

PENGARUH NaCl DAN MgSO₄ TERHADAP KUAT TEKAN DAN KUAT TARIK BELAH BATU PADAS BUATAN

Ngk. Md. Anom Wiryasa¹, I.B. Dharma Giri¹ dan I Dewa Gede Muliarta²

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh NaCl dan MgSO₄ terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah batu padas buatan yang memiliki karakteristik menyerupai batu padas alam khususnya batu padas alam Kelating dan Kerobokan. Dasar pertimbangan penelitian ini adalah upaya mempertahankan arsitektur tradisional Bali dan pemanfaatan pozzolan alam sebagai bahan utama dalam pembuatan batu padas buatan.

Penelitian ini menggunakan pozzolan alam, tanah liat, kapur dan semen sebagai bahan dasar. Pemilihan bahan dasar tersebut berkaitan dengan karakteristiknya yang hampir sama dengan batu padas alam Kelating dan Kerobokan. Benda uji dibuat sebanyak 360 buah yang terdiri dari batu padas alam dan batu padas buatan. Benda uji sebanyak 180 buah berbentuk kubus ukuran 8x8x8 cm untuk uji kuat tekan dan 180 buah berbentuk silinder ukuran 7,5x15 cm untuk uji kuat tarik belah. Benda uji dibuka dari cetaknya pada umur 1 hari kemudian dibiarkan mengering selama 2 hari. Pada umur 3 hari benda uji direndam dalam air biasa sampai umur 28 hari. Kemudian pada umur 29 hari benda uji direndam dalam larutan NaCl dan MgSO₄ sampai umur 60 hari dan 90 hari. Perendaman benda uji dilakukan secara terpisah antara asli, buatan, dan juga jenisnya untuk diteliti lebih lanjut kandungan kimia yang lepas dan terlarut dalam larutan perendam. Bahan kimia NaCl dan MgSO₄ dicampur dengan air biasa sampai mencapai konsentrasi yang telah ditetapkan yaitu 0%, 1%, 2%, dan 3%. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada umur benda uji 28 hari, umur 60 hari setelah perendaman selama 31 hari dan umur 90 hari setelah perendaman selama 61 hari dengan larutan NaCl dan MgSO₄.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan batu padas buatan baik batu padas sejenis Kelating maupun Kerobokan lebih rendah dari batu padas aslinya. Sedangkan kuat tarik belahnya lebih tinggi pada batu padas buatan dibandingkan dengan batu padas aslinya. Penurunan kuat tekan tersebut disebabkan karena tingkat reaktifitas butiran penyusun batu padas buatan yang rendah dan teknis perawatan benda uji pada umur 3 hari sudah direndam dalam air dimana pada saat itu kondisi benda uji masih basah. Perendaman dengan larutan NaCl dan MgSO₄ dengan konsentrasi 0%, 1%, 2%, dan 3% selama 61 hari menunjukkan pengaruh yang kecil terhadap kekuatan batu padas. Hal ini dapat disebabkan karena konsentrasi larutan yang rendah, serta NaCl dan MgSO₄ bereaksi lambat dengan pasta semen yang dapat berlangsung dalam beberapa bulan sampai beberapa tahun untuk mencapai keadaan yang membahayakan.

Kata kunci: NaCl, MgSO₄, kuat tekan dan tarik belah, batu padas buatan.

INFLUENCE OF NaCl AND MgSO₄ ON COMPRESSIVE AND SPLIT TENSION STRENGTH OF ARTIFICIAL LEDGE STONE

Abstract: This research aims to know the influence of NaCl and MgSO₄ to compressive and split tension strengths of artificial ledge stone with its characteristics similar to natural ledge stone of Kelating and Kerobokan. Basic consideration of this research is maintaining traditional architecture of

¹ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

² Alumnus dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

Bali and exploiting the use of pozzolan as a main material in production of ledge stone.

This research used natural pozzolan, clay, cement and limestone as primary materials. Those materials were chosen relates to its similar characteristics to natural ledge stone of Kelating and Kerobokan. The amount of 360 samples were made, consist of 180 cubes with dimension of 8x8x8 cm for compressive strength test, and 180 cylinders with dimension of 7,5x15 cm for split tension test. The samples were opened from their moulds at first day and then let them cured for 2 days. At third day the samples were soaked in water until the age of 28 days, and then continuously soaked in NaCl and MgSO₄ condensation until the age of 60 days and 90 days. The samples were soaked separately between natural, artificial as well as the type of samples, in order to obtain chemical contents in submerged condensation. NaCl and MgSO₄ dissolvent were mixed with water until concentration of 0%, 1%, 2%, and 3%. The tests of compressive and split tension strength were conducted on the age of 28 days; age of 60 days after submerged for 31 days and age of 90 days after submerge for 61 days with NaCl and MgSO₄ condensation.

Results of this research show that compressive strength of artificial ledge stone is smaller than that of natural ledge stone. Meanwhile the split tension strength of artificial ledge stone is higher than that of natural ledge stone. The decrement of compressive strength is caused by slow reactivity and technical treatment of samples at age of 3 days where their condition still wet. Submerging with NaCl and MgSO₄ condensation with concentration of 0%, 1%, 2%, and 3% for 61 days result in small effects to the strength of ledge stone. This condition can be caused by low concentration and slow reaction of NaCl and MgSO₄ with cement pasta, which occur for many months or years until reach danger situation.

Keywords: NaCl, MgSO₄, compressive and split tension strength, artificial ledge stone.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan konstruksi bangunan di Indonesia beberapa tahun terakhir menunjukkan kemajuan yang pesat karena pengaruh dari meningkatnya perekonomian masyarakat. Banyak pembangunan dilaksanakan seperti pembangunan gedung, jalan, jembatan, dan yang lainnya untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat. Untuk itu, kemajuan ilmu konstruksi juga semakin meningkat karena konstruksi memegang peran yang sangat penting dalam menunjang kehidupan manusia yang terus berkembang.

Untuk pembangunan gedung, baik itu untuk rumah pribadi, kantor, sekolah dan yang lainnya khususnya di daerah Bali, diharapkan tetap mempertahankan arsitektur tradisional Bali sebagai upaya mewujudkan program *ajeg* Bali. Oleh karena itu penelitian tentang ilmu rekayasa pembu-

atan batu padas buatan terus dilakukan. Banyak penelitian yang telah menghasilkan batu padas buatan dengan menggunakan pozzolan alam sebagai bahan baku yang kualitasnya berbeda-beda.

Penelitian Astawiguna (2004) dan Terry (2004) menunjukkan bahwa batu padas yang dibuat dengan pozzolan alam dari daerah Taro, Gianyar dan dari daerah Bungkulan, Buleleng dapat memberikan kuat tekan dan kuat tarik belah yang relatif sama dengan batu padas alam/aslinya dengan bentuk benda uji kubus ukuran 8 cm x 8 cm x 8 cm untuk uji kuat tekan dan silinder ukuran 7,5 cm x 15 cm untuk uji kuat tarik belah pada umur pengujian 28 hari. Kuat tekan dan kuat tarik belah Batu Padas Alam Kelating berturut-turut sebesar 8,36 MPa dan 0,79 MPa sedangkan batu padas buatannya sebesar 8,46 MPa dan 1,05 MPa (Astawiguna, 2004). Kuat tekan dan kuat tarik belah Batu Padas Alam Kerobokan

berturut-turut sebesar 4,37 MPa dan 0,575 MPa sedangkan batu padas buaatannya 5,00 MPa dan 0,424 MPa. (Terry, 2004). Hal ini menunjukkan bahwa pozzolan alam dapat digunakan sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan batu padas buatan, namun belum diketahui daya tahannya di dalam lingkungan agresif.

