

**PENGARUH SUSUT TERHADAP KOMPATIBILITAS
DIMENSIONAL ANTARA BETON NORMAL DAN *REPAIR*
MATERIAL DENGAN BAHAN TAMBAH *POLYMER***

*(Influence of Shrinkage to Dimensional Compatibility between Concrete and
Repair Material with Polymer)*

SKRIPSI

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun oleh :

RATNA DWIYANI NAWANGSASI
NIM. I 0106116

**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2010

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH SUSUT TERHADAP KOMPATIBILITAS DIMENSIONAL ANTARA BETON NORMAL DAN *REPAIR* MATERIAL DENGAN BAHAN TAMBAH *POLYMER*

*(Influence of Shrinkage to Dimensional Compatibility between Concrete and
Repair Material with Polymer)*

SKRIPSI

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun Oleh :

RATNA DWIYANI NAWANGSASI
NIM I. 0106116

Telah disetujui untuk dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendarasan Fakultas
Teknik Universitas Sebelas Maret

Persetujuan:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

S A Kristiawan, ST, MSc, Ph.D.
NIP 19690501 199512 1001

Ir. Sunarmasto, MT
NIP 19560717 198703 1003

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH SUSUT TERHADAP KOMPATIBILITAS
DIMENSIONAL ANTARA BETON NORMAL DAN *REPAIR*
MATERIAL DENGAN BAHAN TAMBAH *POLYMER***

*(Influence of Shrinkage to Dimensional Compatibility between Concrete and
Repair Material with Polymer)*

SKRIPSI

Disusun Oleh :

RATNA DWIYANI NAWANGSASI

NIM I. 0106116

Telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Pendadaran Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret pada hari Kamis, 15 Juli 2010.

1. S A Kristiawan, ST, MSc, Ph.D
NIP. 19690501 199512 1 001

2. Ir. Sunarmasto, MT
NIP. 19560717 198703 1 003

3. Dr. Tech. Ir. Sholihin As'ad, MT
NIP. 19671001 199702 1 001

4. Achmad Basuki, ST, MT
NIP. 19710901 199702 1 001

Mengetahui,
a.n. Dekan Fakultas Teknik UNS
Pembantu Dekan I

Disahkan,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNS

Ir. Noegroho Djarwanti, MT
NIP. 19561112 198403 2 007

Ir. Bambang Santosa, MT
NIP. 19590823 198601 1 001

MOTTO

- Kasih sayang dan kepercayaan orang tua adalah anugerah terindah
dalam hidup seorang anak

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karyaku ini untuk:

Allah SWT, atas rahmat dan kasih sayang yang Engkau berikan kepadaku

Bapak dan ibu tercinta atas perhatian dan kesabarannya menyiramiku dengan doa dan pengorbanan yang tiada pernah habis

My sistah and My Lil bro, atas motivasi dan dorongannya selama ini

Keluarga Bahagia (My second Family) : Mami Arin, Inggit, Ndug Nggita, Emon, Chome, Bembi bemo, Mba utux, Ipech – buat kebersamaan kita selama 7th, our friendship makes me strong, Lufh u all

Teman-teman skripsi: “kelompok bahagia dunia akhirat” : Samidul, Sapi, Gujan, Witoy, Metty, Rince, Pim2, Panjul, Joni ; thanks buat kerjasamanya selama ini

Teman-teman satu angkatan: Jeng Riani, Setyo 'buncit', Mboksit, Pamuko, Rizky, Winny, Mami Jayen, Idho 'Cempluxs', Bang aan, Opie, Yunnie, Windha dan temen-temen yang lain yang tidak saya sebutkan

Nengnur irla, Mba nopex, Nuknil dian, Empok diah, Ajeng, Marnee, Umi nanik, Nina a.k.a tim hore Pondok Sukses Apartment sekaligus teman2 lembur di tiap malam

Special thanks to PAK IWAN & PAK MASTO atas bimbingannya selama ini

Almamater, Universitas Sebelas Maret Surakarta

ABSTRAK

Ratna Dwiyani Nawangsasi, 2010. "PENGARUH SUSUT TERHADAP KOMPATIBILITAS DIMENSIONAL ANTARA BETON NORMAL DAN REPAIR MATERIAL DENGAN BAHAN TAMBAH POLYMER". Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Polymer merupakan bahan yang dapat ditambahkan dalam campuran repair mortar, karena *polymer* mempunyai sifat *deformable* saat diaplikasikan di lapangan dan memiliki kelekatan yang cukup bagus sehingga dapat menyatu dan menyesuaikan bentuk dengan beton induk yang akan di *patch repair*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kompatibilitas antara beton normal dengan *repair material* ditinjau dari perbedaan nilai susut dan rasio perubahan panjang yang terjadi.

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah dengan mengadakan suatu percobaan di laboratorium, benda uji yang dipakai adalah silinder ukuran diameter 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm dengan variasi *polymer* 0%, 2%, 4%, 6% dari berat semen. Pengukuran susut beton dan *repair material* menggunakan alat *dial gauge* pada benda uji yang dipasang 2 pasang *demec point* dengan jarak 200 mm, dari percobaan diperoleh data susut dan dihitung dengan rumus { $\varepsilon_{sh} = (\Delta L / L_0)$ }.

Analisis data menunjukkan bahwa kriteria kompatibilitas dimensional yang memenuhi ditunjukkan oleh benda uji yang memiliki rasio perubahan panjang *repair material* terhadap beton paling kecil, begitu pula dengan nilai selisih susut yang terjadi. Sebagai bahan perbaikan, komposisi campuran MP 2% termasuk dalam kriteria kompatibel antara *repair material* dengan substrat beton karena memiliki rasio perubahan panjang sebesar 4,116% dan nilai selisih susut antara beton dengan *repair material* menunjukkan angka paling kecil yaitu 46,67 microstrain. Pengaruh penambahan kadar *polymer* ditunjukkan oleh persamaan $y = 2,238x^2 - 8,392x + 13,06$ dengan nilai optimum berada pada kisaran 2%.

Kata kunci : kompatibilitas dimensional, *polymer*, *repair material*, susut

ABSTRACT

Ratna Dwiyani Nawangsasi, 2010. “INFLUENCE OF SHRINKAGE TO DIMENSIONAL COMPATIBILITY BETWEEN CONCRETE AND REPAIR MATERIAL WITH POLYMER”. Thesis. Civil Engineering Department Faculty of Engineering, Sebelas Maret University Surakarta.

Polymer is the material that can be added to the repair mortar mix, because polymer has deformable characteristic when applied in the field and has sufficiently good adhesiveness so that it can fuse and adjust the shape with the main concrete that will be patch repaired. The objective of this research is to find out the compatibility between normal concrete with repair material viewed from the difference of shrinkage value and the ratio of length change that occurred.

The method used in this research was laboratory experiment, the tested object used was cylinder with 7.5 cm diameter and 27.5 cm height with variations of polymer level of 0%, 2%, 4%, and 6% of cement weight. The shrinkage measurement of concrete and repair material was done using dial gauge instrument in the tested object to which installed 2 pairs of demec point in 200 mm distance, from the experiment, it can be found the data on shrinkage and it calculated using the formula $\{\epsilon_{sh} = (\Delta L / L_0)\}$.

The data analysis shows that the eligible dimensional compatibility criteria is shown by the tested object that has the lowest ratio of repair material to concrete length change, and the value difference of shrinkage occurring. As the repair material, the composition of MP2% mixture included in the compatible criteria between the repair mortar and the concrete substrate because it has the length change ratio of 4.116% and shrinkage difference value between concrete and repair material shows the lowest figure of 46.67 microstrain. Influence of polymer concentration is shown by equation $y = 2.238x^2 - 8.392x + 13.06$ with the optimum value about 2%.

Keywords: compatibility dimensional, polymer, repair material, shrinkage.

PENGANTAR

Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan penulisan laporan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan S-1 di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penyusun menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, maka banyak kendala hingga terselesaikannya penyusunan laporan skripsi ini. Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Segenap pimpinan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Segenap pimpinan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
3. Yang terhormat Bapak S.A. Kristiawan, ST, MSc, PhD selaku Dosen Pembimbing I.
4. Yang terhormat Bapak Ir. Sunarmasto, MT selaku Dosen Pembimbing II.
5. Yang terhormat Bapak Agus Setiya Budi, ST, MT selaku dosen pembimbing akademis.
6. Yang terhormat Bapak Dr. Tech. Ir. Sholihin As'ad, MT dan Bapak Achmad Basuki, ST, MT selaku dosen penguji pada ujian skripsi.
7. Rekan rekan satu kelompok yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.
8. Rekan-rekan angkatan 2006.

Penyusun menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh sebab itu penyusun mengharap saran dan kritik yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan skripsi yang akan datang. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak pada umumnya dan mahasiswa pada khususnya.

Surakarta, Juli 2010

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSETUJUAN | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| HALAMAN MOTTO DAN PESEMBAHAN | iv |

| | |
|------------------------------|-------------|
| ABSTRAK | v |
| PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR NOTASI..... | xi |
| DAFTAR TABEL | xii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |

BAB 1. PENDAHULUAN

| | |
|-------------------------------|---|
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3. Batasan Masalah | 3 |
| 1.4. Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5. Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5.1. Manfaat Teoritis..... | 4 |
| 1.5.2. Manfaat Praktis | 4 |

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

| | |
|---|----|
| 3.1. Tinjauan Pustaka..... | 5 |
| 2.1.1. Beton..... | 5 |
| 2.1.2. Mortar..... | 6 |
| 2.1.3. <i>Polymer</i> | 9 |
| 2.1.4. Kompatibilitas Dimensional | 10 |
| 2.2. Landasan Teori | 11 |
| 2.2.1. Definisi Susut (<i>Shrinkage</i>)..... | 11 |
| 2.2.2. Macam-macam Susut (<i>Shrinkage</i>)..... | 11 |
| 2.2.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Besarnya Susut..... | 13 |
| 2.2.4. Efek Susut Terhadap Kompatibilitas Dimensional | 15 |
| 2.2.5. Kerusakan Pada Beton..... | 16 |
| 2.2.6. Metode Perbaikan Konstruksi Beton..... | 19 |
| 2.2.7. Metode <i>Patch Repair</i> | 21 |
| 2.3. Modifier <i>Polymer</i> | 23 |

| | |
|---|----|
| 2.3.1. Efek <i>Polymer</i> Terhadap Sifat Penyusutan Mortar | 24 |
| 2.4. Hubungan Antara Susut dan Rangkak..... | 25 |

BAB 3. METODE PENELITIAN

| | |
|---|----|
| 3.1. Uraian Umum | 28 |
| 3.2. Bahan-bahan Penyusun | 29 |
| 3.3. Alat-alat Pengujian..... | 32 |
| 3.4. Benda Uji | 33 |
| 3.5. Tahap-tahap Penelitian di Laboratorium..... | 36 |
| 3.6. Pembuatan Benda Uji..... | 40 |
| 3.6.1. Pembuatan Beton Normal | 40 |
| 3.6.2. Pembuatan <i>Repair</i> Mortar | 40 |
| 3.7. Prosedur Pengujian Susut (<i>Shrinkage</i>)..... | 41 |

BAB 4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

| | |
|---|----|
| 4.1. Evaluasi Kompatibilitas Susut antara <i>Repair</i> Material dan Beton Normal | 42 |
| 4.1.1. Hasil Pengukuran Susut <i>Repair</i> Material dan Beton Normal..... | 42 |
| 4.1.2. Nilai Selisih Susut | 44 |
| 4.1.3. Rasio Susut <i>Repair</i> Material dengan Beton Normal sebagai Alat Ukur Kompatibilitas | 46 |
| 4.2. Metode untuk Mengevaluasi Kompatibilitas Susut antara Beton Normal dengan <i>Repair</i> Material Berdasarkan Nilai Susut Masing-masing | 47 |
| 4.2.1. Hasil Pengukuran Susut Mortar Utuh dan Beton Normal Utuh..... | 48 |
| 4.2.2. Evaluasi Kompatibilitas Susut pada Dua Material yang Dipadukan | 51 |
| 4.3. Perbandingan Rasio <i>Repair</i> Material dengan Mortar Utuh | 52 |

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

| | |
|-----------------------|----|
| 5.1. Kesimpulan | 55 |
| 5.2. Saran | 55 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|--------------------|---|
| ε_{sh} | = Besar nilai <i>shrinkage</i> (<i>microstrain</i>) |
| ε_{sh} | = Besarnya nilai <i>shrinkage</i> . |
| ε_{cr} | = Besarnya nilai <i>creep</i> . |
| ΔL | = Perubahan panjang setelah t waktu (mm). |
| L_0 | = Panjang mula-mula (mm). |
| Δ | = Perubahan panjang akibat susut (%) |

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu komponen yang terpenting dalam pembangunan dibidang struktur adalah ketepatan pemilihan komponen bahan dasar struktur bangunan. Penggunaan beton sebagai salah satu pilihan bahan konstruksi bangunan sipil pada masa sekarang ini lebih dikenal luas dibandingkan dengan bahan-bahan konstruksi lain seperti kayu atau pun baja. Kemajuan teknologi beton ini diperoleh karena semakin banyaknya penggunaan beton dalam suatu pembangunan konstruksi. Kebutuhan beton yang semakin banyak dikarenakan kelebihan-kelebihan dari beton yaitu relatif murah dibanding dengan bahan konstruksi lain, kemudahan dalam memperoleh bahan baku penyusun beton, kemudahan dalam pengerjaan dan perawatannya, dan juga tahan terhadap perubahan cuaca. Selain itu beton merupakan bahan yang dominan karena memiliki *durability* atau tingkat keawetan yang tinggi dibanding bahan material lain.

Beton juga dapat mengalami degradasi karena berbagai sebab, diantaranya serangan asam, korosi, beban yang terlalu berlebihan dan lain sebagainya. Kerusakan-kerusakan yang timbul sebagai akibat degradasi dapat dilihat diantaranya terjadi retak-retak, aus, susut, *delaminasi*, *spalling* (terlepasnya bagian beton). Kerusakan-kerusakan tersebut perlu mengalami perbaikan-perbaikan antara lain dengan cara penambalan (*patch repair*) pada bagian yang rusak. Dalam perbaikan beton dengan cara penambalan ini perlu diperhatikan syarat-syarat material yang digunakan untuk *patch repair*.

Adapun syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk material *patch repair* yaitu diantaranya mampu menyatu atau melekat erat dengan beton lama yang akan di *patch repair*, dapat menyesuaikan bentuk beton yang akan di *patch repair* dan tidak mengurangi kekuatan beton. Ada banyak jenis material *patch repair* beton dipasaran yang beredar. Dilihat dari segi ekonomisnya material repair yang tersedia dipasaran tersebut harganya relatif mahal. Oleh karena itu perlu dikembangkan material repair yang dapat dibuat sendiri dengan bahan dasar mortar.

Mortar merupakan bahan yang terbuat dari campuran antar semen dengan agregat halus yang dicampur dengan air sebagai perekat. Sebagai bahan yang terbuat dari *cement based* (pengikat), mortar mempunyai sifat mengembang dan menyusut. Penyusutan yang terjadi pada mortar harus diperhitungkan karena penyusutan ini dapat menimbulkan retak apabila penyusutan tersebut terkekang. Pada saat dilakukan penambalan, menyatunya beton lama dan lapisan *overlay* (lapisan ulang) akan menyebabkan susut terkekang. Salah satu bentuk pengekangan yang menimbulkan retak terjadi pada pelapisan mortar di atas beton lama (*concrete overlay*) berupa retakan perbatasan antara beton lama dan mortar. Bentuk pengekangan pada lapisan ulang (*overlay*), terjadi karena adanya perbedaan susut antara lapisan *overlay* dengan beton lama. Beton lama mengalami penyusutan yang sangat kecil, sehingga penyusutannya diabaikan. Sebaliknya lapisan *overlay* mengalami penyusutan yang cukup besar. Hal ini menimbulkan tegangan tarik

pada mortar sehingga mengakibatkan terjadi retak pada lapisan mortar dalam jangka waktu yang relatif lama.

