

# KAJIAN EKSPERIMENTAL FAKTOR REDAMAN BETON POLIMER DENGAN MODAL TESTING

Mohd Isneini

## ABSTRACT

*Polimer concrete has different behaviour and different mechanic characteristic than others because it depends on material polimer that are used, so that it caused to be researched and be studied its behaviour and mechanic characteristic. This polimer concrete was made of prepacked system, consisted of unsaturated polyester (UP) added with styrene monomer (SM) as binder matrix, cobalt napthenate solution (CoNp) as a promotor and methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO) as an initiator, and coarse aggregate as inclusion. In this composition, variation of polymer concrete based on percentage of polimer and fly ash as a filler, and any other materials were kept in constant. The object of this research are to find out values of damping (loss factor), dynamic parameter, so that series of laboratory tests were carried out. Test results showed, values of damping (loss factor) 1,669 – 3,017%. Results also showed that much and much more content of polymer caused loss factor (h), damping coefficient (c) and damping ratio (x) decrease, however it showed that fly ash affected to increase value of dynamic parameter.*

*Keywords : system prepak, dynamic parameter, loss factor*

## PENDAHULUAN

Beton polimer memiliki sifat serta perilaku yang berbeda satu dengan yang lainnya karena sangat bergantung ke bahan polimer yang digunakan, hal ini mendorong dilakukannya banyak penelitian untuk mempelajari sifat dan perilaku beton polimer. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan untuk mengetahui formula yang akan digunakan sebagai desain campuran, dilakukan dengan memberikan variasi terhadap persentase polimer dan *filler* serta membuat bahan penyusun lainnya tetap. Lalu dilihat pengaruh perubahan persentase polimer untuk mengetahui besarnya redaman benda uji beton polimer (*loss factor*), benda uji berupa balok yang diletakkan pada tumpuan, dimana pembebanan dilakukan dengan memberi eksitasi pada balok, dan dilakukan dengan modal testing.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat dinamik beton polimer yang dilakukan berdasarkan uji eksperimental. Beton polimer yang dipakai adalah polimer jenis *Unsaturated Polyester Resin* dan dicampur dengan *filler* berupa abu terbang (*fly ash*) dari PLTU Suralaya, Jawa Barat. Parameter pengujian dalam penelitian ini meliputi *loss factor* (h)/redaman, rasio redaman (x) dan koefisien redaman (c). Kemudian melihat sampai sejauh mana pengaruh polimer yang dipakai terhadap parameter pengujian tersebut. Rencana kerja yang dilakukan adalah studi literatur serta serangkaian uji eksperimental.

Beton polimer dibuat dengan mencampurkan suatu resin hasil daur ulang plastik bekas *polyethyelen terephthalate* cair (r-PET) dengan agregat anorganik (krikil, pasir, dan serbuk pengisi/*filler*) dan

membiarkan material tersebut mengeras pada suhu kamar. Inisiator *methyl ethyl keton peroxide* (MEKPO) dan promotor *cobalt naphthenate* ditambahkan pada resin tepat sebelum pencampurannya dengan agregat anorganik untuk memulai reaksi pengerasannya. Dengan adanya penambahan inisiator *methyl ethyl keton peroxide* ke dalam *recyled* PET resin yang telah mengandung promotor *cobalt naphthenate* (CoNP), maka awal polimerisasi terjadi dengan timbulnya aksi *free radicals* yang terbentuk pada temperatur kamar dengan terputusnya ikatan O-O. *Free radicals* bereaksi dengan molekul-molekul monomer dan memutuskan ikatan-ikatan karbon rangkap untuk menghasilkan *monomer-monomer* dengan elektron-elektron tanpa pasangan (*unpair electrons*). *Styrene monomer* (CH<sub>2</sub>CHC<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) sebagai *cross linking agent* bereaksi dengan *free radicals* dan merombak diri menjadi bagian tak jenuh dari rantai *polyester* untuk membentuk jaringan tiga dimensi dari ikatan silang polimer. Polimerisasi ini prosesnya dikontrol oleh sejumlah *methyl ethyl keton peroxide* yang ditambahkan pada temperatur lingkungan. Bahan beton polimer terdiri atas bahan inklusi dan bahan matriks. Bahan inklusi terdiri atas agregat kasar, agregat halus, dan *filler* sebagai penguat. Bahan matriks terdiri atas *polymer blend*, inisator, dan promotor. Sebagai fraksi butiran halus/*filler* digunakan abu terbang (*fly ash*). Butiran pengisi berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanis, menghambat retak dan dislokasi, menghemat matriks serta meningkatkan ketahanan terhadap perubahan suhu ekstrim. Inklusi berfungsi untuk memperkuat matriks dengan cara mengurangi deformasi elastik. Demikian pula saat terjadi retak, inklusi dapat menghambat pertumbuhan retak dengan tambahan energi yang dipunyainya.