Batu padas, baik itu batu padas asli dan batu padas buatan, secara kimiawi dapat mengalami desintegrasi apabila berada pada lingkungan yang agresif. Hal ini dapat terjadi karena adanya interaksi antara batu padas dengan garam-garam agresif yang ada pada lingkungannya, seperti *natrium klorida* (NaCl) atau *magnesium sulfat* (MgSO₄). Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh NaCl Terhadap Keroposnya Batu Padas Alam Silakarang”, menunjukkan bahwa akibat perendaman dengan NaCl selama 60 hari menyebabkan terjadinya kekeroposan pada batu padas alam Silakarang karena berkurangnya kandungan CaO (*kalsium oksida*) dan SiO₂ (*Silikat*) pada batu padas tersebut. Semakin tinggi konsentrasi larutan NaCl yang digunakan dalam perendaman maka persentase kandungan CaO dan SiO₂ pada batu padas semakin rendah (Sudiarsa, 2004). Begitu pula dengan MgSO₄, pada penelitian yang menggunakan beton sebagai sampel, MgSO₄ bersifat merusak beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan terjadinya penurunan kuat tekan dan kuat tarik belah beton akibat perendaman dengan MgSO₄ selama 61 hari (Diastuti, 2004).

Terkait dengan hal tersebut di atas maka dalam tugas akhir ini diteliti tentang pengaruh NaCl dan MgSO₄ terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah batu padas buatan sejenis batu padas alam Kelating dan Kerobokan yang menggunakan pozzolan alam sebagai bahan baku.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah bagaimana pengaruh larutan NaCl dan MgSO₄ terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah batu padas buatan sejenis batu padas alam Kelating dan Kerobokan

yang menggunakan pozzolan alam sebagai bahan baku. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh NaCl dan MgSO₄ terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah batu padas buatan sejenis batu padas alam Kelating dan Kerobokan yang menggunakan pozzolan alam sebagai bahan baku.

Batasan Masalah

Untuk mengarahkan dan mendapatkan hasil-hasil yang diharapkan maka digunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Benda uji dibuat dalam bentuk kubus 8 cm x 8 cm x 8 cm untuk uji kuat tekan dan berbentuk silinder dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm untuk uji kuat tarik belah.
2. Bahan baku utama adalah pozzolan alam yang berasal dari daerah Taro, Kabupaten Gianyar dan dari daerah Bungkulan, Kabupaten Buleleng.
3. Pengujian terbatas pada uji kuat tekan dan kuat tarik belah benda uji, yang dilakukan pada lama perendaman 28 hari, 60 hari, dan 90 hari.
4. NaCl dan MgSO₄ diperoleh dari *supplier* di Denpasar, dengan variasi konsentrasi ditetapkan 0 %, 1%, 2 %, dan 3 %.
5. Sebagai pembandingan dilakukan juga pengujian terhadap batu padas alam Kelating dan Kerobokan dengan ukuran sama dengan benda uji dengan tidak memperhitungkan faktor umur.
6. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.

TINJAUAN PUSTAKA

Batu Padas

Batu padas, disebut juga dengan *tufa vulkanik*, merupakan jenis batuan hasil aktifitas vulkanik yang berbutir halus sampai lanau, berwarna abu kecoklatan dengan kenampakan struktur batuan sedimen yang telah mengalami pemadatan

(kompaksi), keras, namun pada bagian-bagian tertentu bersifat lunak. Batu padas ini termasuk jenis batuan lempung vulkanik atau lebih khusus lagi termasuk dalam jenis *pyroclastik rock* yang kandungan mineralnya didominasi oleh mineral glass (non-kristalin). Unsur yang mendominasi mineral glass ini adalah senyawa SiO_2 (Thornton, 1979).

Pada penelitian Astawiguna (2004) dan Terry (2004), unsur-unsur utama yang diteliti pada batu padas alam adalah SiO_2 , Al_2O_3 , CaO dan Fe_2O_3 . Pemeriksaan yang dilakukan di Laboratorium Analitik menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) mendapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Kimia Batu Padas Alam

Nama Sampel	Kandungan SiO_2 (%)	Kandungan Al_2O_3 (%)	Kandungan CaO (%)	Kandungan Fe_2O_3 (%)
Batu Padas Kelating	73,20	3,83	1,20	0,49
Batu Padas Kerobokan	73,64	4,85	1,40	0,50

Sumber : (Astawiguna, 2004 dan Terry, 2004)

Batu Padas Buatan

Batu padas buatan yang dimaksud dalam tugas akhir ini adalah batu padas yang dibuat dengan bahan baku utama pozolan alam yang memenuhi sifat-sifat batu padas alam ataupun yang memiliki sifat-sifat lebih baik dari batu padas alam khususnya batu padas alam Kelating dan Kerobokan. Adapun campuran penyusun batu padas buatan dalam tugas akhir ini adalah pozolan alam, kapur, tanah liat, dan semen Portland tipe I.

Semen

Semen adalah bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang bila dicampur dengan air akan berfungsi sebagai bahan pengikat yang akan mengeras bila bereaksi dengan air dan menghasilkan produk yang tahan air. Salah satu semen hidrolis yang sering digunakan pada konstruksi beton adalah Semen Portland (PC). Semen Portland dibuat dari semen hidrolis yang dihasilkan dengan menghaluskan *klinker* yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis ditambah dengan bahan yang mengatur waktu ikat (umumnya *gips* dan batu kapur) (Sagel, 1993). Bahan utama dari

semen portland adalah batu kapur yang mengandung komponen CaO (kapur/*lime*), lempung yang mengandung komponen SiO_2 (*Silikat*), Al_2O_3 (*oksida alumina*), Fe_2O_3 (*oksida besi*) dengan bahan tambahan biasanya digunakan *gips* (Subakti, 1994).

Tabel 2. Komposisi Semen Portland

Oksida	Kandungan
CaO	60 – 66%
SiO_2	19 – 25%
Al_2O_3	3 – 8%
Fe_2O_3	1 – 5%

Sumber : (Subakti, 1994)

Pozzolan

Pozzolan merupakan bahan tambahan mineral (*mineral admixture*) yang mengandung silika atau alumina silika yang tidak mempunyai sifat sebagai perekat (sementasi) pada dirinya sendiri, tapi dengan butirannya yang halus bisa bereaksi dengan kapur dan air membentuk bahan perekat (senyawa-senyawa yang mempunyai sifat hidrolis) pada temperatur normal. Selain itu pozzolan bisa bereaksi dengan kalsium hidrat pada

suhu normal membentuk senyawa kalsium silikat hidrat dan kalsium hidrat yang mempunyai angka kelarutan cukup rendah (ASTM-C 618, 1985). Material pozzolan ini akan bereaksi dengan kapur dalam proses hidrasi semen dan membentuk perekat baru yang dapat mengisi pori-pori, sehingga memperkecil nilai porositas, permeabilitas, koefisien difusitas (Lange dan Geisler, 1996 dalam Astawiguna, 2004 dan Terry, 2004).

Standar mutu pozzolan telah diatur dalam ASTM-C 618-86 yang dibedakan menjadi tiga kelas yaitu :

1. Kelas N

Pozzolan alam atau hasil pembakaran pozzolan alam, yang dapat digolongkan ke dalam jenis seperti : tanah *diatomic*, *opaline cherts*, *shales*, *tuff*, dan abu terbang vulkanik atau *punicite*. Semuanya bisa diproses melalui pembakaran atau tanpa pembakaran.

2. Kelas C

Fly ash mengandung CaO di atas 10% yang dihasilkan dari pembakaran *lignite* atau sub bitumen batu bara.

3. Kelas F

Fly ash mengandung CaO kurang dari 10%, yang dihasilkan dari pembakaran *anthracite* atau bitumen batu bara.

Kehalusan pozzolan minimal 34% tertahan pada ayakan No. 325, kandungan SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ minimum 70% untuk kelas F dan N, serta minimum 50% untuk kelas C. Menurut ASTM-C 593-82 dilihat dari proses pembentukannya, bahan pozzolan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu : pozzolan alam dan pozzolan buatan. Pozzolan alam dalam bahan alam yang merupakan timbunan-timbunan atau bahan sedimentasi dari abu atau lava gunung berapi yang mengandung silika aktif dan bila dicampur dengan kapur padam akan terjadi proses sedimentasi.

Keberadaan pozzolan di alam Indonesia cukup banyak, khususnya pulau Bali, bahan galian C yang termasuk bahan pozzolan terdapat di daerah Taro, Kabu-

paten Gianyar (Anonim, 1995) dan di daerah Bungkulan Kabupaten Buleleng (Anonim, 1993). Sedangkan pozzolan buatan berasal dari tungku maupun hasil pemanfaatan limbah yang diolah menjadi abu yang mengandung silika reaktif melalui proses pembakaran, seperti abu terbang (*fly ash*), abu sekam (*rice husk ash*) dan mikrosilika (*silika fume*).