Untuk mengatasi retak-retak ini, maka mortar dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan *polymer*. *Polymer* merupakan bahan yang dapat ditambahkan dalam campuran repair mortar, karena *polymer* mempunyai sifat *deformable* saat diaplikasikan di lapangan. Selain itu dengan kelekatan yang cukup bagus, *polymer* dapat menyatu dan menyesuaikan bentuk dengan beton induk yang akan di *patch repair*.

Dalam penelitian repair material berbahan tambah *polymer*, perlu diperhatikan nilai faktor air semennya. Hal ini penting, karena *repair mortar* harus memiliki kekuatan awal yang nilainya minimal setara dengan kuat tekan beton yang akan diperbaiki. Dari uji pendahuluan didapat bahwa untuk memperoleh campuran *repair mortar* yang memiliki kekuatan awal setara dengan nilai aktual kuat tekan beton (28 Mpa), maka faktor air semen (fas) yang digunakan adalah sebesar 0,35. Selain itu diperlukan juga adanya penambahan *superplasticizer* dengan prosentase 2% dari berat semen untuk mempermudah dalam pengadukan serta penambahan *accelerator* dengan prosentase 5% dari berat air untuk mempercepat pengerasan.

Retak atau tidaknya suatu beton dapat dievaluasi dari pengamatan kompatibilitas dimensional, dimana kompatibilitas dimensional tersebut ditinjau dari rasio perubahan panjang yang terjadi akibat susut dan beda nilai aktual susut pada beton. Dengan adanya pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh susut terhadap kompatibilitas dimensional pada komposit beton normal dengan *repair material* yang berbahan tambah *polymer*.

1.2. Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana kompatibilitas antara beton normal dengan *repair material* ditinjau dari perbedaan nilai susut dan rasio perubahan panjang yang terjadi.

- b. Bagaimana pengaruh penambahan *polymer* terhadap perbedaan nilai susut dan rasio susut pada komposit beton normal dengan *repair material*.

1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Pada pelaksanaan penelitian tidak memperhitungkan kondisi lingkungan seperti suhu ruangan, kelembaban udara, dan proses reaksi kimia antara *polymer* dengan bahan dasar mortar.
2. Benda uji yang digunakan berupa silinder mortar dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm.
3. Untuk memperoleh nilai susut, pengamatan komposit beton normal dan *repair material* dilaksanakan selama 84 hari terhitung setelah beton normal digabung.
4. Tidak dilakukan *curing* (perawatan) pada benda uji.
5. Umur beton normal sebelum dilakukan penambalan adalah 28 hari.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakannya penelitian ini antara lain untuk :

- a. Mengetahui kompatibilitas antara beton normal dengan *repair material* ditinjau dari perbedaan nilai susut dan rasio perubahan panjang yang terjadi.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan *polymer* terhadap perbedaan nilai susut dan rasio susut pada komposit beton normal dengan *repair material*.

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1. Manfaat Teoritis

Dengan adanya penelitian ini, maka didapat manfaat untuk mengetahui pengaruh penambahan *polymer* terhadap perbedaan nilai susut dan rasio susut pada

komposit beton normal dengan *repair material* untuk memperbaiki sifat-sifat mortar yang dapat digunakan dalam pekerjaan *patch repair* (penambalan).

1.5.2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini dapat menjadi petunjuk praktis di lapangan mengenai penggunaan *polymer* sebagai bahan tambah pada proses pelapisan ulang beton (*concrete overlay*) dengan *repair material*.

Petunjuk yang dimaksud adalah besarnya kandungan *polymer* yang dapat ditambahkan untuk mendapatkan *repair material* dalam pekerjaan *patch repair* yang tahan terhadap retak akibat susut terkekang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Beton

Beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat. Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih (Wuryati Samekto dan Candra Rahmadiyanto, 2001).

Perilaku beton dapat berbeda-beda berdasarkan atas sifat material penyusunnya. Sebagai contoh perbedaan tipe semen yang digunakan dalam campuran adukan beton akan menghasilkan karakteristik atau sifat beton yang berbeda satu dengan yang lainnya. Perbedaan terhadap sifat beton tersebut juga dapat terjadi dalam

penggunaan jenis agregat yang berbeda baik bersifat agregat kasar maupun agregat halus (Ariyuni, E., Zulfadhi, 1997).

Ada banyak bentuk pengekanan yang dapat terjadi pada beton, salah satunya adalah pengekanan yang terjadi pada pelapisan ulang beton. Susut terkekang dapat terjadi jika pergerakan beton akibat penyusutan mengalami pengekanan. Hal ini akan menimbulkan tegangan tarik yang cukup tinggi sehingga dapat menimbulkan retak pada beton tersebut. Contoh kasus ini di lapangan dapat terjadi pada elemen beton dimana ada beda susut sepanjang penampang elemen tersebut seperti yang terjadi pada beton bertulang, beton massa, *concrete overlay*, dan lain-lain.

Pengamatan retak karena susut terkekang adalah pekerjaan yang sangat sulit karena susut, derajat pengekanan, modulus elastisitas, rasio *poisson*, rangkai, umur beton, dan kualitas beton mempengaruhi tegangan susut terkekang. Hampir semua faktor ini tergantung pada campuran beton, temperatur, kelembaban, dan dimensi struktur (Silfwerbrand, 1997).

Berbagai kerusakan yang terjadi pada beton, menuntut adanya usaha perbaikan pada beton. Salah satu usaha perbaikannya adalah dengan *repair mortar*. *Repair* merupakan salah satu cara perbaikan pada beton yang rusak. Menurut Jefri Hutagalung sifat dari *repair* sendiri umumnya merupakan campuran dari serbuk dan cairan. Material *repair* mengandung suatu bahan kimia yang menjadikan bahan *repair* tidak mudah retak. Kelebihan dari *repair* adalah memiliki kekuatan yang tinggi terutama lentur, kedap air, mudah pemasangannya. Kegunaan *repair* dalam usaha perbaikan beton antara lain digunakan pada perbaikan permukaan beton, pengisian keropos kecil pada beton, dan lain-lain.

2.1.2. Mortar

Mortar merupakan bahan yang terbuat dari campuran antar semen dengan agregat halus yang dicampur dengan air sebagai perekat. Sebagai bahan yang terbuat dari

cement based (pengikat), mortar mempunyai sifat mengembang dan menyusut. Kerusakan yang sering terjadi pada mortar adalah retak. Hal ini disebabkan karena berbagai macam faktor, seperti kualitas sumber daya manusia, pengaruh cuaca, pengaruh elemen struktural bangunan dan komposisi mortar yang digunakan dimana dapat mempengaruhi kualitas dan ketahanan mortar tersebut. Untuk meningkatkan ketahanan dan kekuatan awal mortar dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan menambahkan bahan tambah seperti *superplasticizer* yang dapat mengurangi kadar air dan meningkatkan kekuatan awal serta *accelerator* yang dapat mempercepat pengerasan.

Campuran mortar dengan penambahan bahan tambah akan diperoleh perubahan sifat-sifat tertentu dari mortar tersebut. Dalam penelitian ini digunakan *polymer* sebagai bahan tambahannya untuk bahan *repair*. Adapun bahan penyusun mortar sebagai berikut:

a. Semen *Portland*

Semen *Portland* ialah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan dasar pembentuk semen portland terdiri dari bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, dan oksida besi. Semen portland memiliki sifat-sifat yang dapat meningkatkan kekuatan. Sifat yang paling penting dari semen portland ini adalah mengeras melalui suatu reaksi kimia dengan air yang disebut hidrasi, dimana hidrasi ini akan menghasilkan panas. Hidrasi ini menghasilkan pengikatan yang terjadi pada permukaan butir Trikalsium Aluminat, sehingga akan terjadi rekatan yang kuat antara agregat dalam campuran mortar.

b. Agregat Halus

Pasir dalam campuran mortar sangat menentukan kemudahan pengerjaan (*workability*), kekuatan (*strength*), dan tingkat keawetan (*durability*) dari mortar yang dihasilkan. Pasir biasanya didapatkan dari alam dengan cara memompa dari sungai atau melalui endapan. Pada beberapa daerah pasir didapatkan melalui tambang pasir atau pecahan batu. Komposisi kimia pasir dan keadaan geologi mempengaruhi kualitas pasir. Gradasi yang baik dari pasir juga memberikan efek yang penting pada kelecakan dan ketahanan pada mortar. Pasir dengan butiran

yang sangat halus tidak praktis untuk kelecakannya, sehingga harus ditambahkan semen untuk mengisi rongga diantara butiran yang halus tersebut untuk mendapatkan kelecakan yang baik, sedangkan mortar yang menggunakan pasir dengan butiran yang besar biasanya lemah karena rongga antar butiran cukup lebar sehingga tegangan tidak dapat menyebar secara merata (**Aditya Chandra dan Stefanus Yusuf, 2003**).

Oleh karena itu, pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan.

Syarat-syarat agregat halus sesuai standar PBI 1971/NI-2 Pasal 3.3, adalah sebagai berikut :

- 1) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang tajam dan keras.
- 2) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (ditentukan terhadap berat kering). Apabila kadar lumpur melampaui batas 5% maka agregat harus dicuci dahulu sebelum digunakan dalam campuran beton.
- 3) Agregat halus tidak boleh mengandung zat organik terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari *Abrams-Harder* (dengan larutan NaOH).
- 4) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beranekaragam dan melewati ayakan sebesar 4,75 mm.
- 5) Pasir laut tidak boleh digunakan sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan yang diakui.

c. Air

Air merupakan bahan dasar penyusun mortar yang paling penting. Air yang digunakan dalam campuran mortar mempunyai fungsi sebagai peningkat kelecakan dalam pembuatan mortar dan berperan penting dalam reaksi kimia yang disebut juga reaksi hidrasi. Air diperlukan untuk bereaksi dengan semen dan menyebabkan terjadinya pengikatan antara pasta semen dengan agregat, sedangkan fungsi lain sebagai bahan pelumas antara butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan dipadatkan. Jumlah air dalam pembuatan mortar harus cukup supaya terjadi rekatan yang benar-benar kuat antara partikel di dalam campuran mortar, tetapi jumlahnya tidak boleh berlebih karena akan

menimbulkan rongga-rongga pada mortar dan kekuatannya akan menurun. Secara umum air yang dapat digunakan dalam campuran adukan mortar adalah air yang apabila dipakai akan menghasilkan mortar dengan kekuatan lebih dari 90 % dari mortar yang memakai air suling.

d. Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah (*admixture*) ialah bahan selain unsur pokok mortar (air, semen, dan agregat halus) yang ditambahkan kedalam campuran saat atau selama pencampuran berlangsung. Penggunaan bahan tambah biasanya didasarkan pada alasan yang tepat, diantaranya perbaikan kelecakan dan dapat menggunakan penggunaan semen (Tjokrodimuljo, 2004). Tujuan penambahan *admixture* ini adalah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat mortar sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras. Dalam penelitian ini digunakan *superplasticizer* jenis Sikament NN dan *accelerator*.

Mengacu pada klasifikasi ASTM C494-92, *superplasticizer* termasuk dalam golongan bahan tambah Type F : *High Range Water Reducer atau Superplasticizer* (HRWR) yang memiliki sifat mengurangi jumlah air (*water reducer*) tetapi masih diperoleh tingkat kemudahan pengerjaannya. *Superplasticizer* mempunyai tingkat dosis yang dapat meningkatkan workability, meningkatkan kuat desak, meningkatkan daya kedap air, meningkatkan nilai slump, meningkatkan kepadatan dan kerapatan beton dan sebagainya.

Sebagai *superplasticizer*, Sikament NN mempunyai kemampuan untuk mengurangi kebutuhan air sampai 20%, meningkatkan kekuatan tekan sampai 100% pada 16 jam pertama dan meningkat lagi 40% pada 28 hari, serta dapat meningkatkan kelecakan pada campuran mortar. Bahan tambah ini lebih dapat bercampur dan bereaksi dengan unsur pokok material yang lain di dalam adukan mortar dikarenakan bentuknya yang berupa cairan. Dosis dapat dipakai 2 menit setelah pencampuran sebesar 0,8% sampai 3% tergantung persyaratan yang diinginkan, kelecakan, dan kekuatan. Dengan adanya penambahan Sikament NN, diharapkan dapat menghasilkan mortar yang cair sehingga memiliki tingkat pengerjaan yang tinggi dan memiliki mutu yang tinggi dengan faktor air semen seminimal mungkin.

Accelerator adalah bahan tambah yang berfungsi untuk mempercepat proses ikatan dan pengerasan mortar. Bahan ini digunakan untuk mengurangi lamanya waktu pengeringan dan mempercepat pencapaian kekuatan pada beton maupun mortar. Sehingga beton maupun mortar dapat mencapai perkembangan kekuatan awal yang lebih cepat.

2.1.3. *Polymer*

Retak pada beton dapat mempengaruhi ketahanan beton itu sendiri. Semakin kecil dan sedikit retakan pada beton maka ketahanan beton akan meningkat. Penambahan *polymer* pada *repair material* ini bertujuan untuk memperkuat dan sekaligus mengikat *repair* mortar dengan beton pada lapisan *overlay*. *Polymer* memberikan sifat yang flexible pada mortar sehingga material yang dihasilkan setelah kering memiliki fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan material yang terbentuk dari campuran semen biasa. Bahan *polymer* yang terkandung di dalam campuran *repair material* diharapkan mampu memodifikasi kelemahan komposit beton normal dengan *repair mortar*. Diharapkan *polymer* tersebut mampu mengisi porositas, sehingga total porositas yang terbentuk dapat berkurang. Dengan adanya penambahan *polymer* pada *repair material*, diharapkan retakan yang mungkin timbul akan berkurang, sehingga selain kekuatan meningkat, ketahanan komposit beton normal dengan *repair material* akan meningkat pula (Wuri Andayani, 2007).

Polymer bisa ditambahkan pada semen dengan rasio *polymer* untuk tiap kilogram semen dan hal ini ditetapkan sebagai rasio semen *polymer*. Rasio diartikan sebagai rasio jumlah padat total pada *polymer* dengan jumlah semen dalam campuran adukan atau *repair* mortar yang dimodifikasi.

2.1.4. Kompatibilitas Dimensial

Kompatibilitas dimensional adalah kesesuaian perubahan dimensi beton dilihat dari ukuran, volume yang dipengaruhi oleh temperature dan waktu yang berfungsi agar perbaikan beton tahan lama dan mengurangi retak, maka diperlukan bahan (*repair material*) yang tepat saat digabung dengan beton induk. **(James E, 2000).**

Kompatibilitas dapat digambarkan sebagai suatu keseimbangan secara fisik, kimia dan dimensi antara suatu bahan *repair* dengan substrat yang ada. Dapat dipastikan bahwa bahan *repair* tersebut dapat melawan semua tekanan yang muncul karena proses perubahan volume dan bahan kimia serta kerusakan dalam suatu periode waktu tertentu. **(D.R. Morgan, 1995).**

Kompatibilitas dimensional merupakan salah satu faktor yang paling penting untuk mengetahui perubahan volume akibat penyusutan, muai panas, dan modulus lenting. Dalam penelitian ini kompatibilitas dimensi digunakan untuk menyelidiki kecocokan antara *repair* mortar dengan beton induk. Benda uji komposit berupa silinder (setengah mortar, setengah beton) digunakan dalam pengukuran susut.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Definisi Susut (*Shrinkage*)

Susut didefinisikan secara luas sebagai perubahan volume, yaitu berkurangnya volume beton akibat keluarnya air pada saat beton dalam proses pengerasan. Susut yang terjadi dalam hal ini tidak berhubungan sama sekali dengan adanya pembebanan. Susut merupakan sifat utama dari pasta semen beton, yaitu akibat proses hidrasi yang terjadi saat air bercampur dengan semen. Proses penguapan air bebas dari pasta semen beton ini terjadi saat beton mengering dan berjalan bersamaan dengan lajunya pengerasan beton **(Ir. M. Fauzie Siswanto M.Sc., 1990).**

Beton selain mempunyai sifat menyusut juga memungkinkan untuk mengeras secara terus menerus di dalam air yang ditandai dengan bertambahnya volume.

Akan tetapi yang menjadi masalah adalah apabila perubahan itu merupakan berkurangnya volume atau menyusut. Untuk mengurangi besarnya susut beton, berbagai cara dilakukan baik terhadap material maupun cara perawatan (*curing*) pada beton. Beberapa rumusan telah diajukan untuk memperkirakan besarnya susut beton.