*Unsaturated Polyester* (UP), salah satu bahan polimer yang digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan campuran utama matriks beton polimer, yang dicampur dengan bahan pengencer yaitu *styrene monomer* dan MEKPO (*Methyl Ethyl Keton Peroxide*) sebagai katalisator/initiatornya. *Unsaturated Polyester* (UP) resin secara umum digunakan untuk memformulasikan beton polimer. UP tersebut bersaing dengan resin lain seperti *epoxy*, *methacrylate*, dan *polyurethane*. *Unsaturated Polyester resin* dibuat melalui proses penghancuran molekul plastik bekas (*poly ethylene therephthalata* / PET) dengan cara mencampurkan potongan-potongan plastik bekas dengan *diethylene glycol* di dalam ketel, campuran ini dipanaskan sampai mencair sambil ditambahkan *transesterification catalyst*. Setelah proses tersebut dilakukan penambahan *dibasic acids* yang terdiri dari *maleic anhydride* untuk mendapatkan kondisi *Unsaturated Polyester resin* yang fleksibel ke dalam larutan. Gugus *Unsaturated Polyester* yang linier biasanya *di-cross linked* dengan molekul tipe vinyl, sebagai contoh adalah *styrene monomer* dalam bentuk reaksi *curing* agen radikal bebas. *Curing* agen *peroxide* sering juga digunakan dengan MEKPO untuk membuat campuran *curing polyester* dalam suhu kamar. Reaksi-reaksi ini juga umumnya diaktivasi juga oleh *cobalt naphthenate* dalam jumlah kecil. *Styrene Monomer* digunakan sebagai pelarut (pengencer) untuk mengurangi kekentalan *Unsaturated Polyester Resin*. Abu terbang yang digunakan berasal dari hasil pembakaran batubara di PLTU Suralaya. Abu terbang memiliki diameter sekitar 100m m. Agregat, dalam hal ini digunakan agregat kasar. Diameter agregat yang digunakan hendaknya kurang dari 2 -3 kali ukuran cetakan, agregat yang dipakai berasal dari Banjarnegara Jawa Barat.

Dalam penelitian ini dilakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh perubahan persentase polimer maupun pengaruh *filler* terhadap besaran besaran dinamik seperti *loss factor* ( $h$ )/redaman, rasio redaman ( $x$ ) dan koefisien redaman ( $c$ ). Hal ini dilakukan dengan memberikan variasi terhadap persentase polimer dan *filler* serta membuat bahan penyusun lainnya tetap.

Bahan ini dapat dipakai untuk pekerjaan perbaikan dengan sistem *prepacked polymer concrete*, dan dapat diaplikasikan untuk perbaikan struktur bangunan yang rusak atau hancur khususnya di daerah rawan gempa.

**METODOLOGI**

Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian percobaan di laboratorium untuk mendapatkan sifat-sifat beton polimer. Pelaksanaan eksperimen meliputi persiapan bahan, pembuatan benda uji, serta melakukan pengujian.

**2.1 Teorema Pendukung dalam Eksperimental Dinamik**

**Fungsi Respon Frekuensi**

Fungsi Respon Frekuensi (FRF) merupakan respon domain frekuensi dari suatu titik pengukuran dibagi dengan gaya dalam domain frekuensi untuk suatu rentang pengukuran yang dibutuhkan. Persamaan 1 menunjukkan fungsi respon frekuensi untuk titik pengukuran *p* karena gaya eksitasi pada titik *q*. FRF merupakan fleksibilitas dinamik dari suatu struktur. Seperti yang diketahui, di dalam sistem linier selalu ada hubungan linier langsung antara masukan dan keluaran. Fungsi masukan dapat berupa gaya eksitasi harmonik dan keluarannya berupa respon percepatan, respon kecepatan, dan respon perpindahan. Fungsi respon frekuensi didefinisikan sebagai fungsi transfer perpindahan bila bentuk keluarannya berupa respon perpindahan.

$$FRF_{pq}(\Omega) = \left\{ \frac{X_p}{F_q(t)} \right\} = \frac{FFT_p}{FFT_q} \dots\dots\dots(1)$$

**Metode Petik Puncak (*Peak Picking*)**

Metode ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk identifikasi parameter fisik dilakukan dengan menentukan frekuensi natural, rasio redaman, dan mode dari suatu struktur berdasarkan data FRF dari hasil pengukuran. Metode ini merupakan metode yang paling tua. Fungsi respon frekuensi yang diperoleh, dipelajari hanya pada daerah puncak di sekitar resonansi. Pada setiap resonansi dianggap hanya ada satu mode dan menganggap pengaruh mode-mode lainnya pada mode tersebut kecil dan dapat diabaikan.