Al-Amoudi et al (1995), telah membuktikan penurunan porositas dan permeabilitas bahan pozzolan disebabkan oleh penghalusan pori-pori yang terjadi karena konversi Ca(OH)₂ oleh silika pozzolan ke dalam suatu phase C-S-H sekunder, walaupun phase C-S-H ini lebih baik, tidak rapat daripada C-S-H primer yang terbentuk oleh semen, namun secara efektif dapat memenuhi rongga beton. Performa daya tahan yang lebih baik pada beton yang mengandung pozzolan disebabkan oleh struktur pori yang terputus-putus dan ternyata dalam *spacing* ini mengurangi permeabilitas. Reaksi kimia yang lambat melibatkan transformasi perubahan kalsium hidroksida menjadi kalsium silikat hidrat yang lebih banyak mengurangi ketebalan zone transisi.

Tanah Liat

Tanah liat berasal dari kerak bumi yang terjadi karena pelapukan dan erosi angin, air, dan gletser sehingga berbentuk halus. Pada tanah liat terdapat akar-akaran dan sisa tumbuh-tumbuhan serta bahan organis lainnya yang membusuk sehingga menyebabkan tanah liat berwarna.

Namara dan Hartono (1983), mendefinisikan bahwa tanah liat adalah tanah sebagai hasil penguraian batu-batuan, terutama *feldspar* dan mengandung senyawa alumina silikat hidrat (mineral lempung). Bahan ini akan plastis bila basah dan akan sangat keras seperti batu bila dipanaskan pada temperatur tinggi. Sifat-sifat fisik yang terpenting dari lempung (tanah liat) adalah meliputi warna, struktur, sifat liat (plastis), susut kering, kekuatan kering dan daya bersuspensi (Anonim, 1984).

Batu Kapur

Batu kapur dalam penamaan geologi disebut sebagai batu gamping atau *limestone* yaitu batuan hasil sidementasi yang komposisi utamanya ialah kalsium karbonat (CaCO_3) (Murdock, 1999). Batu kapur terjadi akibat aktifitas karang di laut yang menghasilkan karang/cangkang. Selanjutnya oleh proses-proses geologi, ribuan sampai jutaan tahun karang tersebut terangkat ke permukaan laut membentuk daratan.

Batu kapur berdasarkan umur (ditunjukkan oleh fosil) dan lokasi, dapat dibedakan atas :

- a. Batu kapur pantai, berumur muda (*kwarter*) yang umumnya terletak pada pesisir pantai. Untuk menghindari abrasi pantai dan melindungi ekosistem kawasan pesisir, pengambilan batu kapur/karang pantai dan terumbu karang dilarang.
- b. Batu kapur tersier, berumur di atas dua juta tahun (*post kwarter*) umumnya berupa perbukitan yang cukup tinggi di atas muka laut.

Batu kapur dipergunakan sebagai kapur tohor, bahan bangunan, campuran bahan baku semen, mengurangi keasaman tanah pertanian ataupun sebagai kapur urug (Anonim, 1997).

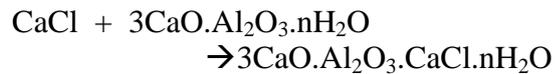
Natrium Klorida

Dalam proses hidrasi semen selain menghasilkan senyawa CSH, CAH, dan CAF yang bersifat sebagai perekat juga menghasilkan kalsium hidroksida yang kelarutannya tinggi dan bersifat basa. Kalsium hidroksida akan bereaksi dengan natrium klorida menghasilkan kalsium klorida dan natrium hidroksida.



Selanjutnya kalsium klorida bereaksi dengan kalsium aluminat hidrat menghasilkan kalsium kloro aluminat yang bersifat mengembang. Karena terjadinya pengembangan volume yang melebihi volume asalnya maka menimbulkan retak-retak, penggelembungan dan selanjutnya

kerusakan sampai ke dalam batu padas (keropos).

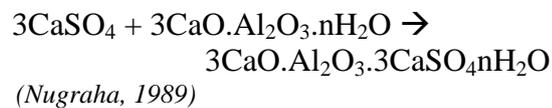


Magnesium Sulfat (MgSO_4)

Magnesium sulfat merupakan salah satu garam yang terlarut di dalam air laut. Serangan sulfat ditandai dengan kerusakan elemen batu padas pada ujung dan bagian yang tajam yang mengalami retak-retak dan terlepas. Dasar dari serangan sulfat ini adalah pembentukan kalsium sulfat dan ettringite (*kalsium sulfo aluminat*). Reaksinya sebagai berikut :



Magnesium sulfat akan bereaksi dengan kalsium hidroksida menghasilkan kalsium sulfat (CaSO_4) dan magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Selanjutnya kalsium sulfat bereaksi dengan kalsium aluminat hidrat menghasilkan kalsium sulfo aluminat (*Ettringite*) yang bersifat mengembang sehingga menyebabkan kekeroposan pada batu padas.



METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana. Pelaksanaan penelitian dilakukan dari bulan April sampai dengan bulan Juli 2005.

Alat dan Bahan Yang Digunakan

Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah benda uji dilakukan dengan menggunakan mesin desak merk Controls buatan Milano-Itali dengan kapasitas 150 kN. Sedangkan alat-alat lain yang digunakan adalah timbangan, cetakan (begesting kayu dan pipa ϕ 7,5 cm), wadah perendam (ember) dan alat-alat pencampur.

Batu Padas

Untuk pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil langsung dari tempat penggalian batu padas. Batu padas yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah lingkungan Banjar Sangging, Desa Kelating, Kecamatan Kerambitan, Kabupaten Tabanan dan dari daerah Banjar Tandek, Desa Kerobokan, Kecamatan Kuta Utara, Kabupaten Badung.

Semen

Semen yang digunakan sebagai campuran dalam membuat padas buatan adalah Semen Portland tipe I.

Tanah Liat

Untuk tanah liat, digunakan tanah liat berwarna coklat muda dan coklat tua yang diambil dari daerah Tabanan.

Pozzolan

Pozzolan alam diambil dari daerah Taro, Kabupaten Gianyar dan dari daerah Bungkulan, Kabupaten Buleleng.

Batu Kapur

Batu Kapur (CaCO₃) didapat dari *supplier* di Denpasar dengan ukuran kehalusan 80 mesh

NaCl dan MgSO₄

Garam-garam yang dipergunakan sebagai zat reaktif pada perendaman batu padas adalah jenis teknis, diperoleh dari *supplier* di Denpasar. Bahan kimia ini dicampur dengan air biasa sehingga mencapai konsentrasi sesuai dengan yang telah ditetapkan yaitu 0%, 1%, 2%, dan 3% yang digunakan sebagai larutan perendam benda uji.

Kerangka Penelitian

Benda uji (batu padas buatan) setelah berumur 1 hari dibuka dari cetakannya dan dibiarkan mengering selama 2 hari. Pada umur 3 hari benda uji direndam dalam air biasa sampai umur benda uji 28 hari kemudian pada umur 29 hari baru

direndam dalam larutan NaCl dan MgSO₄ dengan perbandingan konsentrasi 0% : 1% : 2% : 3%. Perendaman benda uji dilakukan secara terpisah antara asli dengan buataannya, begitu pula dengan lokasinya untuk diteliti lebih lanjut kandungan kimia yang lepas dan terlarut dari benda uji dalam larutan perendam.

Umur benda uji dihitung mulai saat benda uji diproses dan terbentuk pada cetakan untuk batu padas buatan, dan untuk batu padas alam/asli umur benda uji dihitung mulai saat batu padas alam dibentuk menjadi benda uji kubus 8x8x8 cm dan silinder 7,5x15 cm. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah dilakukan pada umur perendaman benda uji 28 hari sebagai pembanding penelitian Astawiguna (2004) dan Terry (2004), pada umur benda uji 60 hari setelah perendaman dalam larutan NaCl dan MgSO₄ selama 31 hari, dan pada umur benda uji 90 hari setelah perendaman dalam larutan NaCl dan MgSO₄ selama 61 hari. Benda uji bentuk kubus ukuran 8 x 8 x 8 cm sebanyak 180 buah untuk uji kuat tekan dan bentuk silinder dengan ukuran 7,5 x 15 cm sebanyak 180 buah untuk uji kuat tarik belah. Total jumlah benda uji adalah sebanyak 360 buah.