2.2.2. Macam-macam Susut (*Shrinkage*)

Ada beberapa macam susut yang terjadi pada beton, yaitu :

1. susut plastik (*plastic shrinkage*);
2. susut pengeringan (*drying shrinkage*);
3. susut pengarbonisasian (*carbonation shrinkage*);
4. susut alamiah (*autogenous shrinkage*).

1) Susut Plastik (*Plastic Shrinkage*)

Susut plastik pada beton terjadi sebelum pencetakan pasta semen. Semen dan air menempati volume besar dari reaksi di antara keduanya, dan susut pasta semen murni kira-kira 0,6% sewaktu beberapa jam pertama setelah pencampuran. Hal ini nampak seperti turunnya adukan beton di dalam cetakan, dan umumnya tidak menyebabkan retakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi susut plastik antara lain suhu udara, kelembaban relatif, dan kecepatan angin. Susut plastik terjadi beberapa jam setelah beton dicor ke dalam cetakan.

2) Susut Pengeringan (*Drying Shrinkage*)

Susut kering merupakan susut yang terjadi pada saat beton mengeras sebagai akibat air bebas yang menguap dari pori-pori kapiler. Susut pengeringan pada beton (yang selanjutnya disebut susut beton) terjadi setelah penempatan beton, yang diletakkan di tempat dengan kelembaban udara kurang dari 100% (*unsaturated air*). Hal ini disebabkan oleh terjadinya susut pengeringan pada pasta semennya (terjadi kehilangan uap air karena penguapan). Besarnya susut beton berkurang cepat dengan bertambahnya waktu dan banyak dipengaruhi oleh kelembaban udara. Dengan tingkat kelembaban udara yang

berbeda, akan memberikan pengaruh susut beton yang berbeda pula. Susut pengeringan besarnya beberapa kali lebih besar daripada pengembangan beton yang jenuh (kelembaban 100%).

3) Susut Pengarbonisasian (*Carbonation Shrinkage*)

Susut pengarbonisasian pada beton terjadi akibat dari senyawa CO_2 yang ada di udara bereaksi dengan mineral semen yang terhidrasi dalam keadaan udara lembab. Pada daerah lembab gas CO_2 membentuk asam karbonat yang akan bereaksi dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan membentuk CaCO_3 , sedangkan komponen semen yang lain akan terurai. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya susut dari proses karbonasi tersebut. Hampir semua data yang didapat dalam pengujian susut beton sudah mencakup susut akibat pengarbonisasian.

4) Susut Alamiah (*Autogenous Shrinkage*)

Susut alamiah disebut juga susut kimia, adalah susut yang disebabkan oleh berkurangnya air pori karena dikonsumsi semen untuk proses hidrasi sehingga menyebabkan naiknya tegangan pori. Susut alamiah yang merupakan hasil pengeringan sendiri terjadi dengan mekanisme sebagai berikut :

- Air berkurang secara terus menerus dari ukuran pori yang besar agar reaksi hidrasi terjadi dan hal ini merupakan proses pengeringan sendiri.
- Kelembaban pori berkurang pada hidrasi beton
- Ukuran pori mengecil, tegangan air meningkat dan dapat menimbulkan tegangan tarik yang dapat memicu terjadinya susut pada pasta semen.

Sebagai akibat dari proses ini, kelembaban relatif dari beton turun dan di dalam pori-pori kapiler timbul tegangan, tegangan pori ini disebabkan oleh adanya gaya kapiler. Gaya kapiler ini menarik dinding-dinding pori sehingga beton akan mengalami penyusutan. Susut alamiah dapat terjadi juga pada benda uji yang tidak mengalami proses penguapan.

2.2.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Besarnya Susut (*Shrinkage*)

Menurut (Edward G. Nawy, 2001) faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya susut adalah :

a. Semen atau Komposisi Semen

Sifat-sifat semen sebenarnya mempunyai pengaruh yang kecil terhadap susut pada beton. Kehalusan butir semen mempunyai efek pengekanan yang sama dengan bahan batuan terhadap susut beton. Semen yang kapurnya kurang baik dapat menimbulkan susut yang besar. Susutan beton yang dibuat dari semen aluminium kadar tinggi (*aluminous cement*) besarnya sama dengan jika menggunakan semen biasa (*portland cement*), hanya saja terjadi penyusutan lebih cepat.

b. Rasio Air Semen

Semakin tinggi rasio air semen, maka semakin tinggi pula susut yang terjadi pada beton.

c. Agregat

Sifat fisis dari agregat sangat berpengaruh dalam proses susut. Hal ini disebabkan karena kenyataan bahwa agregat dapat memperkuat pasta semen dan menahan penyusutan beton. Beton dengan modulus elastisitas tinggi atau dengan permukaan kasar akan lebih dapat menahan proses susut. Selain itu, derajat pengekanan suatu beton ditentukan juga oleh jumlah agregat dalam adukan beton. Semakin banyak jumlah agregat dalam adukan beton, semakin kecil pula kemungkinan terjadinya proses susut pada beton itu sendiri. Beton dengan *workability* rendah yang mengandung banyak agregat ternyata memberikan susutan yang rendah dibandingkan dengan beton dengan *workability* tinggi.

d. Jumlah Kandungan Air dalam Adukan Beton

Jumlah kandungan air dalam adukan beton mempengaruhi besarnya susut, yaitu mengurangi volume beton yang terkekang. Susut beton diketahui berbanding lurus dengan jumlah kandungan air dalam adukan beton. Dengan demikian jumlah air yang digunakan dalam campuran beton sebaiknya sebanyak yang dibutuhkan guna mencapai *workability* serta konsistensi yang diinginkan (pengadukan, pencetakan, dan pemadatan). Air berfungsi untuk

membuat campuran menjadi plastis seperti yang dibutuhkan oleh campuran beton itu sendiri.

e. Rawatan Keras Beton

Susut umumnya berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Tetapi sebagian dari waktu yang panjang tersebut, susut yang terjadi mungkin disebabkan oleh adanya proses pengarbonisasian beton. Besarnya susutan bertambah sesuai dengan berjalannya waktu.

f. Nilai Banding Antara Volume dan Muka Beton

Ukuran beton (dimensi) mempengaruhi besarnya susut pada beton. Karena susut disebabkan oleh penguapan kebasahan muka beton, maka beton yang mempunyai nilai banding antara volume / muka rendah akan mempunyai susutan-susutan lebih besar dan lebih cepat dibandingkan dengan beton yang mempunyai nilai banding tinggi.

g. Ukuran elemen beton

Baik laju maupun besar total susut berkurang apabila volume elemen beton semakin besar. Namun durasi susut akan lebih lama untuk komponen struktur yang lebih besar karena lebih banyak waktu yang dibutuhkan dalam pengeringan untuk mencapai pengeringan daerah dalam. Mungkin saja satu tahun dibutuhkan untuk proses pengeringan pada kedalaman 10 *in* dari permukaan yang diekspos, dan 10 tahun untuk mulai pada 24 *in* di bawah permukaan yang diekspos.

h. Bahan Tambah Adukan Beton

Bahan tambah digunakan untuk mengurangi penggunaan air dan mengekang air dalam adukan beton. Pemakaian bahan tambah jenis *polymer* menampakkan susutan 98%-112% dari beton terkontrol.

i. Kondisi Kelembaban Lingkungan Sekitar

Kondisi relatif pada lingkungan sekitar sangat mempengaruhi besarnya susut. Laju penyusutan lebih kecil pada kelembaban relatif yang lebih tinggi. Temperatur lingkungan juga merupakan faktor. Itu sebabnya susut menjadi stabil pada temperatur rendah.

2.2.4. Efek Susut (*Shrinkage*) Terhadap Kompatibilitas Dimensional

Gejala susut terjadi karena beton kehilangan kelembabannya yang disebabkan oleh penguapan ataupun digunakan untuk hidrasi semen. Dengan menguapnya air yang ada di dalam beton, menyebabkan betonnya menyusut. Adanya susut yang berlebihan pada struktur akan menyebabkan deformasi seiring bertambahnya umur beton. Pada beton bertulang susut yang terjadi dapat menimbulkan tegangan tekan pada baja dan tegangan tarik pada beton. Efek yang paling terlihat pada struktur yaitu timbulnya retak-retak pada struktur dalam jangka waktu yang relatif lama. Pengeringan penyusutan beton hanyalah sebagian dari reaksi semen sebagai partikel agregat yang tidak hanya mengencerkan tetapi sekaligus memperkuat ikatan terhadap kontraksi. Peran agregat disini membatasi jumlah penyusutan yang dapat terjadi. Hal ini tergantung pada banyaknya ikatan antara agregat dengan pasta semen.

Susut adalah parameter yang dapat digunakan untuk mengetahui kompatibilitas dimensi di dalam sistem reparasi (*repair material*). Hal ini sebagian besar dipengaruhi oleh komposisi bahan-bahan mencakup faktor lingkungan dan perbedaan modulus. Untuk perancangan suatu *repair material* yang efisien, dapat diketahui bahwa bahan *repair* harus memiliki nilai modulus lebih besar (>30%) dibandingkan dengan beton induk. (K.E. Hasan, J.J. Brooks, L. Al-Alawi, 2000).

Ditinjau dari susutnya, *repair material* memiliki kecenderungan untuk menyusut lebih besar dibandingkan dengan beton normal. Hal ini menimbulkan adanya perbedaan tegangan tarik pada sistem gabungan. Semakin tinggi tegangan tarik yang terjadi pada *repair material*, akan menyebabkan keretakan dan kegagalan pada sistem gabungan beton normal dengan *repair material*. Kompatibilitas antara *repair material* dengan beton normal sangat mempengaruhi keberhasilan dari perbaikan kedua sistem gabungan tersebut. Tidak hanya dengan menentukan kekuatan tekan, *repair material* harus dapat menunjukkan penyusutan rendah dan permeabilitas yang rendah, serta kompatibilitas dengan substrat beton untuk mempertahankan keawetan dari beton yang akan diperbaiki.

2.2.5. Kerusakan Pada Beton

a. Retak (*Crack*)

Retak pada beton biasanya dikarenakan proporsi campuran pada beton kurang baik. Retak merupakan kerusakan paling ringan yang terjadi pada beton.

Keretakan dibedakan menjadi retak struktur dan non-struktur. Retak struktur umumnya terjadi pada elemen struktur konstruksi bangunan, sedang retak non-struktur terjadi pada dinding bata atau dinding non-beton lainnya. Pada retak non struktur dapat terjadi karena beberapa sebab, diantaranya proporsi campuran beton kurang baik, umur bangunan, cuaca, efek panas yang berlebihan, reaksi kimia dan susut. Sedangkan penyebab retak pada struktur sama dengan retak non-struktur tapi retak pada struktur juga terjadi karena gempa, kebakaran dan korosi pada struktur beton.

b. Terlepasnya bagian beton (*Spalling*)

Spalling atau terlepasnya bagian beton merupakan jenis kerusakan beton yang sering terjadi pada bangunan beton dan biasanya kurang diperhatikan dalam pembuatan campurannya. Kerusakan ini terjadi karena campuran beton yang kurang homogen dan juga faktor umur beton. Oleh karena itu metode perbaikan pada kerusakan *spalling*, tergantung pada besar dan dalamnya *spalling* yang terjadi.

c. Aus

Aus merupakan jenis kerusakan beton yang sering terjadi pada bangunan. Kerusakan jenis ini biasanya kurang diperhatikan karena tingkat kerusakan yang sulit diprediksi. Kerusakan ini juga disebabkan karena umur beton yang sudah terlalu lama, kebakaran, reaksi kimia dan sebagainya.

d. Patah

Patah yang terjadi pada beton biasanya dikarenakan struktur beton yang tidak mampu untuk menahan beban. Kerusakan ini bisa terjadi karena pada saat pembuatan campuran beton (*mix design*) kurang diperhatikan proporsi yang digunakan. Sebelum pembuatan campuran beton harus menghitung beban-

beban yang akan menimpa struktur beton tersebut agar patah pada beton tidak terjadi.

e. Keropos

Keropos merupakan jenis kerusakan yang disebabkan salah satunya karena umur beton yang terlalu lama. Kerusakan ini biasanya kurang diperhatikan karena kerusakan terjadi pada bagian bangunan yang sulit dijangkau. Misalnya pada bagian bawah jembatan. Untuk itu agar tidak terjadi keropos ini karena reaksi kimia atau yang lain maka perlu diperhatikan pada saat pembuatan bangunan.

f. Delaminasi

Beton mengelupas sampai kelihatan tulangnya disebut *Delaminasi*. Kerusakan ini bisa terjadi pada konstruksi bangunan dikarenakan banyak sebab, diantaranya kegagalan pada pembuatan campuran, reaksi kimia, kelebihan beban dan sebagainya. Oleh karena itu perlu diperhitungkan agar kerusakan ini tidak terjadi pada konstruksi bangunan.

Penyebab kerusakan – kerusakan pada beton :

a. Pengaruh Mekanis

Beton dapat mengalami kerusakan karena adanya pengaruh mekanis, seperti : pengikisan permukaan oleh air, ledakan, gempa bumi dan pembebanan yang berlebihan. Kerusakan beton akibat pengaruh mekanis ini dapat bervariasi dari kerusakan permukaan sampai hancur berkeping-keping.

b. Pengaruh fisik

Pengaruh fisik yang dapat menyebabkan kerusakan pada beton antara lain pengaruh temperatur (panas hidrasi, kebakaran), susut dan rayap, pelepasan yang tidak sama dari pondasi atau perletakan.

c. Pengaruh kimia

Pengaruh kimia yang bisa merusak beton antara lain serangan asam karena semen portland dan semen campuran mempunyai ketahanan yang rendah terhadap asam. Pengaruh lain adalah serangan sulfat yang mana hampir semua sulfat dapat merusak pasta semen. Terjadinya korosi juga dapat menjadi penyebab kerusakan pada beton.

2.2.6. Metode Perbaikan Konstruksi Beton

Pemeliharaan dan perbaikan struktur beton setahap demi setahap berubah dari pemeliharaan skala kecil sampai pemeliharaan keseluruhan aktifitas bangunan. Berdasarkan analisis yang akurat maka penyebab kerusakan dapat dilakukan perbaikan. Pada struktur beton khusus dapat diterapkan pemeliharaan dan perbaikan yang berkaitan dengan pengamatan secara teknik perbaikan maupun material yang dipakai.

Penentuan metode dan material perbaikan umumnya tergantung pada jenis kerusakan yang ada, disamping besar dan luasnya kerusakan yang terjadi, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksanaan serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perbaikan. Metode dan bahan yang dipakai harus disesuaikan dengan kondisi kerusakan permukaan yang terjadi sehingga daya dukung konstruksi dapat dikembalikan sebagaimana semula sesuai dengan yang direncanakan tanpa penambahan kapasitas.

