa, 7 hari yaitu 1,87 Mpa, 14 hari yaitu 4,26 dan pada 21 hari 4,86 Mpa.
4. Perbandingan kuat tekan beton dengan rasio air dan agropolimer padat 0,7 pada umur beton 3 hari nilai rata-ratanya adalah 0 Mpa, 7 hari yaitu 2,01 Mpa, 14 hari yaitu 3,95 dan pada 21 hari 4,58 Mpa.
5. Kuat tekan beton yang diperoleh belum memenuhi standar kuat tekan minimal agar beton agropolimer dapat digunakan pada konstruksi bangunan gedung, kuat tekan minimal yang disyaratkan adalah 20 Mpa.
6. Rendahnya mutu beton diduga akibat kemurnian dari bahan silika oksida yang dijual dipasaran tidak murni, dan juga disebabkan oleh rasio antara air dan agropolimer padat belum didapat yang ideal.

6.2 Saran

Dari hasil-hasil yang diperoleh dalam pengkajian laboratorium, ada beberapa saran yang akan berguna pada masa mendatang antara lain :

1. Dilakukan pengujian penetrasi pada pasta beton untuk mengetahui *setting time* beton.
2. Dilakukan modifikasi rasio antara aktifator, air dan ASP sehingga diperoleh rasio yang optimum untuk mendapatkan kuat beton yang tinggi.
3. Diperhatikan tingkat kemurnian aktifator yang digunakan, diusahakan tidak terdapat unsur atau senyawa lain terkandung didalamnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aitcin, P. C. and P. K. Mehta (1990). "Effect of Coarse-Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High-Strength Concrete." *ACI Materials Journal* 87(2): 103-107.
2. Aitcin, P.C, 1997, "Sherbrooke Mix Design Method. One Day Course on Concrete Technology/HPC : Properties and Durability", University of Malaya, May pp.1-33.
3. Barbosa, et. all., 2000, "Synthesis and Characterisation of Materials Based on Inorganic Polymers of Alumina and Silica: Sodium Polysialate Polymers." *International Journal of Inorganic Materials* 2(4): 309-317.

4. Damtoft, et. all, 1999, "Concrete Binder, Mineral Addition and Chemical Admixture : State of the Art and Challenges for the 21st century. Proc. Extending Performance of Concrete Structure, Eds : R.K. Dhir and P.A.J. Tittle, Dundee, UK. Pp. 1-16
5. Davidovits, J, 1994, "High-Alkali Cements for 21 Century Concretes. in Concrete Technology, Past, Present and Future", Proceedings of V. Mohan Malhotra Symposium, Editor: P. Kumar Metha, ACI SP- 144, 383-397.
6. Davidovits, J. (1999, 30 June - 2 July 1999), "Chemistry of Geopolymeric Systems, Terminology. Paper presented at the Geopolymere '99 International Conference, Saint-Quentin, France.
7. Hardjito dan Rangan, 2005, "Development and Properties of Low Calcium – Fly Ash Base Geopolymer Concrete", Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth-Australia
8. Hardjito et all. , Nov-Des 2004, "On the Development of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete, ACI Materials Journal
9. Majuar, et. all, 2004, "Mechanical Properties of High Strength Concrete Containing Rice Husk Ask", Jurnal Bissotek, Vol.3 pp.45-50, Politeknik Negeri Lhokseumawe
10. Malhotra, V. M., July 2002, "Introduction: Sustainable Development and Concrete Technology," Concrete International, V. 24, No. 7, , p. 22.
11. McCaffrey, R., 2002, "Climate Change and the Cement Industry." Global Cement and Lime Magazine (Environmental Special Issue): 15-19.
12. Mehta, P. K., July 2002, "Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development," Concrete International, V. 24, No. 7, pp. 23-28.
13. Palomo, A., M. W. Grutzeck, M.T. Blanco, 1999, "Alkali-Activated Fly Ashes, A Cement for the Future." Cement and Concrete Research 29(8): 1323-1329.
14. Paya, et. all, 2001, "Determination of Amorphous Silica in Rice Husk ask by Rapid Analytical Method, Cemen and concrete research, Vol.31. pp 227-231
15. Rangan, 2008, "Fly Ash Based Geopolymer Concrete", Faculty of Engineering, Curtin University of Technology, Perth-Australia
16. Roy, D. M., 1999, "Alkali-activated cements Opportunities and Challenges". Cement & Concrete Research, 29(2), 249-254.
17. Sugita, S., et. all, 1992, "Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash, 4th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolan in Concrete", Istanbul, pp. 495-512.
18. Swanepoel, J. C. and C. A. Strydom , 2002, "Utilisation of Fly Ash in a Geopolymeric material." Applied Geochemistry 17(8): 1143-1148.
19. Teixeira-Pinto, A., P. Fernandes, S. Jalali, 2000, "Geopolymer Manufacture and Application - Main Problems When Using Concrete Technology". Geopolymers 2002 International Conference, Melbourne, Australia, Siloxo Pty. Ltd.
20. Xu, H. and J. S. J. van Deventer , 2002, "Geopolymerisation of Multiple Minerals." Minerals Engineering 15(12): 1131-1139.
21. Xu, H., & Deventer, J. S. J. V, 2000, "The geopolymerisation of alumino-silicate minerals". International Journal of Mineral Processing, 59(3), 247-266.
22. Yu, et. all, 1999, "The Reaction Between Rice Husk Ash and Ca(OH)₂ Solution and the Nature of Its product, Cement and Concrete Research, Vol.29. pp. 37-43.
23. Memeon, et. all, 2002, "Effect of Mineral and Chemical and Mixtures on High Strength Concrete in Seawater. Cemen and Concrete Research, Vol.32, pp. 373-37