Kuat tekan dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana :

- σ = Kuat tekan (N/mm²)
- P = Gaya/beban yang terjadi (N)
- A = Luas bidang tekan benda uji (mm²)

Kuat tarik belah dihitung dengan rumus :

$$\sigma_{tr} = \frac{2P}{\pi DL}$$

Dimana:

- σ_{tr} = kuat tarik belah beton (N/mm²)
- P = Beban maksimum (N)
- D = Diameter silinder (mm)
- L = Panjang silinder (mm)

Tabel 3. Perlakuan Benda Uji

Uji	Konsentrasi (%)	Batu Padas Kelating						Batu Padas Kerobokan						
		Alam/Asli			Buatan			Alam/Asli			Buatan			
		Umur Benda Uji*												
		28 hari	60 hari	90 hari	28 hari	60 hari	90 hari	28 hari	60 hari	90 hari	28 hari	60 hari	90 hari	
K U A T T E K A N	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	NaCl	1	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
		2	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
		3	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
	MgSO ₄	1	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
		2	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
		3	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
	T A R I K B E L A H	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		NaCl	1	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3
2			-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
3			-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
MgSO ₄		1	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
		2	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3
		3	-	3	3	-	3	3	-	3	3	-	3	3

Langkah-langkah penelitian ditampilkan dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 1.

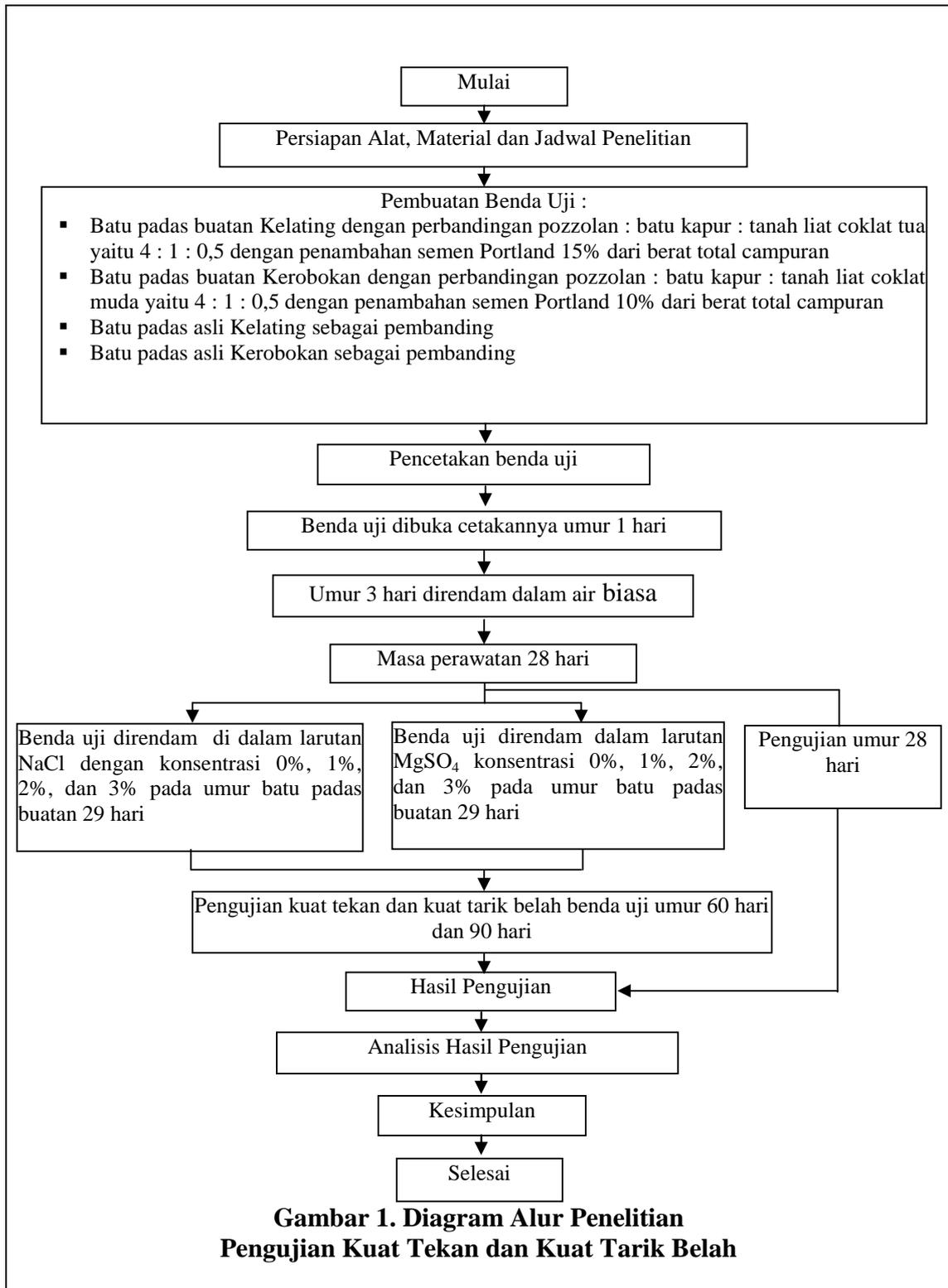
HASIL DAN PEMBAHASAN

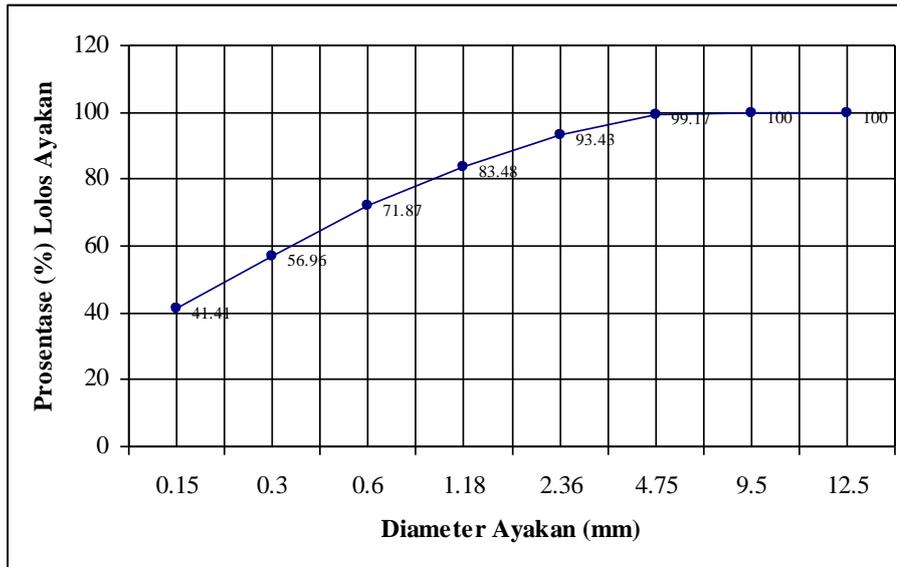
Hasil Pemeriksaan Material

Data hasil pemeriksaan material berdasarkan data penelitian Astawiguna (2004) dan Terry (2004), karena bahan dasar yang digunakan sama. Hasil pemeriksaan gradasi pozolan ditampilkan dalam bentuk kurva gradasi yang menun-

jukkan hubungan antara ukuran ayakan dan prosentase butiran yang lolos dari ayakan yang dimaksud seperti terlihat pada Gambar 2.

Pemeriksaan kandungan kimia bahan-bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan oleh Astawiguna (2004) dan Terry (2004) di Laboratorium Analitik Fakultas MIPA Universitas Udayana menggunakan AAS (*Atomic Absorbtion Spectrometry*), mendapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 4.