Berikut adalah penjelasan mengenai macam-macam metode perbaikan beton :

a. *Grouting*

Kerusakan *spalling* yang melebihi selimut beton, dapat digunakan metode *grouting*, yaitu metode perbaikan dengan melakukan pengecoran memakai bahan non-*shrink* mortar. Metode ini dapat dilakukan secara manual (gravitasi) atau menggunakan pompa. Material yang digunakan harus memiliki sifat mengalir dan tidak susut. Umumnya digunakan bahan dasar semen atau *epoxy*.

b. *Shot-crete* (Beton Tembak)

Apabila *spalling* yang terjadi pada area yang sangat luas, maka sebaiknya digunakan metode *Shot-crete*. Pada metode ini tidak diperlukan bekisting lagi

seperti halnya pengecoran pada umumnya. Metode *shotcrete* ada dua sistem yaitu *dry-mix* dan *wet-mix*. Pada sistem *dry-mix*, campuran yang dimasukkan dalam mesin berupa campuran kering, dan akan tercampur dengan air di ujung selang. Sistem ini sangat mudah dalam perawatan mesin *shotcretenya*, karena tidak pernah terjadi *blocking*. Pada sistem *wet-mix*, campuran yang dimasukkan dalam mesin berupa campuran basah, sehingga mutu beton yang ditembakkan lebih seragam. Sistem ini memerlukan perawatan mesin yang tinggi, apalagi bila sampai terjadi *blocking*. Pada metode *shotcrete*, umumnya digunakan *additive* untuk mempercepat pengeringan (*accelerator*), dengan tujuan mempercepat pengerasan dan mengurangi terjadinya banyaknya bahan yang terpantul dan jatuh (*rebound*).

c. *Grout Preplaced Agregat (Beton Prepack)*

Metode perbaikan lainnya untuk memperbaiki kerusakan berupa *spalling* yang cukup dalam adalah dengan metode *Grout Preplaced Agregat*. Pada metode ini beton yang dihasilkan adalah dengan cara menempatkan sejumlah agregat (umumnya 40% dari volume kerusakan) kedalam bekisting, setelah itu dilakukan pemompaan bahan *grout*, kedalam bekisting. Material *grout* yang umumnya digunakan adalah *polymer grout*, yang memiliki flow cukup tinggi dan tidak susut.

d. *Injeksi (injection)*

Injeksi (*injection*) adalah metode perbaikan beton dengan memasukkan bahan yang bersifat encer ke dalam celah atau retakan pada beton, kemudian menyuntikkannya dengan tekanan, sampai lubang atau celah lain telah terisi atau mengalir ke luar. Metode injeksi ini merupakan metode yang digunakan untuk perbaikan beton yang terjadi retak-retak ringan. Material yang digunakan adalah *polymer mortar* atau *polyurethane sealant* dan *epoxy*.

e. *Overlay*

Metode *Overlay* ini merupakan metode perbaikan beton yang terjadi *spalling* hampir keseluruhan pada permukaan beton. Oleh karena itu sebelum dilakukannya metode ini perlu persiapan-persiapan permukaan yang akan diperbaiki.

f. *Coating*

Perbaikan *coating* adalah melapisi permukaan beton dengan cara mengoleskan atau menyemprotkan bahan yang bersifat plastik dan cair. Lapisan ini digunakan untuk menyelimuti beton. terhadap lingkungan yang merusak beton. Metode ini tidak direkomendasikan karena dengan *coating* atau melapisi permukaan beton akan menyebabkan air dalam beton terperangkap atau tidak terjadi penguapan.

g. *Patching*

Untuk *spalling* yang tidak terlalu dalam (kurang dari selimut beton) dan area yang tidak luas, dapat digunakan metode *patching*. Metode perbaikan ini adalah metode perbaikan manual, dengan melakukan penempelan mortar secara manual. Untuk penjelasan lebih rinci mengenai *patch repair* dapat dilihat pada **sub subbab 2.2.7.**

h. *Jacketing*

Jacketing adalah perlindungan beton terhadap kerusakan dengan menggunakan bahan selubung yang berupa baja, karet dan beton komposit. Pekerjaan *jacketing* bisa dilaksanakan untuk permukaan beton yang mengalami pelapukan atau disintegrasi.

2.2.7. Metode Patch Repair

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Patch Repair* atau sering disebut juga dengan metode penambalan. Metode ini merupakan metode perbaikan manual, dengan melakukan penempelan mortar secara manual. Pada saat pelaksanaan yang harus diperhatikan adalah penekanan pada saat mortar ditempelkan, sehingga benar-benar didapatkan hasil yang padat. Material yang digunakan harus memiliki sifat mudah dikerjakan, tidak susut dan tidak jatuh setelah terpasang terutama untuk pekerjaan perbaikan *overhead*. Umumnya yang dipakai adalah monomer mortar, *polymer* mortar dan epoxy mortar.

Permukaan beton yang akan diperbaiki atau diperkuat perlu dipersiapkan, dengan tujuan agar terjadi ikatan yang baik, sehingga material perbaikan atau perkuatan dengan beton lama menjadi satu kesatuan. Permukaan beton yang akan diperbaiki atau diperkuat, harus merupakan permukaan yang kuat dan padat, tidak ada keropos ataupun bagian lemah lainnya (kecuali bila menggunakan metode injeksi untuk mengisi celah keropos), serta harus bersih dari debu dan kotoran lainnya.

Pekerjaan persiapan permukaan beton dapat dilakukan dengan cara :

a). *Erosion* (pengikisan)

Erosion dilakukan untuk meratakan atau pengasaran permukaan beton. Pengikisan dilakukan dengan menggunakan gerinda atau sejenisnya yang dapat untuk meleakukan pekerjaan tersebut.

b). *Impact* (kejut)

Impact pada permukaan beton yang akan diperbaiki gunanya untuk mendapatkan nilai kuat tarik dan kuat tekan beton yang lebih baik.

c). *Pulverization* (menghancurkan permukaan beton)

Penghancuran ini dilakukan dengan cara menabrakan partikel kecil dengan kecepatan yang tinggi ke permukaan beton.

d). *Expansive pressure*

Persiapan ini bisa dilakukan dengan dua cara yaitu *Steam* dan *Water*. *Steam* dilakukan dengan temperatur sumber panas yang tinggi. Sedangkan cara *Water* dilakukan menggunakan *water jetting* yang bekerja dengan tekanan yang tinggi sama dengan cara *Steam*.

Permukaan yang sudah dipersiapkan, apakah harus dalam keadaan kering atau harus dijenuhkan terlebih dahulu sebelum dilakukan pelapisan berikutnya. Hal ini sangat tergantung pada material yang digunakan. Untuk material berbahan dasar semen atau *polymer*, permukaan beton harus dijenuhkan terlebih dahulu, tetapi bila material yang digunakan berbahan dasar *epoxy*, maka permukaan beton harus dalam keadaan kering.

Dalam pemilihan material *repair* biasanya dilakukan untuk mengetahui kinerja dari material yang akan diaplikasikan agar sesuai dengan yang dibutuhkan di lapangan. Adapun syarat-syarat sebagai *repair material*, yaitu:

- a. Daya lekat yang kuat.
- b. Modulus elastisitas yang mampu menahan *overstressing*.
- c. Tidak mengurangi kekuatan beton.
- d. Tidak menyusut.

Material beton yang akan digunakan harus diketahui respon pada saat kondisi layan beton. Pemilihan material *repair* yang akan diperlukan harus mempunyai hasil perbaikan yang tahan lama.

Ada beberapa material *patch repair* yang dapat digunakan, antara lain :

- a. *Portland Cement Mortar*.
- b. *Portland Cement Concrete*.
- c. *Microsilica-Modified Portland Cement Concrete*.
- d. *Polymer-Modified Portland Cement Concrete*.
- e. *Polymer-Modified Portland Cement Mortar*.
- f. *Magnesium Phosphate Cement Concrete*.
- g. *Preplaced Aggregate Concrete*.
- h. *Epoxy Mortar*.
- i. *Methyl Methacrylate (MMA) Concrete*.
- j. *Shotcrete*.

2.3. Modifier Polymer

Polymer adalah jenis bahan tambahan baru yang dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang sangat tinggi. Beton dengan kuat tekan tinggi ini biasanya diproduksi dengan menggunakan bahan *polymer* dengan cara memodifikasi sifat beton dengan mengurangi air di lapangan, dijenuhkan dan dipancarkan pada temperatur yang sangat tinggi di laboratorium.

Dalam penelitian ini, modifier *polymer* yang digunakan adalah emulsi *polymer* produk dari PT. Brataco (Resin Bening). *Polymer* merupakan komponen yang mempunyai daya rekat yang sangat tinggi antara beton normal dengan *repair material* serta memiliki sifat permeabilitas yang rendah. Namun sering kali tidak kompatibel dengan beton normal, sehingga menghasilkan kegagalan di awal perbaikan.

Polymer secara substansial meningkatkan kualitas mortar semen, seperti :

- a. *Patching* lapisan beton dengan *repair material*
- b. Perbaikan beton dengan mortar
- c. Lapisan tahan abrasi
- d. Memiliki kekuatan awal tinggi
- e. Kuat tekan, tarik dan lentur tinggi
- f. Memiliki ketahanan kimia yang cukup baik
- g. Tahan air
- h. Dapat mengurangi terjadinya penyusutan

Modifikasi *polymer* dalam campuran *repair material* dapat meningkatkan kekuatan tarik dan lentur pada komposit beton normal dengan mortar serta dapat mengurangi sifat rapuh. Selain variabel yang mempengaruhi sifat-sifat adukan dan beton biasa, sifat beton dan adukan yang baru dan hasil modifikasi *polymer* yang diperkeras dipengaruhi oleh berbagai macam faktor seperti jenis *polymer*, rasio antara *polymer* dengan semen, rasio air dengan semen, kandungan air dengan kondisi perawatan. Penambahan *polymer* pada *repair material* akan memperkuat ikatan antara *repair material* dengan beton pada saat proses pelapisan atau penambalan.

2.3.1 Efek *Polymer* Terhadap Sifat Penyusutan Mortar

Polymer merupakan bahan yang dapat ditambahkan dalam campuran repair mortar, karena *polymer* mempunyai sifat *deformable* saat diaplikasikan di lapangan. Selain itu dengan kelekatan yang cukup bagus, *polymer* dapat menyatu

dan menyesuaikan bentuk dengan beton induk yang akan di *patch repair*. Bahan *polymer* yang terkandung di dalam campuran *repair material* diharapkan mampu memodifikasi kelemahan komposit beton normal dengan *repair mortar* khususnya mengurangi terjadinya retak akibat susut terkekang pada komposit beton normal dengan *repair mortar*.

2.4. Hubungan Antara Susut dan Rangkak

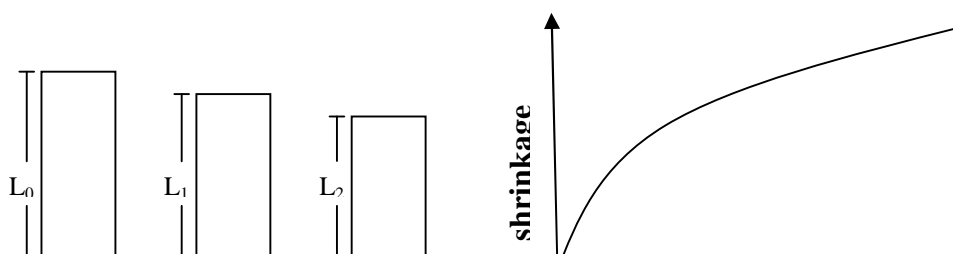
Pada umumnya proses susut selalu dihubungkan dengan rangkak karena keduanya terjadi bersamaan dan seringkali memberikan pengaruh yang sama, yaitu deformasi yang bertambah sesuai dengan berjalannya waktu. Selain itu, faktor-faktor yang mempengaruhi rangkak juga mempengaruhi susut, khususnya faktor-faktor yang berhubungan dengan hilangnya kelembapan.

Oleh karena itu didalam penelitian ini, untuk mengetahui besarnya rangkak juga dilakukan percobaan tentang susut, karena total deformasi yang terjadi merupakan kombinasi dari nilai susut dan rangkak.

Sehingga untuk mengetahui besarnya susut maka total deformasi yang terjadi harus dikurangkan dengan besarnya rangkak yang didapatkan dari hasil percobaan.

Susut (*shrinkage*) merupakan perubahan volume mortar yang tidak dipengaruhi oleh beban, susut disebabkan oleh hilangnya air karena evaporasi atau karena hidrasi semen, bisa juga karena karbonasi. Satuan susut adalah mm per mm (bisa juga in per in), tetapi biasanya dikenal dalam satuan *micron* (10^{-6}).

Pengukuran susut pada mortar repair dilakukan dengan cara membandingkan antara selisih panjang awal dengan panjang akhir benda uji. Lebih jelasnya akan disajikan Tabel dan Gambar yang mengilustrasikan hubungan antara penyusutan terhadap waktu berikut:



Gambar 2.1. Hubungan Susut terhadap Waktu

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya umur beton maka peningkatan susut semakin kecil. Selanjutnya perhitungan perubahan panjang disajikan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1. Perhitungan Perubahan Panjang

| Waktu | Panjang | $\Delta L = L_{0s} - L_{ts}$ | <i>Shrinkage</i> |
|-------|---------|------------------------------|-------------------------|
| t_0 | L_0 | 0 | 0 |
| t_1 | L_1 | $L_0 - L_1$ | $\frac{L_0 - L_1}{L_0}$ |
| t_2 | L_2 | $L_0 - L_2$ | $\frac{L_0 - L_2}{L_0}$ |

dengan :

L_{0s} = panjang susut awal hari (μm)

L_{ts} = panjang susut pada t waktu hari (μm)

ΔL = Perubahan panjang susut setelah t waktu hari (μm)

Untuk menghitung susut (*shrinkage*) digunakan persamaan 2.1

$$\varepsilon_{sh} = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan :

ε_{sh} = Nilai *shrinkage* (*microstrain*)

ΔL = Perubahan panjang susut setelah t waktu hari (mm)

L_0 = Panjang mula-mula (mm).

Dari rumus diatas besarnya rangkai dapat dihitung dengan persamaan 2.2

$$\varepsilon_{cr} = (\Delta L / L_0)_{cr} - \varepsilon_{sh} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan :

ε_{sh} = Nilai *shrinkage*.

ε_{cr} = Besarnya nilai *creep*.

ΔL = Perubahan panjang setelah t waktu (mm).

L_0 = Panjang mula-mula (mm).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Uraian Umum

Metode penelitian adalah langkah-langkah atau cara-cara penelitian suatu masalah, kasus, gejala, atau fenomena dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban yang rasional. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yaitu dengan mengadakan suatu percobaan secara langsung untuk mendapatkan suatu data atau hasil yang menghubungkan antara variabel-variabel yang diselidiki. Metode eksperimental dapat dilakukan di dalam maupun di luar laboratorium. Penelitian ini dilakukan di dalam Laboratorium Bahan dan Struktur Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UNS Surakarta.

Penelitian ini dilakukan dengan mengadakan suatu pengujian pengaruh susut terhadap kompatibilitas dimensional antara beton normal - *repair material* dengan bahan tambah *polymer*. Adapun penelitian yang dilakukan adalah mengamati besarnya susut yang terjadi pada komposit beton normal dengan *repair material* yang tidak disebabkan oleh pembebanan.

Eksperimen yang dilakukan yaitu pengujian pada sampel komposit beton normal dengan *repair* material terhadap nilai *shrinkage* dan dilakukan tanpa perawatan (*curing*). Untuk data nilai *shrinkage*, dilakukan pengamatan terhadap perubahan panjang sampel setelah sampel tidak diberi beban. Pengamatan dilakukan sesuai dengan umur rencana yaitu dimulai pada saat beton umur 1 hari sampai umur 84 hari.

Dalam penelitian ini pengamatan dilakukan selama 3 bulan dengan masing-masing sampel menggunakan perbandingan campuran semen dan pasir adalah 1 : 2 dengan faktor air semen 0,35 untuk mortar dan faktor air semen 0,51 untuk beton normal. Dari data yang diperoleh antara lain nilai susut dan rasio susut.

3.2. Bahan-Bahan Penyusun

3.2.1. Semen

Hasil uji vicat menunjukkan bahwa *Initial setting time* (waktu pengikatan awal) semen dengan faktor air semen 0,35 terjadi pada rentang waktu antara 75-90 menit. Hal ini memenuhi standar yang disyaratkan, yaitu antara 45-375 menit.