Gambar 2. Kurva Gradasi Pozzolan Taro

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Kandungan Kimia Bahan Dasar

No.	Nama Sampel	Kandungan CaO (%)	Kandungan Al ₂ O ₃ (%)	Kandungan Fe ₂ O ₃ (%)	Kandungan SiO ₂ (%)
1.	Batu Padas Kelating	1,20	3,83	0,49	73,20
2.	Batu Padas Kerobokan	1,40	4,85	0,50	73,64
3.	Semen PC	57,14	3,17	0,45	35,14
4.	Pozzolan Taro	0,38	0,75	0,43	86,61
5.	Pozzolan Bungkulan	0,71	2,92	0,48	80,75
6.	Batu Kapur	76,52	0,26	0,03	14,32
7.	Tanah Liat Coklat Tua	0,39	7,09	0,52	54,07
8.	Tanah Liat Coklat Muda	0,66	6,74	0,52	53,40
9.	Semen PPC	59,29	3,09	0,45	31,27

Sumber : (Astawiguna, 2004 dan Terry, 2004)

Hasil Pengujian Benda Uji/Batu Padas

Tabel 5. Kuat Tekan Batu Padas Umur 28 Hari

Batu Padas	Kuat Tekan Batu Padas (MPa)			Rata-rata (MPa)
	1	2	3	
Asli Kelating	8,750	8,906	7,891	8,516
Buatan Kelating	7,500	7,031	6,328	6,953
Asli Kerobokan	4,688	5,469	3,906	4,688
Buatan Kerobokan	3,203	3,438	4,375	3,672

Tabel 6. Kuat Tarik Belah Batu Padas Umur 28 Hari

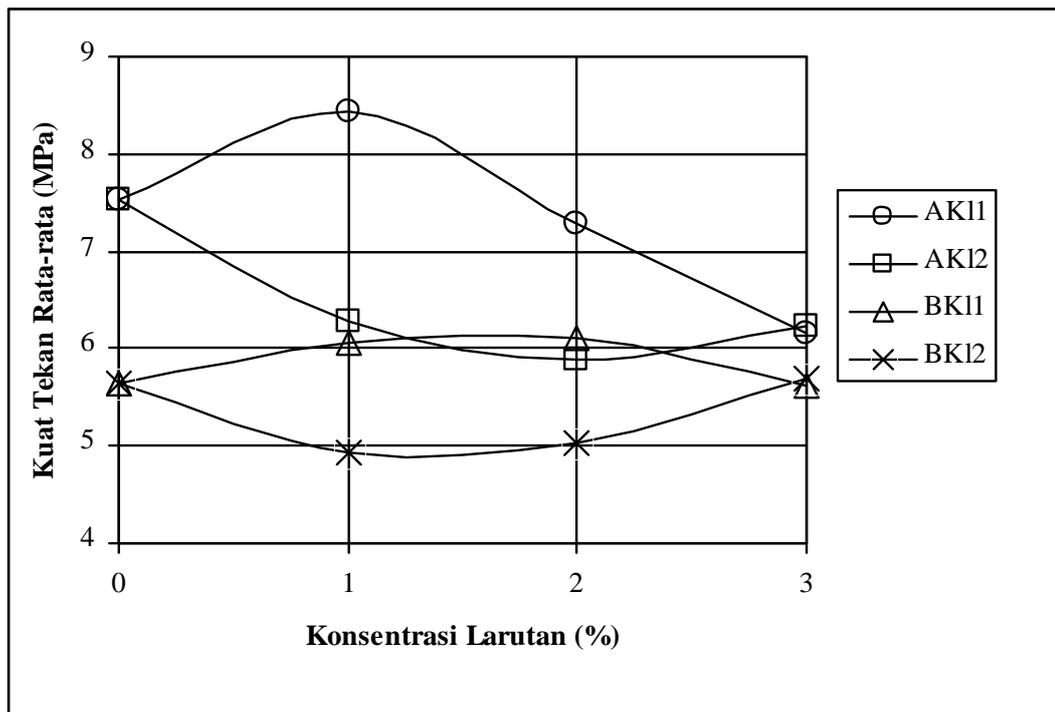
Batu Padas	Kuat Tarik Belah Batu Padas (MPa)			Rata-rata (MPa)
	1	2	3	
Asli Kelating	0,651	0,820	0,735	0,735
Buatan Kelating	0,848	0,933	1,018	0,933
Asli Kerobokan	0,481	0,566	0,679	0,575
Buatan Kerobokan	0,566	0,651	0,537	0,585

Hasil pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah benda uji umur 28 hari menunjukkan perbedaan hasil pada benda uji batu padas buatan terhadap hasil penelitian Astawiguna (2004) dan Terry (2004). Kuat tekan batu padas buatan sejenis Kelating oleh Astawiguna (2004) sebesar 8,46 MPa mengalami penurunan 17,81% menjadi 6,953 MPa. Begitu juga dengan kuat tekan batu padas buatan sejenis Kerobokan oleh Terry (2004) dari 5,00 MPa mengalami penurunan sebesar 26,56 % menjadi 3,672 MPa. Sedangkan untuk kuat tarik belah, batu padas buatan sejenis Kelating dari 1,05 MPa mengalami penurunan sebesar 11,14% menjadi 0,933 MPa sedangkan kuat tarik belah batu

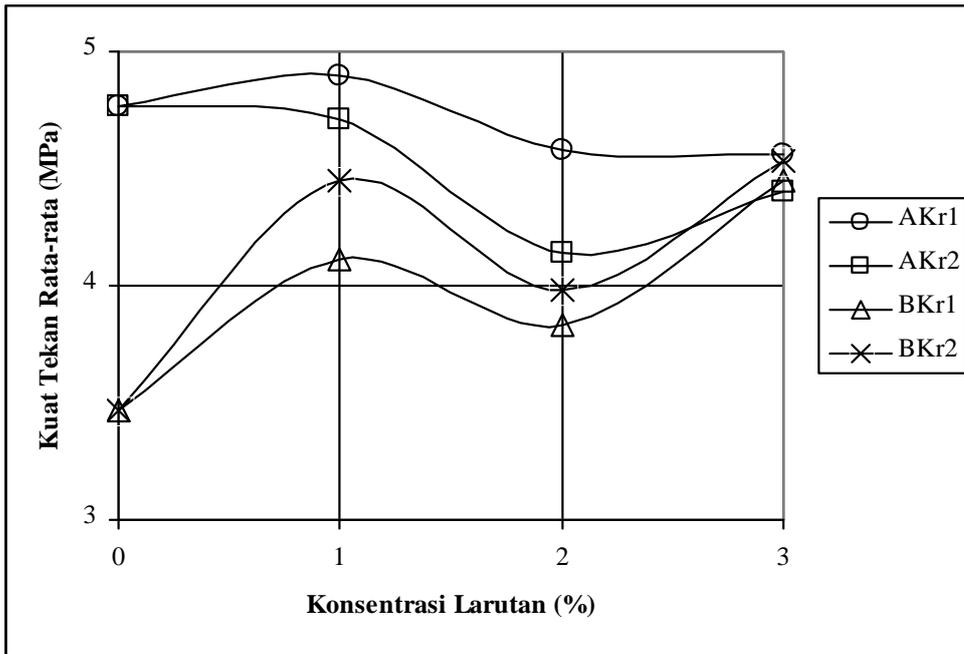
padas buatan sejenis Kerobokan mengalami peningkatan sebesar 27,52% dari 0,424 MPa menjadi 0,585 MPa. Batu padas alam baik batu padas alam Kelating maupun Kerobokan menunjukkan hasil yang sesuai dengan hasil penelitian Astawiguna (2004) dan Terry (2004).

Pada penelitian sebelumnya benda uji tidak direndam dalam air sampai pengujian pada umur 28 hari sehingga hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa batu padas buatan yang direndam dalam air sampai umur pengujian 28 hari mengalami penurunan kuat tekan

Kuat Tekan Batu Padas Umur 60 hari

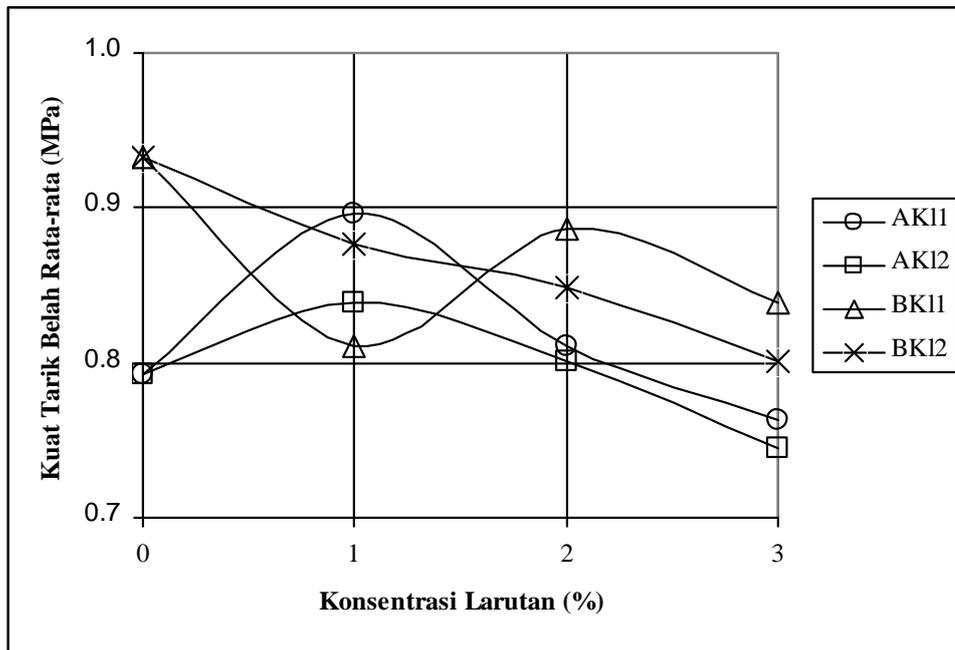


Gambar 3. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata sampel Kelating terhadap konsentrasi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 60 hari

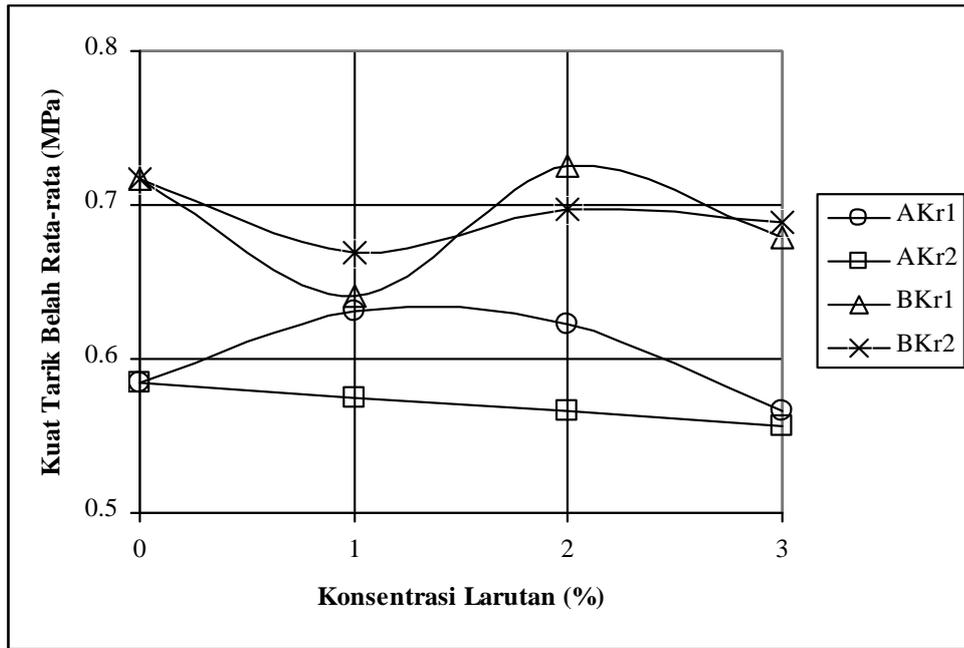


Gambar 4. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata sampel Kerobokan terhadap konsentrasi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 60 hari

Kuat Tarik Belah Batu Padas Umur 60 hari

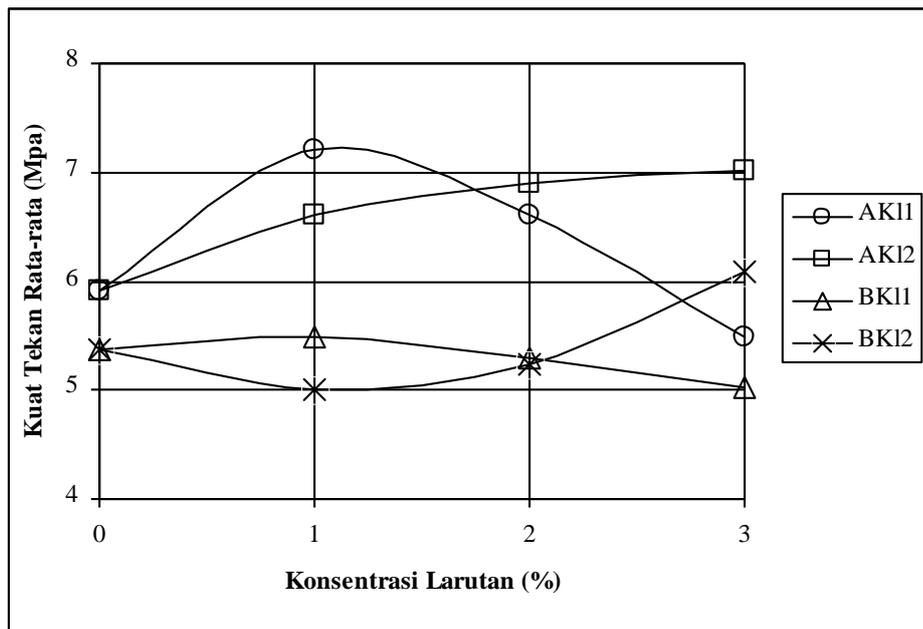


Gambar 5. Grafik hubungan kuat tarik belah rata-rata sampel Kelating dengan konsentrasi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 60 hari

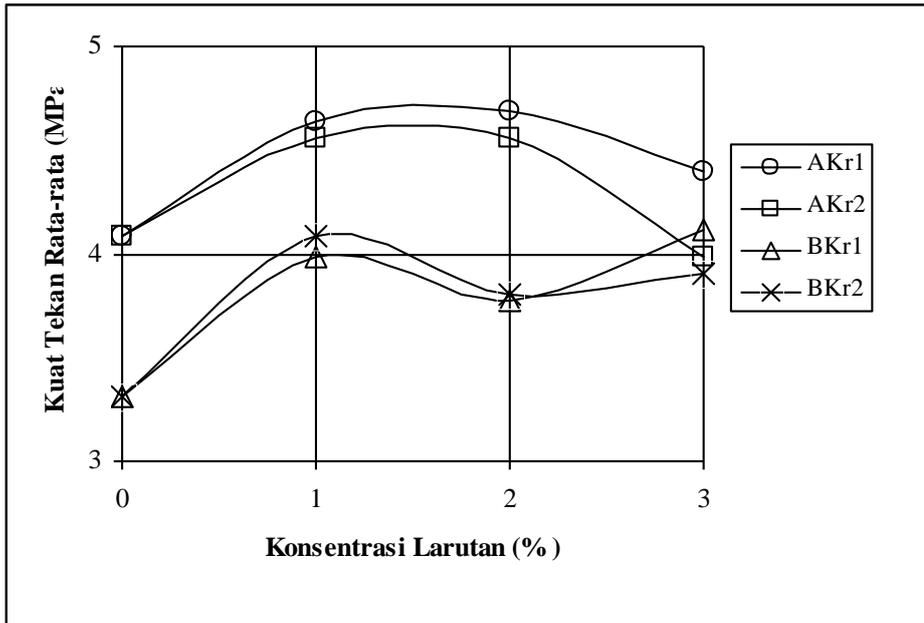


Gambar 6. Grafik hubungan kuat tarik belah rata-rata sampel Kerobakan dengan konsentrasi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 60 hari