3.2.2. Agregat

Berdasarkan ukuran butirannya, agregat dibagi menjadi dua yaitu:

a) Agregat Halus (*fine agregat*)

Agregat Halus (*fine agregat*) merupakan agregat yang lolos ayakan 4,75 mm dan tertahan di atas ayakan 0,15 mm. Sebelum penelitian berlangsung dilakukan uji pendahuluan terhadap material yang digunakan. Hasil pengujian agregat halus adalah sebagai berikut :

- i) Pengujian gradasi dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran agregat halus. Apabila butir agregat mempunyai ukuran yang sama (seragam) maka volume pori akan besar. Namun, bila ukuran butirnya bervariasi maka volume pori akan kecil. Hal ini terjadi karena butir yang kecil akan mengisi pori diantara butir yang besar, dengan kata lain mempunyai kemampuan tinggi. Hasil uji gradasi menunjukkan bahwa modulus kehalusan pasir 2,448 telah memenuhi standar ASTM C-33 yaitu modulus kehalusan pasir yang memenuhi syarat sebesar 2.3-3.1.
 - ii) Pengujian kandungan zat organik merupakan pengujian untuk mengamati kandungan zat organik dalam agregat. Hasil pengujian kandungan zat organik menunjukkan bahwa zat organik yang terkandung dalam pasir cukup besar yaitu sekitar 10-20%. Hal ini tidak memenuhi syarat karena kandungan zat organik dalam pasir maksimum 5 %, maka pasir harus dicuci terlebih dahulu.
 - iii) Pengujian kandungan lumpur dalam pasir merupakan pengujian untuk mengetahui kadar lumpur dalam agregat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pasir mengandung lumpur sebanyak 3 %, Hal ini memenuhi syarat karena menurut standar PBI 1971 pasal 3.3 ayat 3, ditetapkan kandungan lumpur dalam pasir maksimum adalah 5%.
 - iv) Pengujian *specific gravity* merupakan pengujian untuk mengetahui berat jenis agregat tersebut. Nilai *specific gravity* untuk agregat normal antara 2,5–2,7. Hasil pengujian *specific gravity* menunjukkan bahwa pasir mempunyai *bulk specific gravity SSD* sebesar 2,63, tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh ASTM C.128-79.
- b) Agregat Kasar (*coarse agregat*)
- Pada penelitian ini menggunakan batu pecah berukuran 10 mm. Agregat kasar adalah agregat dengan besar butir lebih dari 4,75 mm. Hasil pengujian agregat kasar:
- i) Pengujian gradasi dilakukan untuk menentukan distribusi ukuran butir dari agregat kasar (*split*). Uji gradasi menunjukkan bahwa modulus halus kerikil adalah 6,32. Hal ini telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh ASTM C.33-84 yaitu 5-8.

- ii) Pengujian *specific gravity* merupakan pengujian untuk mengetahui berat jenis agregat tersebut Hasil pengujian *specific gravity* kerikil sebesar 2,54, telah memenuhi syarat yang ditetapkan oleh ASTM C.127-81 yaitu *specific gravity* agregat kasar antara 2,5-2,7.
- iii) Uji abrasi agregat kasar menunjukkan keausan kerikil yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 34,8 %, hal ini telah memenuhi syarat yang ditetapkan yaitu keausan agregat kasar maksimum adalah 50 %.

3.2.3. *Superplasticizer*

Superplasticizer ditambahkan dalam campuran mortar atau beton dalam jumlah tidak lebih dari 5% berat semen. Pemberian yang berlebihan selain tidak ekonomis juga akan menyebabkan penundaan *setting* yang lama sehingga mortar atau beton akan kehilangan kekuatan akhir. *Superplasticizer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sikament-NN yang berbentuk cairan sebanyak 2% dari berat semen untuk *repair material* nya. Penggunaannya sebanyak 2% dari berat semen karena pada waktu *trial*, proporsi tersebut sudah dapat memenuhi *workability* mortar atau mortar sudah sangat *workable*.

3.2.4. *Accelerator*

Accelerator adalah bahan tambahan yang dicampurkan pada adukan mortar selama pengadukan dalam jumlah tertentu yang berfungsi untuk mempercepat pengikatan dan pengerasan awal mortar, digunakan untuk pengecoran yang berhubungan dengan air/efisiensi waktu pemakaian cetakan.

Kelebihan *accelerator* perlu dihindari karena dapat menyebabkan kesulitan *placement* dan akan merusak sebab terjadi *setting* yang cepat, susut pengeringan bertambah, korosi pada tulangan dan kekuatan pada umur lanjut dapat berkurang. *Accelerator* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sikaset yang berbentuk cairan sebanyak 5% dari berat air untuk *repair material* nya. Penggunaannya

sebanyak 5% dari berat air karena pada waktu *trial*, proporsi tersebut sudah dapat memenuhi *workability* mortar.

3.2.5. *Polymer*

Polymer adalah jenis bahan tambahan baru yang dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan yang sangat tinggi. *Polymer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah emulsi *polymer* produk dari PT. Brataco (Resin Bening). Berdasarkan pengujian *trial mix* penelitian ini menggunakan *polymer* dengan variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% dari berat semen.

3.2.6. *Emaco Nanocrete R4* (BASF)

Emaco Nanocrete R4 BASF merupakan produk mortar siap pakai. Untuk penggunaan 25 kilogram *Emaco Nanocrete* diperlukan air sebanyak 3,8 - 4,2 liter.

3.3. **Alat-Alat Pengujian**

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Timbangan

- 1) Neraca merk Murayama Seisakusho Ltd Japan, dengan kapasitas 5 kg, ketelitian sampai 0,10 gram, digunakan untuk mengukur berat material yang berada dibawah kapasitasnya.
- 2) Timbangan “*Bascule*” merk DSN Bola Dunia, dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 0,1 kg.

b. Ayakan dan mesin penggetar ayakan

Ayakan baja dan penggetar yang digunakan adalah merk “*Controls*” Italy dengan bentuk lubang ayakan bujur sangkar dengan ukuran lubang ayakan yang tersedia adalah 75 mm, 50 mm, 38.1 mm, 25 mm, 19 mm, 12.5 mm, 9.5 mm, 4.75 mm, 2.36 mm, 1.18 mm, 0.85 mm, 0.30 mm, 0.15 dan pan.

c. Oven merk “*Binder*”

Oven ini berkapasitas 300°C, 2200W, digunakan untuk mengeringkan material (pasir dan kerikil).

d. Corong konik/ *Conical mould*

Corong konik dengan ukuran diameter atas 3,8 cm, diameter bawah 8,9 cm, tinggi 7,6 cm, lengkap dengan alat penumbuk. Alat ini digunakan untuk mengukur keadaan SSD agregat halus.

e. Mesin Los Angeles

Mesin Los Angeles yang dilengkapi dengan 12 buah bola baja. Alat ini digunakan untuk menguji ketahanan aus (abrasi) dari agregat kasar.

f. Cetakan benda uji/ bekisting (silinder) ukuran 75 cm x 27,5 cm

g. Alat bantu

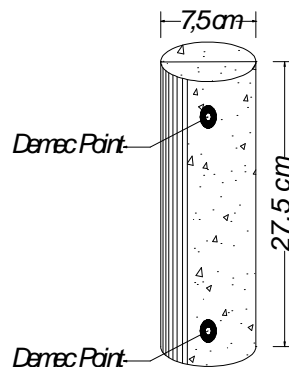
- 1) Cetok semen, digunakan untuk memasukkan adukan beton dan adukan *repair mortar* ke cetakan.
- 2) Gelas ukur kapasitas 1000 ml, digunakan untuk menakar air yang akan dipakai dalam adukan beton dan adukan *repair material*.
- 3) Ember untuk tempat air dan sisa adukan.

h. *Dial Gauge*

Dial gauge yang digunakan adalah merk mitutoyo dengan ketelitian 0,01 untuk mengamati susut pada mortar (*shrinkage*).

3.4. Benda Uji

Penelitian ini memakai benda uji berupa silinder dengan diameter 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm, disekelilingnya terdapat 2 pasang *demec point* dengan jarak 200 mm, seperti pada **Gambar 3.1** berikut :



Gambar 3.1. Sketsa Silinder Mortar

Benda uji yang digunakan ini, dibuat dengan faktor air semen pada beton 0,51 dan faktor air semen pada mortar 0,35 dan konsentrasi *polymer* yang berbeda-beda. Jenis benda uji dan proporsi bahan dasar yang digunakan selengkapnya disajikan dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1. Proporsi Campuran Benda Uji

| Kode campuran | Keterangan | Proporsi campuran |
|---------------|----------------------------------|---|
| BN | Beton Normal | Perbandingan semen : pasir : 1 : 2 Fas 0,51 |
| MB | Mortar Biasa | Perbandingan semen : pasir : 1 : 2 <i>Superplasticizer</i> 2% Fas 0,35 |
| MP – 0% | Mortar <i>Polymer</i> – 0% | Perbandingan semen : pasir : 1 : 2 <i>Superplasticizer</i> 2% Pengeras 5% Fas 0,35 |
| ENR | <i>Emaco Nanocrete R4</i> (BASF) | Produk BASF Repair Mortar (sesuai dengan petunjuk kemasan) |

| | | |
|---------|----------------------------|---|
| MP – 2% | Mortar <i>Polymer</i> – 2% | Perbandingan semen : pasir : 1 : 2 <i>Superplasticizer</i> 2% <i>Polymer</i> 2% Pengeras 5% Fas 0,35 |
| MP – 4% | Mortar <i>Polymer</i> – 4% | Perbandingan semen : pasir : 1 : 2 <i>Superplasticizer</i> 2% <i>Polymer</i> 4% Pengeras 5% Fas 0,35 |
| MP – 6% | Mortar <i>Polymer</i> – 6% | Perbandingan semen : pasir : 1 : 2 <i>Superplasticizer</i> 2% <i>Polymer</i> 6 % Pengeras 5% Fas 0,35 |

Benda uji ini merupakan komposit antara beton normal dan mortar, berbentuk silinder dengan ukuran yang sama, dan dengan berbagai variasi *polymer*. Macam benda uji selengkapnya disajikan dalam **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2. Macam Benda Uji

| Kode benda Uji | Komposit beton-repair material | Ukuran | Jumlah benda uji |
|----------------|--|-----------------------------|------------------|
| BN-MB | Gabungan Beton Normal-Mortar Biasa | Ø 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm | 3 |
| BN-MP 0% | Gabungan Beton Normal-Mortar <i>Polymer</i> 0% | Ø 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm | 3 |
| BN-ENR | Gabungan Beton Normal- <i>Emaco Nanocrete R4</i> | Ø 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm | 3 |
| BN-MP 2% | Gabungan Beton Normal-Mortar <i>Polymer</i> 2% | Ø 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm | 3 |
| BN-MP 4% | Gabungan Beton Normal-Mortar <i>Polymer</i> 4% | Ø 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm | 3 |

| | | | |
|---------------|--|-----------------------------|-----------|
| BN-MP 6% | Gabungan Beton Normal-Mortar <i>Polymer</i> 6% | Ø 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm | 3 |
| Jumlah | | | 18 |

3.5. Tahap-tahap Penelitian di Laboratorium

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap penelitian, dimulai dari pemilihan material mortar (semen, pasir, dan air), pengujian material, pembuatan benda uji yaitu mortar, pengujian benda uji, analisis data dan penarikan kesimpulan hasil penelitian. Adapun tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

a. Tahap Persiapan

Pada tahap ini seluruh bahan dan peralatan yang akan digunakan dipersiapkan terlebih dahulu agar penelitian dapat berjalan dengan lancar. Pembuatan cetakan atau *bekisting* benda uji juga dilakukan pada tahap ini. Peralatan yang perlu dipersiapkan antara lain adalah : semen, air, agregat halus, *accelerator*, *superplasticizer*, *polymer*, cetakan benda uji, dan peralatan penunjang lainnya.

b. Tahap Uji Bahan

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap bahan penyusun beton dan mortar yang meliputi semen dan pasir sebagai agregat halus. Dari pengujian-pengujian ini dapat diketahui apakah bahan yang akan digunakan untuk penelitian tersebut memenuhi syarat atau tidak. Pengujian untuk masing-masing bahan antara lain :

i) Semen

- Uji *vicat* yaitu untuk mengetahui waktu pengikatan awal suatu pasta semen (*initial setting time*) dari mulainya campuran pada kondisi

konsistensi normal sampai pasta kehilangan sebagian sifat plastis dan hubungannya dengan faktor air semen (FAS).

ii) Pasir

- Uji Kadar Lumpur bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur dalam pasir. Kandungan lumpur yang disyaratkan tidak boleh melebihi angka 5% dari total berat agregat.
- Uji Kadar Organik bertujuan untuk mengetahui jumlah kandungan zat organik dalam pasir. Semakin banyak kandungan organiknya maka semakin rendah kualitas agregat halus, begitupun sebaliknya.
- Uji Gradasi bertujuan untuk mengetahui susunan diameter butiran pasir dan prosentase modulus kehalusan butir (menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir dalam suatu agregat).
- Uji *Specific Gravity* bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat halus antara lain : *Bulk Specific Gravity*, *Bulk Specific Gravity SSD*, *Apparent Specific Gravity*, dan *Absorption*.

iii) Kerikil

- Uji Gradasi bertujuan untuk mengetahui susunan diameter butiran kerikil dan prosentase modulus kehalusan butir (menunjukkan tinggi rendahnya tingkat kehalusan butir dalam suatu agregat).
- Uji *Specific Gravity* bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat kasar antara lain : *Bulk Specific Gravity*, *Bulk Specific Gravity SSD*, *Apparent Specific Gravity*, dan *Absorption*.
- Uji Abrasi bertujuan untuk menentukan prosentase keausan agregat kasar.

c. Tahap Pembuatan Mix Design

Melakukan perencanaan pembuatan beton normal dengan FAS 0,51 dan mortar dengan acuan FAS yang diinginkan yaitu sebesar 0,35 yang berbahan tambah *polymer* dengan 3 variasi (2%; 4%; 6%) ditambah *superplasticizer* dan *accelerator*, mortar standar ditambah *superplasticizer*, mortar standar ditambah *superplasticizer* dan *accelerator*, dan *repair-mortar* dari pabrikan. Setelah rancangan campuran beton normal dan mortar didapatkan, selanjutnya dilakukan percobaan terhadap rancangan (*trial mix design*) agar diketahui

apakah rancangan yang telah dibuat bisa dikerjakan atau tidak. Jika *trial mix design* berhasil, maka data *mix design* tersebut dapat digunakan dalam perhitungan perencanaan pembuatan benda uji.

d. Tahap Pembuatan Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan pekerjaan sebagai berikut :

- i. Penetapan campuran adukan beton normal dengan *repair material*.
- ii. Pembuatan adukan beton normal dengan *repair material*.
- iii. Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan dua kali pembuatan. Campuran yang pertama adalah beton normal yang dicetak pada cetakan berbentuk setengah silinder sampai berumur 28 hari. Sedangkan campuran kedua adalah *repair material* yang dapat dilihat pada tabel proporsi campuran benda uji yang dibuat di sisi lain pada satu cetakan silinder.

e. Tahap Persiapan Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pemasangan *demec point* pada benda uji, masing-masing benda uji dipasang 1 pasang *demec point* dengan jarak 200 mm.

f. Tahap Pengujian Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan pengujian susut pada benda uji dengan alat *Dial Gauge*. Pengujian susut pada beton dan mortar dilakukan pada saat benda uji berumur 1 hari sampai 84 hari pada komposit beton normal dengan *repair material* setelah beton normal yang berumur 28 hari digabung. Selama pengujian susut berlangsung diamati seberapa besar perubahan panjang yang terjadi.