Kuat Tekan Batu Padas Umur 90 hari

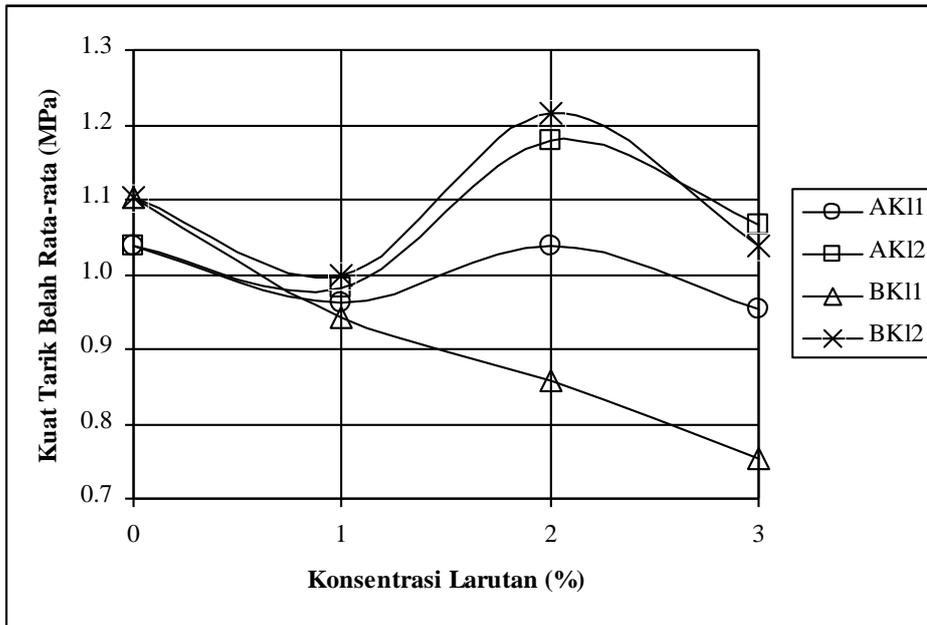


Gambar 7. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata sampel Kelating terhadap konsentrasi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 90 hari

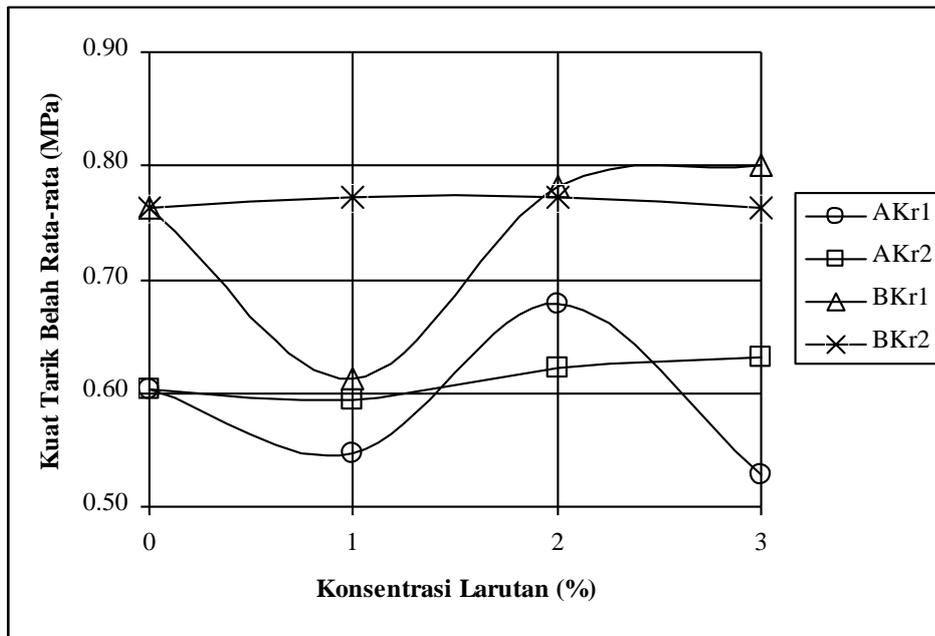


Gambar 8. Grafik hubungan kuat tekan rata-rata sampel Kerobokan terhadap konsentrasi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 90 hari

Kuat Tarik Belah Batu Padas Umur 90 hari



Gambar 9. Grafik hubungan kuat tarik belah rata-rata sampel Kelating dengan konsentrasi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 90 hari



Gambar 10. Grafik hubungan kuat tarik belah rata-rata sampel Kerobokan dengan konsentrsi larutan NaCl dan MgSO₄ umur 90 hari

Keterangan :

- AK11 : Padas Alam Kelating yang direndam dalam larutan NaCl*
- AK12 : Padas Alam Kelating yang direndam dalam larutan MgSO₄*
- BK11 : Padas Buatan Kelating yang direndam dalam larutan NaCl*
- BK12 : Padas Buatan Kelating yang direndam dalam larutan MgSO₄*
- AKr1 : Padas Alam Kerobokan yang direndam dalam larutan NaCl*
- AKr2 : Padas Alam Kerobokan yang direndam larutan dalam MgSO₄*
- BKr1 : Padas Buatan Kerobokan yang direndam larutan dalam NaCl*
- BKr2 : Padas Buatan Kerobokan yang direndam larutan dalam MgSO₄*

Pembahasan

Terlihat pada sampel Kelating, pada umur perendaman 28 hari batu padas buatannya memiliki kuat tekan sebesar 6,95 MPa sedangkan batu padas alamnya lebih besar yaitu 8,52 MPa. Begitu pula pada umur 60 hari dan 90 hari, batu padas buatan memiliki kuat tekan awal (konsentrasi 0%) lebih kecil dibandingkan dengan batu padas alamnya. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya penurunan kuat tekan

tersebut karena tingkat reaktifitas penyusun campuran yang rendah, dan pada saat perendaman/masa perawatan benda uji belum terlalu kering yaitu pada umur 3 hari sudah direndam dalam air yang dapat membuat terjadinya penurunan kuat tekan tersebut disamping juga karena kandungan bahan organis yang terdapat pada tanah liat. Sedangkan untuk kuat tarik belah benda uji batu padas buatan justru lebih besar dibandingkan dengan batu padas alam/aslinya baik batu padas Kelating maupun Kerobokan. Dapat dikatakan bahwa batu padas buatan yang diharapkan dapat menjadi alternatif bahan bangunan arsitektur Bali seperti misalnya *tempelan* pada hiasan dinding lebih kuat dalam menahan retak-retak yang akan terjadi dibandingkan dengan batu padas alam/aslinya.

Benda uji yang direndam dengan larutan NaCl memberikan kuat tekan rata-rata yang lebih kecil pada batu padas buatan dibandingkan dengan batu padas alam. Perubahan kuat tekan yang terjadi seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan tidak konstan, namun kecenderungan yang dapat dilihat adalah bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaCl

maka kuat tekan yang terjadi semakin kecil baik pada batu padas alam maupun batu padas buaatannya. Seperti pada sampel Kelating yang diberikan pada Gambar 4.2 terlihat bahwa perubahan kuat tekan yang terjadi pada konsentrasi larutan NaCl 3% mengalami penurunan kuat tekan sebesar 18,34% dari kuat tekan awal (konsentrasi 0%). Begitu pula dengan bertambahnya umur benda uji maka terjadi penurunan kuat tekan baik pada batu padas alam maupun batu padas buaatannya, seperti terlihat pada batu padas buatan Kerobokan pada umur 28 hari memiliki kuat tekan sebesar 3,67 MPa sedangkan pada umur 60 dan 90 hari turun berturut-turut menjadi 3,46 MPa dan 3,31 Mpa. Berbeda dengan kuat tarik belahnya, kecenderungan yang dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya umur benda uji maka kuat tarik belahnya meningkat dan bila dibandingkan dengan batu padas aslinya, batu padas buatan memberikan kuat tarik belah yang lebih besar.