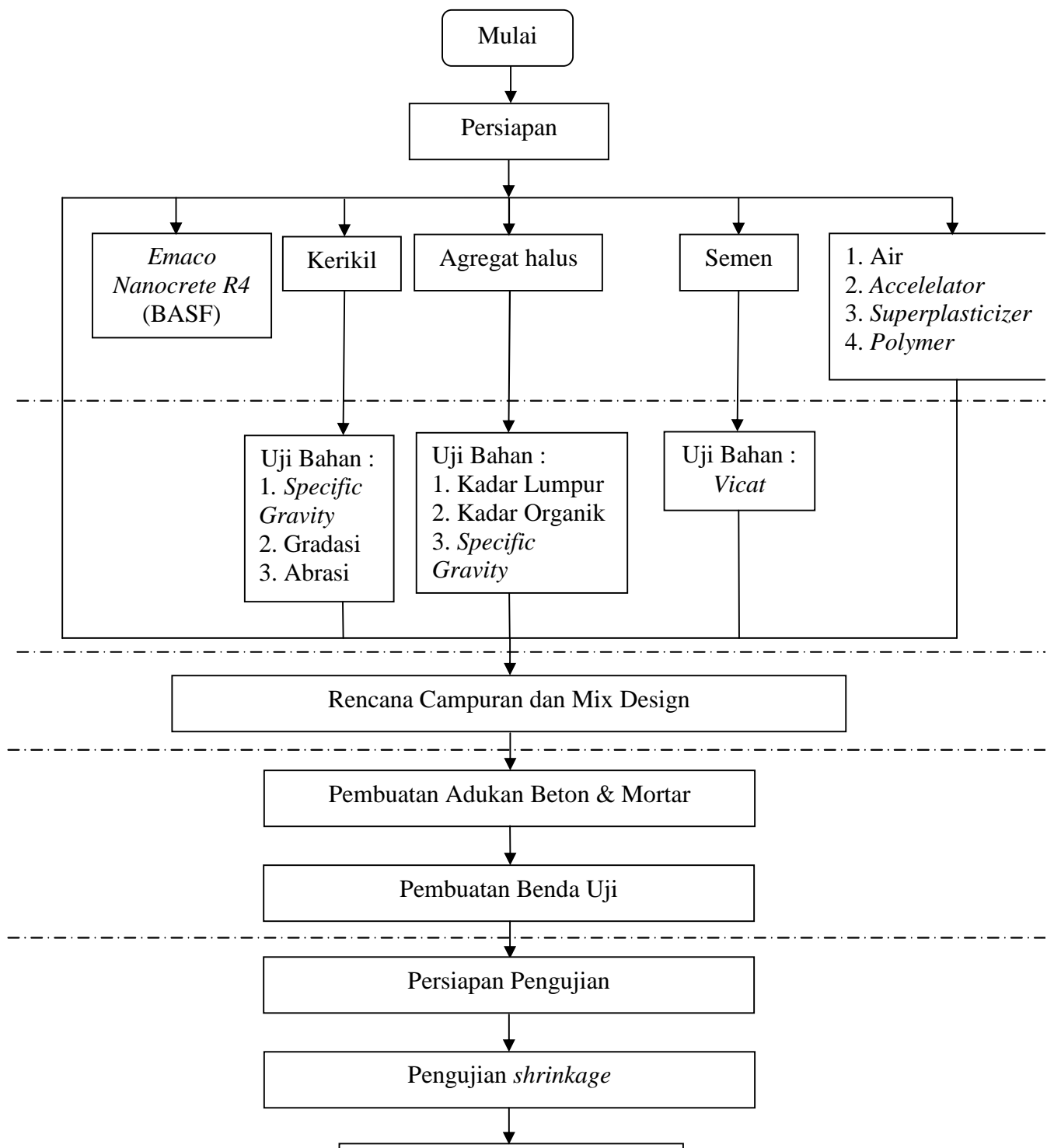
g. Tahap Analisa Data dan Pembahasan

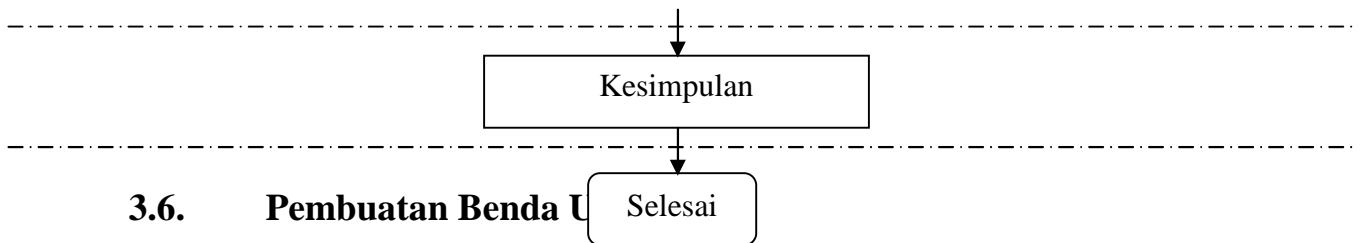
Pada tahap ini dilakukan perhitungan hasil dari pengujian benda uji, yaitu mengetahui kompatibilitas antara beton normal dengan *repair material* ditinjau dari perbedaan nilai susut dan rasio susut serta mengetahui besar pengaruh *polymer* pada benda uji.

h. Tahap Kesimpulan

Pada tahap ini, dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan pada tahap sebelumnya.

Untuk lebih jelasnya tahapan penelitian disajikan pada **Gambar 3.2** berikut ini





3.6. Pembuatan Benda Uji

3.6.1.

Gambar 3.2. Bagan Alir Tahap-tahap Penelitian

Pembuatan campuran adukan beton normal dilakukan setelah menghitung proporsi masing-masing bahan yang dipergunakan, kemudian mencampur dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Mengambil bahan-bahan pembentuk beton yaitu semen, kerikil dan pasir dengan berat yang ditentukan sesuai rencana campuran.
- Mencampur dan mengaduk semen, kerikil dan pasir sampai benar-benar homogen.
- Menambah air sedikit demi sedikit sesuai dengan jumlah faktor air semen yang telah ditentukan serta terus mengaduk campuran tersebut sehingga menjadi adukan beton segar yang homogen.
- Memasukkan adukan ke dalam cetakan (setengah silinder) yang telah dipersiapkan. Pada penelitian ini, bahan untuk cetakan silinder ukuran diameter 75 mm dan tinggi 275 mm adalah pipa paralon yang dipotong sesuai ukuran dan salah satu ujungnya ditutup oleh plastik kemudian diselotip. Melakukan pemadatan serta meratakan permukaan dengan sendok semen.
- Bekisting* atau cetakan dapat dibuka apabila pengerasan sudah berlangsung selama minimal setelah 24 jam.

3.6.2. Pembuatan *Repair Mortar*

Pembuatan campuran adukan *repair* mortar dilakukan setelah menghitung proporsi masing-masing bahan yang dipergunakan, kemudian mencampur dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mengambil bahan-bahan pembentuk *repair* mortar yaitu semen, pasir dan bahan tambah lain dengan berat yang ditentukan sesuai rencana campuran.
- b. Mencampur dan mengaduk semen, pasir sampai benar-benar homogen.
- c. Mencampur air (sesuai dengan fas yang direncanakan) dengan *accelerator* (5 % dari volume air) dan *superplasticizer* (2 % dari berat semen) ke dalam adukan semen dan pasir sedikit demi sedikit sambil mengaduk campuran tersebut hingga homogen.
- d. Setelah homogen, menambahkan *polymer* ke dalam campuran sesuai dengan variasi yang telah ditentukan.
- e. Memasukkan adukan *repair* mortar ke dalam cetakan yang telah terisi sebagian oleh beton normal sambil melakukan pemadatan. Permukaan adukan diratakan dengan sendok semen.
- f. *Bekisting* atau cetakan dapat dibuka apabila pengerasan sudah berlangsung selama minimal setelah 24 jam.

3.7. Prosedur Pengujian Susut (*Shrinkage*)

Dalam pengujian susut digunakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran Ø 7,5 cm dan tinggi 27,5 cm dan langkah-langkah pengujian susut mortar adalah sebagai berikut :

- a. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji ditimbang beratnya.
- b. *Setting* alat *Dial Gauge*, dimana digunakan nilai bar reference sebesar 4200 μ mm.
- c. Menempatkan *Dial Gauge* pada *demec point*.
- d. Kemudian pengujian siap dilakukan dengan membaca dan mencatat perubahan jarum pada angka yang ditunjukkan oleh *dial gauge* setelah jarum berhenti atau dalam keadaan stabil.
- e. Mengulangi pengukuran pada masing-masing *demec point* sebanyak 3 kali.
- f. Menghitung nilai susut beton dan *repair material*.

BAB 4

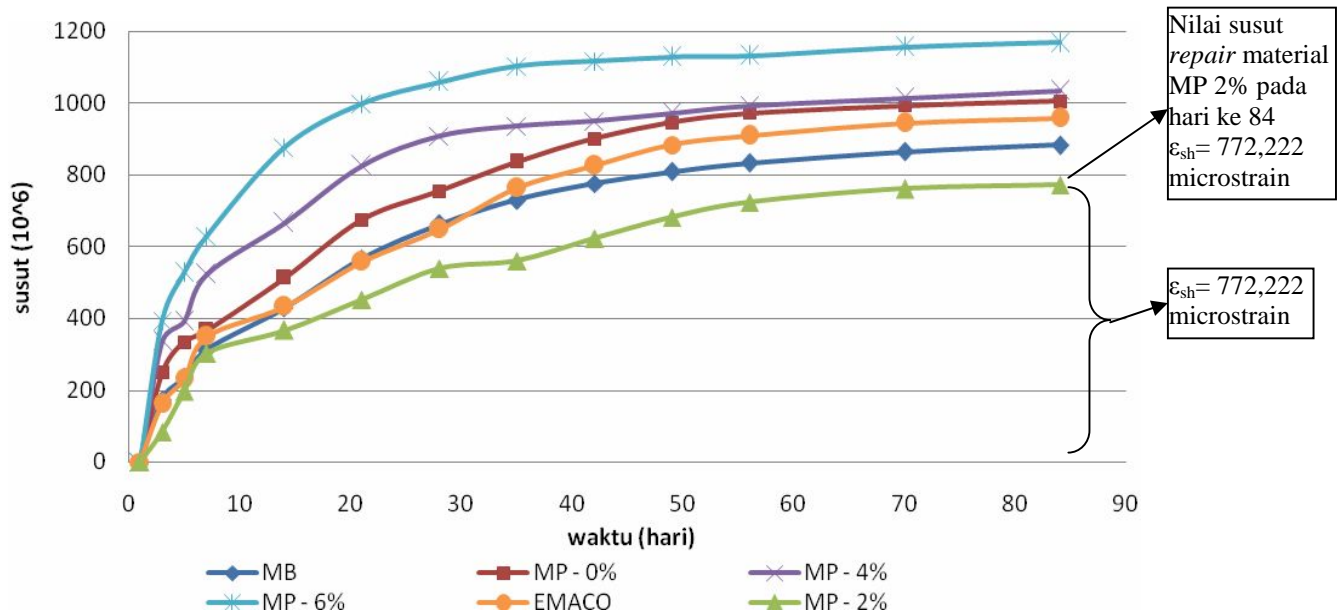
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Evaluasi Kompatibilitas Susut antara *Repair Material* dan Beton Normal

Kompatibilitas susut antara *repair material* dengan beton induk dapat dievaluasi dengan mengukur nilai susut yang terjadi pada kedua material tersebut ketika dipadukan. Pengukuran susut tersebut dimulai setelah *repair material* dicetak pada komposit setengah beton normal yang telah berumur 28 hari dan didiamkan selama 1 hari. Kemudian *repair material* dilepas dari cetakan dan dilakukan pengukuran susut. Pengujian shrinkage dilakukan pada umur pengeringan 1, 3, 5, 7, 10, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 70, dan 84 hari setelah beton di repair. Susut beton dan mortar didapat dari perhitungan antara selisih perubahan panjang dibagi panjang mula-mula.

4.1.1. Hasil Pengukuran Susut *Repair Material* dan Beton Normal

Hasil pengujian susut *repair material* dari benda uji komposit berbagai macam variasi didapatkan grafik nilai susut *repair material* seiring dengan waktu pada komposit beton normal – *repair material*, disajikan dalam **Gambar 4.1** sebagai berikut :

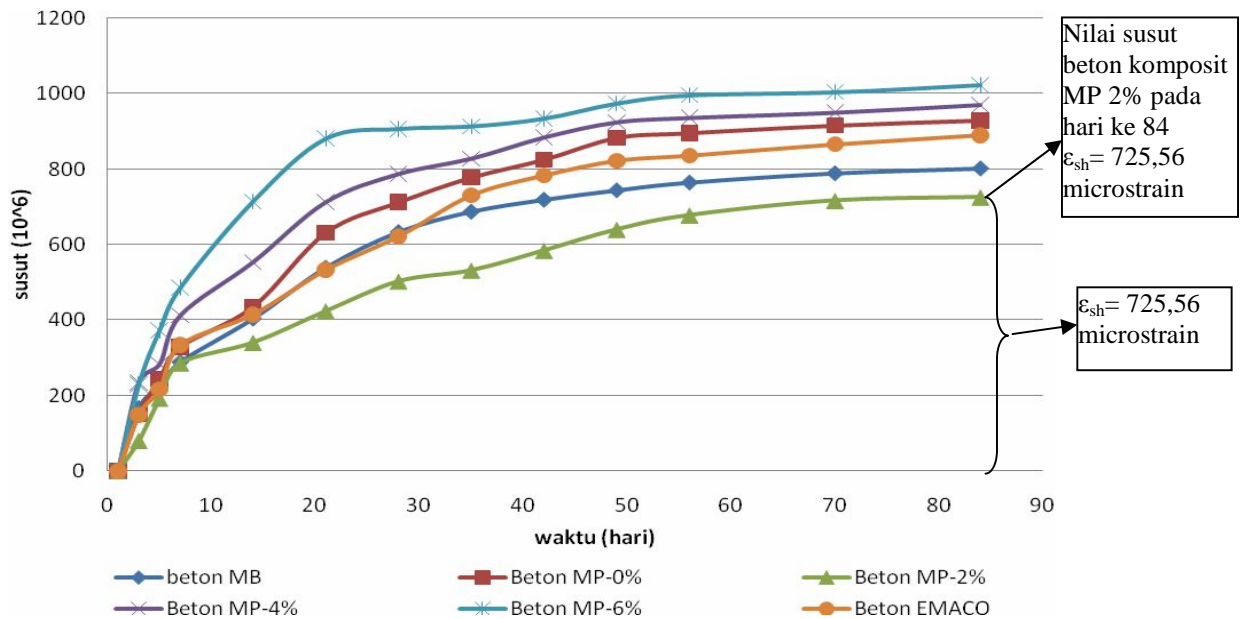


Gambar 4.1. Grafik Nilai Susut *Repair Material* Seiring dengan Waktu pada Komposit Beton Normal-*Repair Material*

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa susut *repair material* dengan bahan tambah *polymer* terutama dengan kadar 2 % mampu mengurangi susut secara signifikan dibandingkan dengan *repair material* dengan kadar *polymer* 6% maupun *repair material* yang berada dipasaran. Dalam penelitian ini menggunakan produk BASF Emaco Nanocrete R4.

Dalam penelitian ini nilai susut untuk mortar *polymer* 2% paling kecil yaitu 772,222 microstrain pada saat umur 84 hari dan mortar *polymer* 6% mengalami susut paling besar yaitu 1167,222 microstrain (saat umur 84 hari). Hal ini dapat dikatakan bahwa susut *repair material* dapat dipengaruhi dengan penambahan ataupun pengurangan variasi *polymer* dari hasil rancang campur.

Sedangkan untuk hasil pengujian susut beton normal dari data benda uji komposit didapatkan grafik nilai susut beton seiring dengan waktu pada komposit beton normal – *repair material*, disajikan dalam **Gambar 4.2** sebagai berikut :



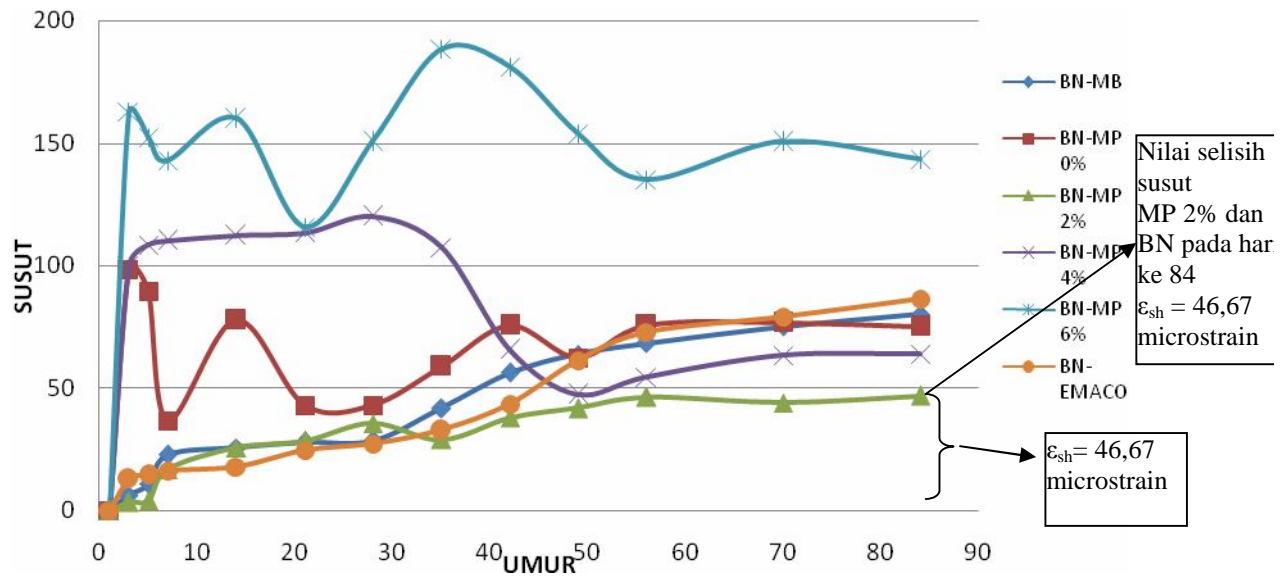
Gambar 4.2. Grafik Nilai Susut Beton Seiring dengan Waktu pada Komposit Beton Normal-*Repair Material*

Dapat dilihat dari **Gambar 4.2** bahwa susut beton normal yang telah digabung dengan *repair material*, nilainya terpengaruh susut *repair material* tersebut. Apabila beton normal digabung dengan *repair material* yang memiliki susut tinggi, maka penyusutan yang terjadi pada beton normal cenderung tinggi dan sebaliknya. Hal ini nampak pada penggabungan dengan mortar *polymer* 2% mengalami susut paling kecil yaitu 725,56 microstrain (saat umur 84 hari), sedangkan beton normal yang digabung dengan mortar *polymer* 6% mengalami susut paling besar yaitu 1023,89 microstrain (saat umur 84 hari).