Benda uji yang direndam dengan larutan $MgSO_4$ memberikan kuat tekan yang lebih kecil pada batu padas buatan dibandingkan pada batu padas aslinya. Sama halnya pada perendaman dengan larutan NaCl, perubahan kuat tekan yang terjadi pada setiap peningkatan konsentrasi tidak konstan. Hal ini mungkin disebabkan karena konsentrasi larutan perendam yang rendah yaitu 0%, 1%, 2%, dan 3% yang belum menunjukkan pengaruhnya. Sulfat bereaksi dengan lambat dengan pasta semen dan dapat berjalan dalam beberapa bulan sampai beberapa tahun untuk mencapai keadaan yang membahayakan (Murdock dan Brook, 1999). Hal ini menunjukkan konsentrasi larutan 0% sampai dengan 3% belum memberikan pengaruh pada perendaman dengan larutan selama 61 hari. Hal lain yang dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya umur benda uji maka kuat tekannya menurun. Seperti terlihat pada batu padas buatan sejenis Kelating, perubahan kuat tekan pada umur 28 hari, 60 hari, dan 90 hari berturut-turut

sebesar 6,95 MPa, 5,65 MPa, dan 5,37 MPa. Namun untuk kuat tarik belahnya memberikan hasil yang lebih besar pada batu padas buatan bila dibandingkan dengan batu padas aslinya dan dengan bertambahnya umur maka meningkat pula kuat tarik belahnya.

Bila dibandingkan benda uji yang direndam dengan larutan NaCl dan $MgSO_4$, maka kecenderungan yang dapat dilihat bahwa $MgSO_4$ memberikan kuat tekan yang lebih rendah daripada NaCl. Hal ini menunjukkan bahwa sulfat mempunyai sifat yang lebih merusak (Neville dan Brooks, 1987 dalam Diastuti, 2004). Hal lain dari hasil penelitian menunjukkan bahwa batu padas alam Kelating yang tidak direndam dalam larutan NaCl (konsentrasi 0%), kuat tekan yang diberikan cenderung lebih rendah dari yang direndam dalam larutan konsentrasi 1% kemudian turun pada konsentrasi 2% dan 3% hingga lebih rendah dari konsentrasi 0%. Begitu pula dengan batu padas buaatannya mengikuti tren garis sesuai dengan batu padas aslinya. Hal ini mungkin dapat disebabkan karena adanya reaksi antara unsur-unsur yang terkandung pada pozzolan, semen, kapur, dan tanah liat dengan NaCl sehingga terbentuk gel-gel yang menyebabkan perubahan kuat tekan tersebut. Berbeda dengan batu padas alam Kelating yang direndam dengan larutan $MgSO_4$, kuat tekan awal (konsentrasi 0%) yang diberikan pada umur 60 hari lebih rendah dari konsentrasi 1% dan pada umur 90 hari lebih tinggi hingga terus meningkat pada konsentrasi 2% dan 3%. Sedangkan untuk batu padas buaatannya cenderung lebih rendah pada konsentrasi 1% namun kembali meningkat pada konsentrasi 2% dan 3%. Perilaku ini terlihat juga pada sampel Kerobokan. Hal ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan $MgSO_4$ pada konsentrasi 2% dan 3% membentuk gel-gel sebagai rangkaian reaksi yang lambat dari sulfat yang menyebabkan perubahan kuat tekan batu padas baik batu padas yang asli maupun batu padas buatan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Dari analisa dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Kuat tekan batu padas buatan pada umur 28 hari, 60 hari, dan 90 hari baik batu padas buatan sejenis Kelating maupun sejenis Kerobokan lebih rendah dibandingkan dengan batu padas alam/aslinya. Sedangkan kuat tarik belah batu padas buatan lebih tinggi dibandingkan dengan batu padas aslinya baik pada umur 28 hari, 60 hari, maupun 90 hari.
2. Perendaman dengan larutan NaCl memberikan kuat tekan yang lebih rendah pada batu padas buatan baik pada umur 60 hari dan 90 hari. Sedangkan kuat tarik belahnya lebih tinggi pada batu padas buatan pada umur 60 hari dan 90 hari. Perubahan kuat tekan dan kuat tarik belah yang terjadi pada setiap peningkatan konsentrasi larutan NaCl tidak konstan.
3. Perendaman dengan larutan MgSO₄ memberikan kuat tekan yang lebih rendah pada batu padas buatan baik pada umur 60 hari dan 90 hari. Sedangkan kuat tarik belahnya lebih tinggi pada batu padas buatan pada umur 60 hari dan 90 hari. Perubahan kuat tekan dan kuat tarik belah yang terjadi pada setiap peningkatan konsentrasi larutan MgSO₄ tidak konstan.
4. Perendaman dengan larutan MgSO₄ memberikan kuat tekan yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan larutan NaCl. Hal ini menunjukkan bahwa MgSO₄ mempunyai sifat yang lebih merusak.
5. Perendaman benda uji dengan larutan NaCl dan MgSO₄ dengan konsentrasi 0%, 1%, 2%, dan 3% selama 61 hari menunjukkan pengaruh yang kecil terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah benda uji. Hal ini dapat disebabkan karena konsentrasi larutan yang rendah, serta NaCl dan MgSO₄ bere-

aksi dengan lambat dan dapat berjalan dalam beberapa bulan sampai beberapa tahun untuk mencapai keadaan yang membahayakan.

Saran

Beberapa hal dapat disarankan seperti:

1. Untuk kesempurnaan hasil eksperimen batu padas buatan maka diharapkan bahan-bahan dasar yang digunakan tidak mengandung bahan organis yang menyebabkan penurunan kualitas dan kekuatan batu padas buatan.
2. Karena gangguan sulfat bersifat lebih merusak, maka disarankan bahan-bahan dasar yang digunakan memiliki ketahanan terhadap serangan sulfat.
3. Untuk mengadakan penelitian guna mengetahui kandungan kimia yang lepas dan terlarut dalam larutan perendam batu padas.
4. Konsentrasi larutan perendam yang digunakan diperbesar dan variasi konsentrasi diperbanyak.
5. Benda uji direndam lebih awal dalam larutan NaCl dan MgSO₄.
6. Untuk mengadakan penelitian mengenai pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah pada umur muda dan umur tua batu padas buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1984. *Teknik Keramik*, Balai Penyelidikan Keramik
- Anonim, 1993. *Pemetaan Kawasan Bahan Galian Golongan C di Kabupaten Daerah Tingkat II Buleleng dan Karangasem Tahun 1992/1993*, Biro Bina Pengembangan Produksi Daerah Sekretariat Wilayah Tingkat I Bali
- Anonim, 1995. *Pemetaan Bahan Galian Golongan C di Kabupaten Dati II Gianyar Tahun 1994/1995*, Dinas Pertambangan Propinsi Bali
- Anonim, 1997. *Prospek dan Potensi Bahan Galian Golongan C di Propinsi Dati I Bali*, Pemerintah

- Propinsi Daerah Tingkat I Bali Dinas Pertambangan.
- Astawiguna, M.G., 2004. *Pemanfaatan Pozzolan Alam Sebagai Bahan Baku Dalam Rekayasa Teknologi Batu Padas Buatan (Produksi Batu Padas Kelating)*, Tugas Akhir Program S1, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Diastuti, N.P.S., 2004. *Pengaruh $MgSO_4$ dan $MgCl_2$ Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Yang Menggunakan Slag Sebagai Agregat Kasar*, Tugas Akhir Program S1, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Lange, O., Ivanovs, M., Lebedeva, N., 1991. *Geologi Umum*, Cetakan Pertama, Radar JayaOffset, Jakarta.
- Mashlehuudin, M., Rasheeduzzafar., Al-Amoudi, O.S.B., and Al-Mana, A.L., 1995. *Concrete Durability in a very Agressive Environment*, ACI 144-10.
- Murdock, L.J., Brook, K.M., Hindarko, S., 1986. *Bahan dan Praktek Beton*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Namara, N.C., Hartono, Y.M.V., 1983. *Teori Pembakaran*, Balai Besar Industri Keramik, Bandung.
- Nugraha, P., 1989. *Teknologi Beton dengan Antisipasi Terhadap Pedoman Beton*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Sagel, T., Kole, P., Kusuma, G., 1993. *Pedoman Pengerjaan Beton Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 CUR Seri Beton 2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Subakti, A., 1994. *Teknologi Beton Dalam Praktek*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Sudiarsa, I K., 2004. *Pengaruh NaCl Terhadap Keroposnya Batu Padas Alam Silakarang*, Tugas Akhir Program S1, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Terry, K.N., 2004. *Pemanfaatan Pozzolan Alam Sebagai Bahan Baku Dalam Rekayasa Teknologi Batu Padas Buatan (Produksi Batu Padas Kerobokan)*, Tugas Akhir Program S1, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Thornton, P.C., 1979. *Pyroclastik Rock*, Pennsylvania State University, Dallas.