4.1.2. Nilai Selisih Susut

Perbedaan susut pada beton dengan *repair material* dalam komposit beton-*repair material* dapat ditunjukkan dengan menghitung selisih susut yang terjadi, dimana susut pada *repair material* dikurangi susut beton normal.

Selengkapnya, selisih nilai susut beton dengan *repair material* pada berbagai macam komposit beton-*repair material* dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4.3. Grafik Nilai Selisih Susut *Repair Material* dan Beton Normal pada Komposit

Berdasarkan **Gambar 4.3** terlihat bahwa nilai selisih susut benda uji komposit beton normal-mortar *polymer* (BN-MP 6%) mempunyai nilai selisih paling besar yaitu 143,33 microstrain sedangkan benda uji komposit beton normal-mortar *polymer* 2% (BN-MP 2%) mempunyai nilai selisih paling kecil yaitu 46,67 microstrain. Nilai selisih akan semakin kecil pada komposit beton-*repair material* dengan kandungan *polymer* rendah. Semakin besar nilai selisih semakin tidak direkomendasikan untuk kompatibilitas dimensi. Dalam penelitian ini diharapkan sebaiknya antara *repair material*-beton normal mempunyai perubahan nilai susut yang sesuai agar didapatkan kesesuaian dimensi benda uji. Hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan selisih yang terjadi diantara keduanya.

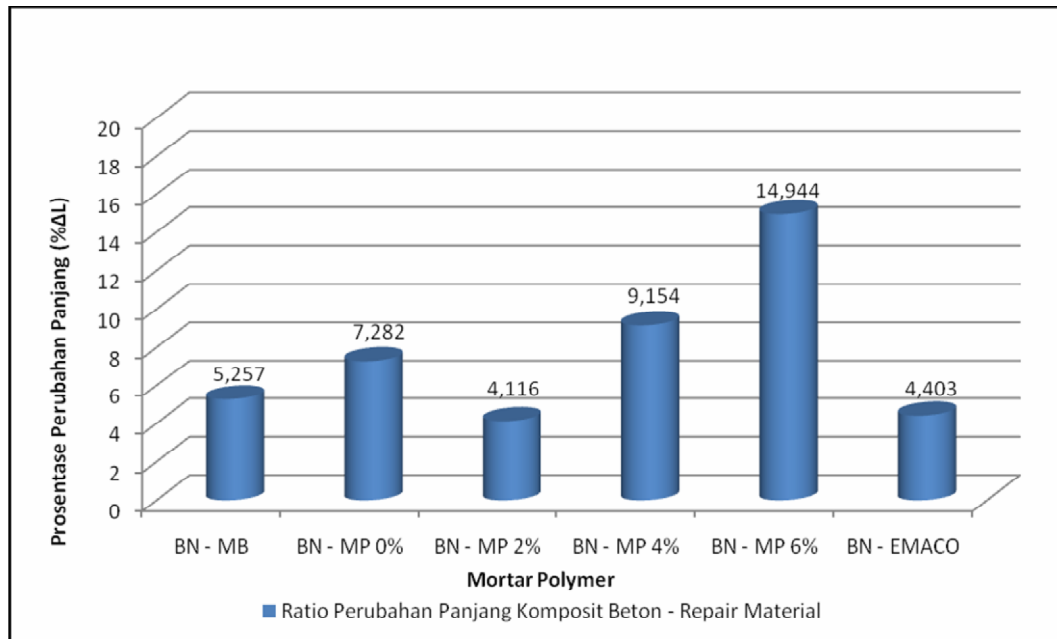
4.1.3. Rasio Susut *Repair Material* dengan Beton Normal sebagai Alat Ukur Kompatibilitas

Hasil pengukuran susut pada komposit beton normal-*repair material* menunjukkan bahwa nilai susut *repair material* lebih besar dibandingkan dengan nilai susut dari beton normal, sehingga dapat menjadi indikasi suatu permasalahan kesesuaian dimensi. Agar *repair material* bisa bekerja dengan beton normal, maka secara dimensi keduanya harus mempunyai kompatibilitas susut. Salah satu cara untuk menentukan kriteria kompatibel atau tidaknya susut antara *repair material* dengan beton induk adalah dengan mengkuilifikasikan nilai rasio berdasarkan prosentase perubahan panjang dari kedua material tersebut.

Untuk mengetahui nilai rasio susut *repair material* dengan beton normal dapat dicari dengan merelasikan besar perubahan panjang yang terjadi akibat adanya susut pada *repair material* dengan beton normal seperti tampak pada **Tabel 4.1**. Dari tabel tersebut dibuat grafik nilai rasio perubahan panjang pada komposit beton – *repair material* seperti pada **Gambar 4.4**. Dari Grafik tersebut dapat diketahui tingkat kesesuaian kompatibilitas dimensi antar *repair material* – beton normal akibat pengaruh susut.

Tabel 4.1. Prosentase Perubahan Panjang pada Komposit *Repair Material* – Beton Normal

| | Perubahan panjang (%) |
|------------|-----------------------|
| BN - MB | 5.257386888 |
| BN - MP 0% | 7.281698565 |
| BN - MP 2% | 4.115620214 |
| BN - MP 4% | 9.15425735 |
| BN - MP 6% | 14.94393199 |
| BN - EMACO | 4.403497814 |



Gambar 4.4. Grafik Nilai Rasio Perubahan Panjang pada Komposit *Repair Material* – Beton Normal

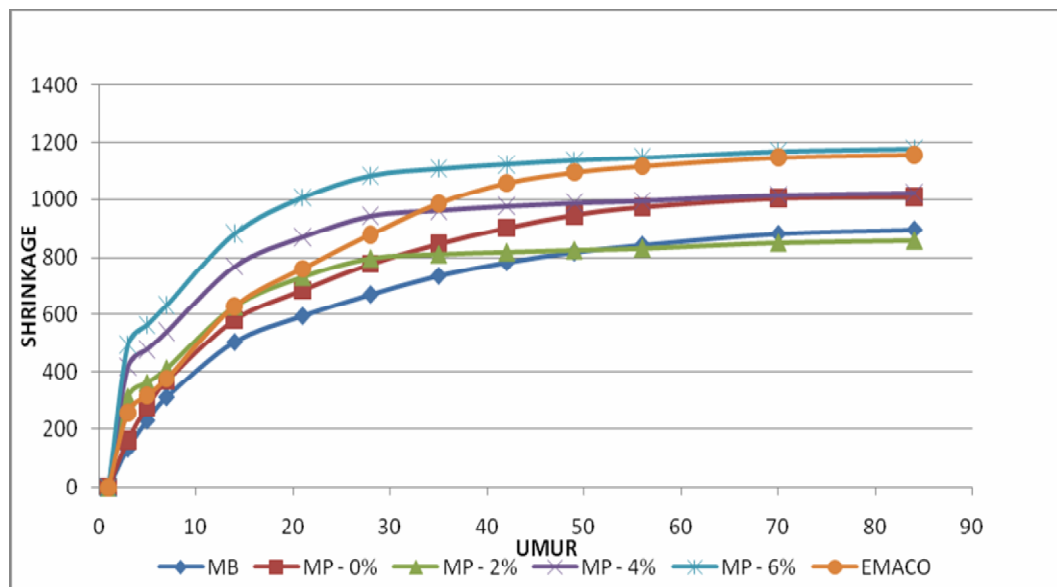
Dari **Gambar 4.4** dapat diketahui bahwa benda uji komposit beton normal-mortar *polymer* 6% (BN-MP 6%) mempunyai nilai rasio perubahan panjang paling besar yaitu 14,944%, sedangkan beton normal-mortar *polymer* 2% (BN-MP 2%) mempunyai nilai rasio perubahan panjang paling kecil yaitu 4,116%. Dalam hal ini rasio dengan nilai paling kecil menjadi suatu ukuran kompatibilitas. Nilai rasio dari beton normal-mortar *polymer* 2% (BN-MP 2%) mempunyai nilai paling kecil, hal ini menunjukkan bahwa *repair* tersebut memiliki kesesuaian dimensi yang paling baik dibandingkan dengan *repair* lainnya.

4.2. Metode untuk Mengevaluasi Kompatibilitas Susut antara Beton Normal dengan *Repair Material* Berdasarkan Nilai Susut Masing-masing

Kompatibilitas dimensi antara *repair material*-beton normal akibat pengaruh susut dapat juga ditinjau dari nilai susut dari kedua material tersebut. Secara teoritis, bila nilai susut *repair material* setara dengan susut beton normal, maka keduanya akan memiliki kesesuaian dimensi (kompatibel). Untuk mengetahui prediksi kompatibilitas antara beton normal dengan *repair material*, diperlukan analisis data dari sampel beton normal utuh dengan mortar utuh yang diperoleh berdasarkan nilai susut masing-masing.

4.2.1. Hasil Pengukuran Susut Mortar Utuh dan Beton Normal Utuh

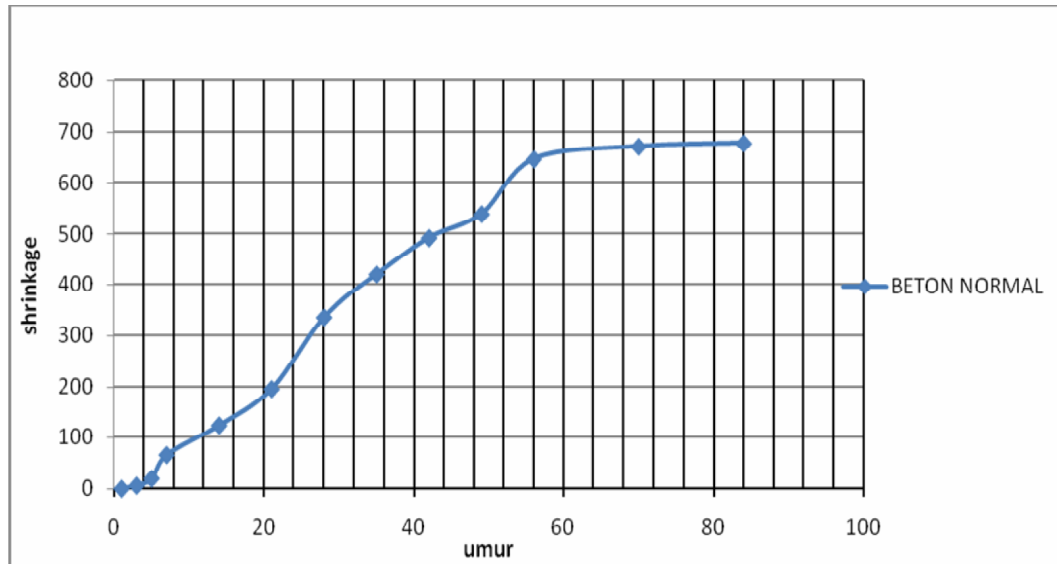
Hasil pengujian susut mortar utuh didapatkan grafik nilai susut mortar seiring dengan, disajikan dalam **Gambar 4.5** sebagai berikut :



Gambar 4.5. Grafik Nilai Susut Mortar Seiring dengan Waktu

Dari **Gambar 4.5** diatas dapat dilihat bahwa mortar *polymer* 2% mengalami susut paling kecil yaitu sebesar 860,694 microstrain (saat umur 84 hari), dan mortar *polymer* 6% mengalami susut paling besar saat umur 84 hari yaitu sebesar 1177,92 microstrain. Besarnya nilai susut pada mortar utuh harus lebih besar dibandingkan dengan susut mortar pada *repair material* ($M_U > M_K$).

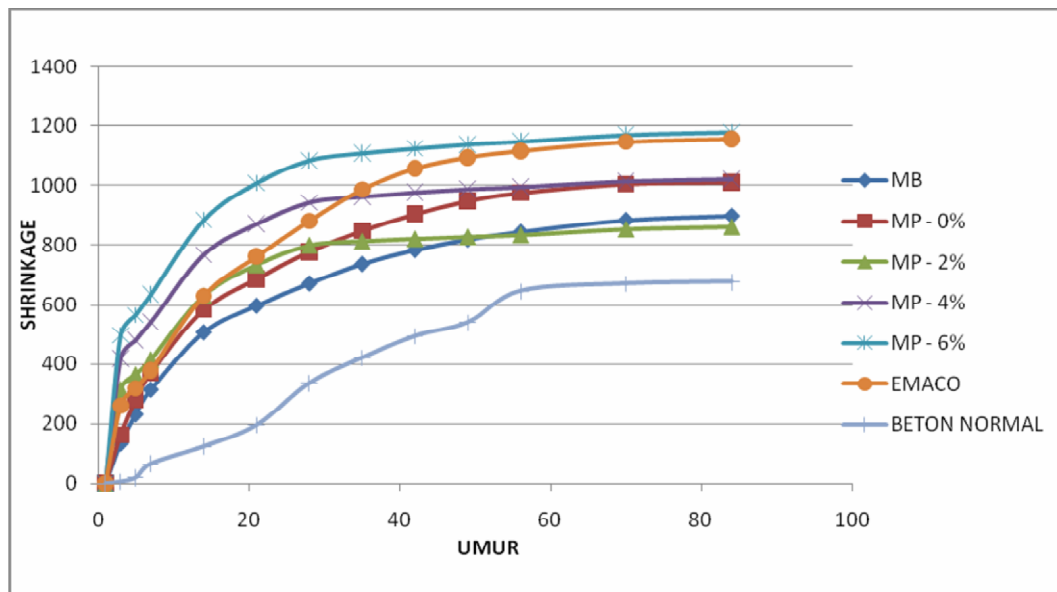
Hasil pengujian susut beton utuh dari data benda uji didapatkan grafik hubungan antara susut beton utuh dengan umur pembebanan, disajikan dalam **Gambar 4.6** sebagai berikut :



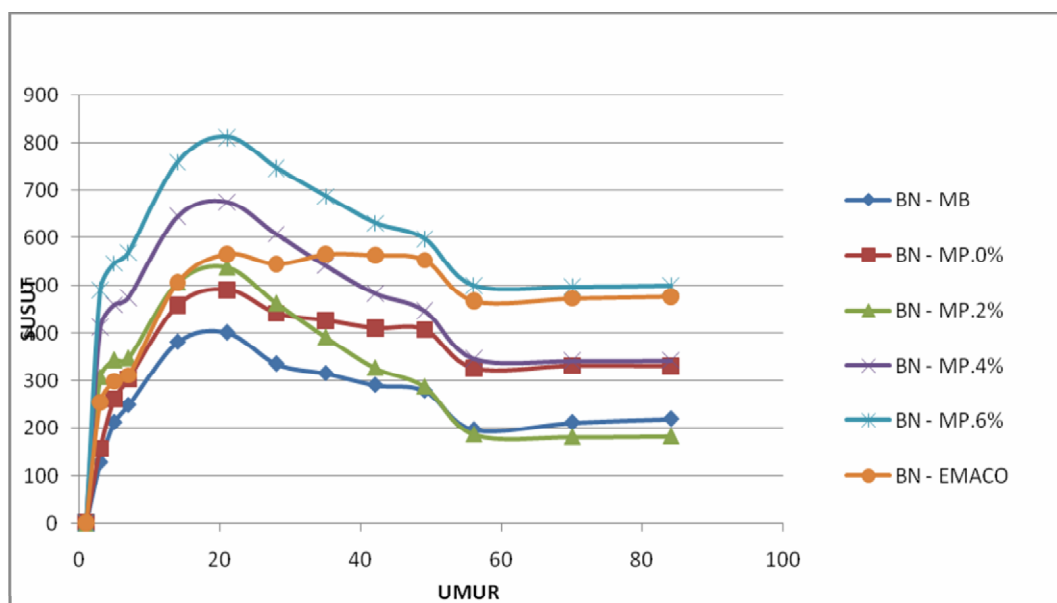
Gambar 4.6. Grafik Nilai Susut Beton Utuh Seiring dengan Waktu

Grafik di atas menunjukkan nilai susut yang terjadi pada beton utuh, pengamatan dilakukan sama seperti yang dilakukan pada mortar utuh dan dapat dilihat bahwa semakin lama umur, susut yang terjadi semakin kecil. Besar nilai susut pada beton utuh harus lebih kecil dari nilai susut beton pada komposit ($B_U < B_K$).

Dari **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** dapat diplot Grafik hubungan nilai susut mortar dengan beton utuh seiring dengan waktu seperti tampak pada **Gambar 4.7** Selanjutnya dari grafik tersebut dapat kita lihat nilai selisih susut antara mortar utuh dengan beton utuh (**Gambar 4.8**).



Gambar 4.7. Grafik Nilai Susut Mortar dan Beton Utuh Seiring dengan Waktu



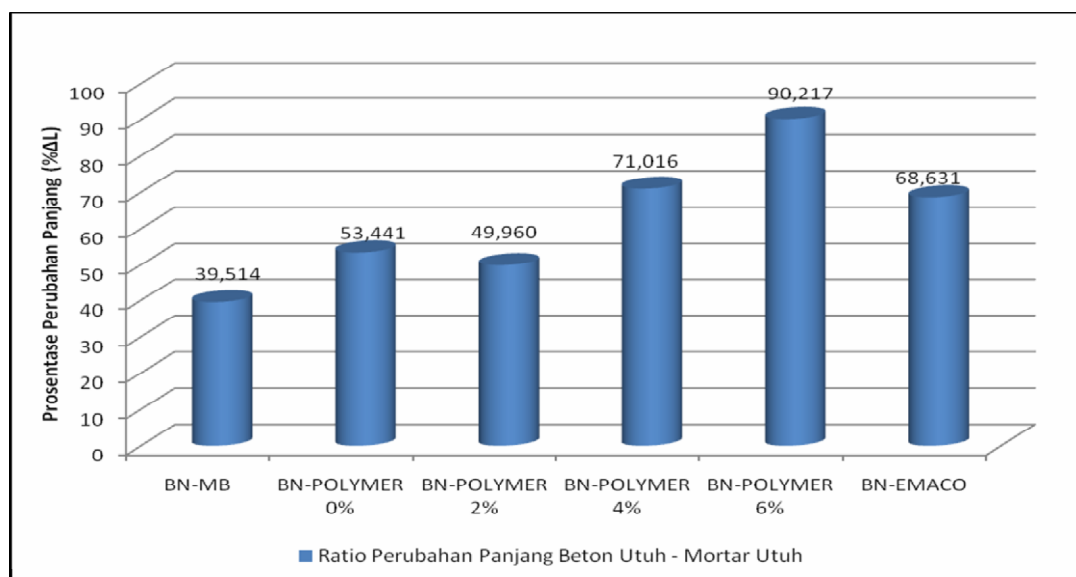
Gambar 4.8. Grafik Nilai Selisih Susut Mortar dan Beton Utuh Seiring dengan Waktu

4.2.2. Evaluasi Kompatibilitas Susut pada Dua Material yang Dipadukan

Dengan merelasikan perubahan panjang yang terjadi akibat pengaruh susut yang terjadi pada beton dan mortar utuh, dapat kita ketahui ratio susut pada beton dan mortar utuh, disajikan dalam **Gambar 4.9** Data pengukuran dapat dilihat pada **Tabel 4.2** di bawah ini.

Tabel 4.2. Prosentase Perubahan Panjang Mortar Utuh – Beton Utuh

| | Perubahan panjang (%) |
|---------------|-----------------------|
| BN-MB | 39.51420183 |
| BN-POLYMER 0% | 53.44121262 |
| BN-POLYMER 2% | 49.95988666 |
| BN-POLYMER 4% | 71.01597706 |
| BN-POLYMER 6% | 90.21661204 |
| BN-EMACO | 68.63136693 |



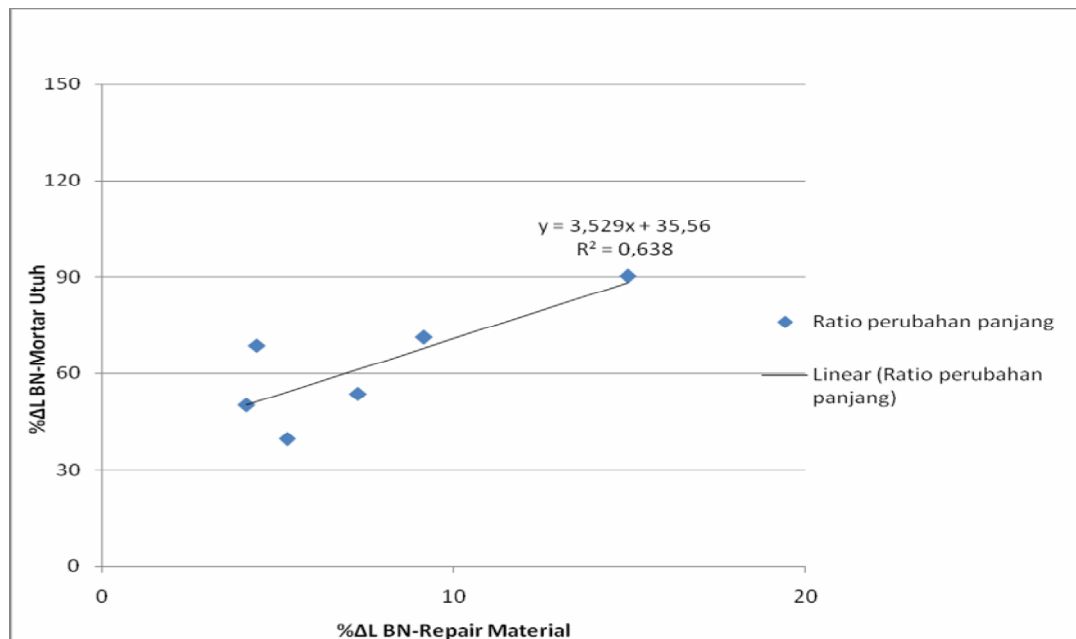
Gambar 4.9. Grafik Nilai Perubahan Panjang pada Beton Utuh – Mortar Utuh

Dari **Gambar 4.9** dapat dilihat bahwa benda uji beton – mortar biasa (BN-MB) memiliki nilai ratio perubahan panjang paling kecil dibandingkan dengan benda uji lainnya, yaitu sebesar 39,514%. Hal ini berbeda dengan besarnya nilai rasio perubahan panjang pada benda uji komposit beton – *repair material*. Perbedaan nilai rasio perubahan panjang menunjukkan bahwa susut yang terjadi pada 2 material (beton utuh dan mortar utuh) tidak sama dengan susut yang terjadi pada benda uji komposit (beton – *repair material*).

4.3. Perbandingan Rasio *Repair Material* dengan Mortar Utuh

Dengan adanya perbedaan perubahan panjang pada tiap benda uji, kita membutuhkan sesuatu yang dapat dipakai untuk menilai apakah benda uji komposit dapat dikatakan kompatibel atau tidak ditinjau dari nilai susut. Jika kita menghitung dari nilai susut masing-masing, baik itu beton normal utuh maupun mortar utuh hal ini dapat menimbulkan suatu kerancuan misalnya perbedaan susut yang besar (>50%) tidak berarti keduanya tidak kompatibel ketika dipadukan. Hal ini disebabkan oleh kenyataan bahwa ketika keduanya menjadi satu sebagai sistem komposit, perbedaan susut keduanya mengecil.

Dengan demikian maka kita perlu menentukan korelasi antara perbedaan nilai susut *repair material* dengan beton induk sebelum dan setelah dipadukan, sehingga kita dapat mengukur tingkat kompatibilitas. Selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 4.10** dibawah ini.



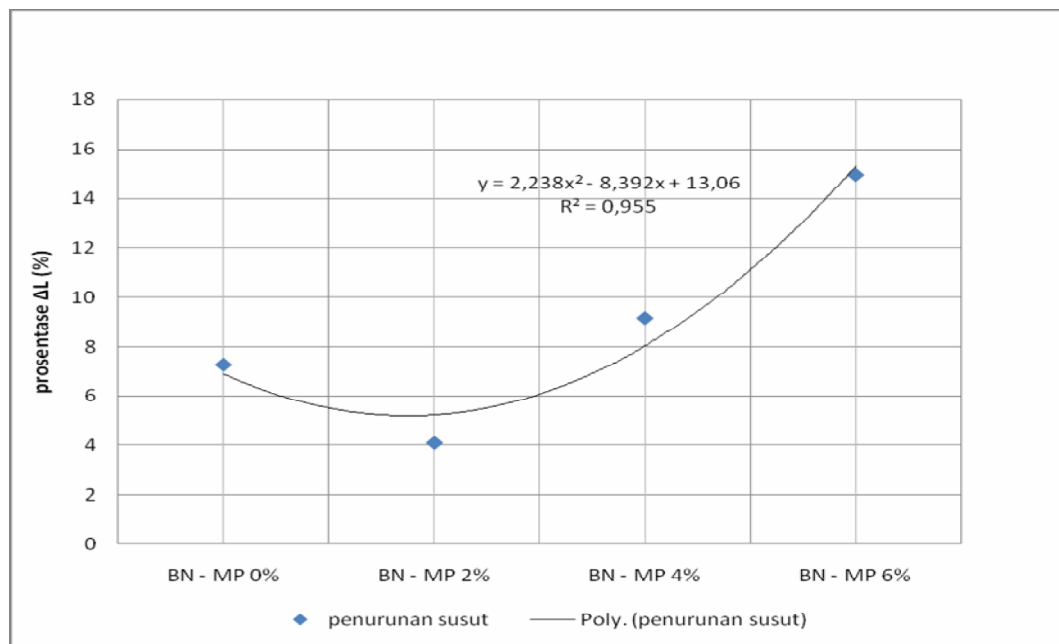
Gambar 4.10. Grafik Rasio Perubahan Panjang antara *Repair Material* dan Mortar Utuh

Gambar 4.10 dapat digunakan untuk menentukan tingkat penurunan nilai perbedaan susut antara *repair material* dan beton induk sebelum dan setelah keduanya dipadukan. Dari grafik ini, terlihat bahwa perbedaan susut yang besar dari *repair material*-beton induk sebelum keduanya dipadukan ($>60\%$) masih bisa menghasilkan perbedaan susut yang kecil ($<10\%$) ketika keduanya dipadukan. Hal ini berarti kedua material masih bisa dikatakan kompatibel sebagai sistem komposit meskipun kedua material sebelumnya memiliki beda susut yang tinggi.

Untuk mengetahui pengaruh *polymer* terhadap susut *repair material*, selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 4.3**, selanjutnya dilakukan penggabungan grafik antara susut MP 0% dengan susut *repair material* lainnya seperti **Gambar 4.11**. Dalam hal ini tetap menggunakan analisis dengan prosentase perubahan panjang yang terjadi pada benda uji komposit akibat pengaruh susut.

Tabel 4.3. Prosentase Perubahan Panjang pada Komposit

| | Perubahan panjang (%) |
|------------|-----------------------|
| BN - MP 0% | 7.281698565 |
| BN - MP 2% | 4.115620214 |
| BN - MP 4% | 9.15425735 |
| BN - MP 6% | 14.94393199 |



Gambar 4.11. Grafik Rasio Perubahan Panjang pada Komposit

Berdasarkan **Gambar 4.11** dapat disimpulkan bahwa prosentase perubahan panjang akibat susut pada mortar *polymer* 2% paling kecil prosentasenya yaitu 4,116% . Kita ketahui bahwa susut yang terjadi pada MP 2% menunjukkan nilai yang paling kecil diantara *repair* lainnya. Susut mortar *polymer* yang semakin kecil akan menimbulkan prosentase perubahan panjang yang kecil pula, begitu juga sebaliknya. Pengaruh penambahan kadar *polymer* ditunjukkan oleh persamaan $y = 2,238x^2 - 8,392x + 13,06$ dengan nilai optimum berada pada kisaran 2%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari seluruh pengujian, analisis data, dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Ditinjau dari rasio perubahan panjang *repair material* terhadap beton normal, kriteria kompatibilitas terpenuhi karena berada pada kisaran 4,116%. Nilai terkecil ditunjukkan oleh benda uji komposit beton normal-mortar *polymer* 2% (BN-MP 2%), sedangkan berdasarkan nilai selisih susutnya, BN-MP 2% juga memenuhi kriteria kompatibilitas karena menunjukkan nilai selisih paling kecil (46,67 microstrain) diantara benda uji komposit lainnya.
2. Penambahan maupun pengurangan *polymer* mempengaruhi susut yang terjadi pada *repair material*. Pengaruh penambahan kadar *polymer* ditunjukkan oleh persamaan $y = 2,238x^2 - 8,392x + 13,06$ dengan nilai optimum berada pada kisaran 2%.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan saran-saran yang akan berguna pada masa mendatang. Saran-saran yang diberikan sebagai berikut:

1. Perlu penelitian lebih lanjut tentang penambahan kadar *polymer* dengan variasi hari yang lebih lama untuk mengetahui karakteristik sifat *polymer*.
2. Pada penelitian ini, didapatkan komposisi *repair mortar* yang kompatibel sebagai bahan perbaikan. Diharapkan dapat diaplikasikan pada kasus perbaikan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandra, A., dan Yusuf, S. 2003. *Penelitian Awal Mortar yang Menggunakan Admixture Berupa Superplasticizer, Polypropylene Fiber and Styrenne Butadienne Rubber*. Skripsi, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Decter, Dr. M. H. 1997. *Durable Concrete Repair-Importance of Compatibility and Low Shrinkage*. Construction and Building Materials, Vol. 11, No. 5-6, pp. 267-273.
- Fauzie, M. 1990. *Susut Beton*. Media Teknik Edisi No. 2 Tahun XII Agustus 1990 No. ISSN 0216-3012.
- Hakim, Nur Cholish, 2009. *Prediksi Nilai Beda Susut Pada Concrete Overlay*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Hasan, K.E., Brooks J.J., and Al-Alawi, L. 2000. *Compatibility of Repair Mortar with Concrete in a Hot-Dry Environment*. Cemen & Concrete Composites 23 (2001) : 93-101.
- James, E., and Alexander M. "Performance Criteria for Dimensionally Compatible Repair Materials". *HPM&S Bulletin*, No. 00-1, Jan 2000
- Kristiawan, S.A. 2006. *Strength, Shrinkage and Creep of Concrete in Tension and Compression*. Civil Engineering Dimension, Vol. 8, No. 2, 73-80.
- Morgan, D.R. 1996. *Compatibility of Concrete Repair Materials and Systems*. Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 1, pp. 57-67.
- Priyanto, A. 2009. *Pengaruh Susut Terhadap Kompatibilitas Dimensional Antara Beton dan Repair Material dengan Bahan Tambah Serat Ban*. Skripsi, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Samekto, W., dan Rahmadiyanto, C. 2009 dalam <http://sang-pemuja-rahasia.blogspot.com/2009/10/makalah-beton.html>
- Wijaya, Adiel Putera. 2009. *Hubungan Antara Rangkak Tekan dan Tarik Mortar pada Tingkat Pembebanan dan Rasio Pembebanan yang Sama*. Skripsi, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