Pada FRF perpindahan menunjukkan bagian riil dari respon akan bernilai nol dan bagian imajiner dari respon akan bernilai maksimum pada frekuensi eksitasi sama dengan frekuensi naturalnya seperti ditunjukkan pada persamaan 2 dan persamaan 3 :

$$FRF = \frac{X}{F_0} = \left[ \frac{k - m\Omega^2}{(k - m\Omega^2)^2 + (c\Omega)^2} - i \frac{c\Omega}{(k - m\Omega^2)^2 + (c\Omega)^2} \right] \dots\dots\dots(2)$$

atau

$$FRF = \frac{X}{F_0} = \left[ \frac{\omega^2 - \Omega^2}{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + (2\xi\omega\Omega)^2} + i \frac{-2\xi\omega\Omega}{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + (2\xi\omega\Omega)^2} \right] \dots\dots\dots(3)$$

Amplitudo absolut  $R$  dan fasa  $q$  adalah:

$$R = \sqrt{X_{re}^2 + X_{im}^2} \dots\dots\dots(4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{X_{im}}{X_{re}} \right] \dots\dots\dots(5)$$

Sedangkan untuk respon kecepatan bagian riilnya akan bernilai maksimum dan bagian imajiner akan bernilai minimum pada frekuensi eksitasi sama dengan frekuensi naturalnya.

Sehingga dapat dikatakan frekuensi dimana bagian imajiner dari respon perpindahan adalah maksimum disebut frekuensi resonansi  $w_r$ . Untuk sistem yang mempunyai redaman yang kecil, nilai frekuensi natural struktur  $w_n$  tidak akan jauh berbeda dengan nilai  $w_r$  sehingga dapat dianggap  $w_r = w_n$ .

**Redaman dan Menentukan mode getar**

Secara sederhana redaman dari suatu struktur dapat diperoleh dengan menggunakan FRF dari hasil pengukuran. Apabila respon maksimum disebut  $a$ , maka frekuensi pada saat nilai responnya bernilai  $\alpha / (\sqrt{2})$  adalah  $w_a$  dan  $w_b$  yang berada pada kedua sisi resonansi.

Nilai redaman dapat dihitung dari:

$$\eta = \frac{2c}{c_c} = \frac{\omega_a - \omega_b}{\omega_r} \dots\dots\dots(6)$$

Nilai rasio redamannya adalah:

$$\xi = \frac{1}{2} \eta \dots\dots\dots(7)$$

dengan  $c$  dan  $c_c$  berturut-turut adalah nilai redaman dan redaman kritis struktur. Sedangkan mode getar dapat diperoleh dengan cara mengambil respon perpindahan imajiner maksimum pada frekuensi naturalnya dari sejumlah data pengukuran FRF.

**2.2 Komposisi campuran dan Pembuatan Benda Uji**

Untuk komposisi masing-masing campuran disajikan pada tabel berikut

Tabel 1 Perbandingan komposisi bahan

| Berat bahan (%)        | Kandungan <i>filler</i> (%) |    |    |
|------------------------|-----------------------------|----|----|
|                        | 35                          | 45 | 50 |
| Polimer terdiri atas : |                             |    |    |
|                        | 65                          | 55 | 50 |
| <i>UP</i>              | 60                          | 60 | 60 |
| <i>MEKPO</i>           | 3                           | 3  | 3  |
| <i>SM</i>              | 40                          | 40 | 40 |

Dari Tabel 1 di atas proporsi *UP* dan *SM* adalah 60% dan 40% dari kandungan polimer sedang *MEKPO* sebanyak 3% dari *UP*.

Untuk membentuk benda uji dilakukan dengan sistem *Prepack* yakni mortar yang komposisinya telah disesuaikan untuk setiap campuran kemudian di *grout*, dengan terlebih dahulu mempersiapkan lubang pada bagian bawah cetakan. Cetakan terdiri atas tiga macam untuk tiga macam komposisi, cetakan tersebut masing-masing berukuran 49 cm x 49 cm x 7,5 cm yang telah terisi dengan agregat. Bahan cetakan terbuat dari multiplek. Untuk menghindari kebocoran yang mungkin terjadi maka pada sambungan diberi malam serta diolesi gasoline untuk menghindari penyerapan oleh cetakan tersebut. Material penyusun benda uji berupa mortar yang di *grouting* ke dalam cetakan berisi agregat, dan *filler* yang digunakan berupa abu terbang. Sebagai bahan pengikat menggunakan polimer *polyester resin* golongan *polyethylene therephtalate* yang berbentuk *unsaturated polimer (UP)* yaitu *recyled polyethylene therephtalater resin* (hasil daur ulang plastik). *Styrene monomer (SM)* untuk mengencerkan *unsaturated polimer*, dan digunakan *cobalt naphtenate (CoNP)* sebanyak 1% sebagai promotor, sebagai initiator digunakan *methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO)*. Jenis polimer yang digunakan *unsaturated polyster resin*.

Oleh karena belum semuanya ada pembakuan dalam ukuran, metode pengukuran seperti besaran mekanis baik pada skala nasional maupun skala internasional, dalam penelitian ini dilakukan beberapa pendekatan dengan mengacu pada beberapa penelitian yang dilakukan terhadap beton polimer. Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan kemudian dilakukan *Core drill* untuk membuat benda uji dilakukan pemotongan dengan gergaji khusus pemotong beton, benda uji balok berukuran 2,4 cm x 4,0 cm x 40 cm untuk uji dinamik, masing-masing berjumlah tiga buah untuk tiap komposisi. Setiap benda uji memiliki kode misalnya Poly35A berarti angka 35 menyatakan banyaknya filler, sedangkan A menyatakan sample ke-1.

### 2.3 Metode Pengujian dengan Modal Testing

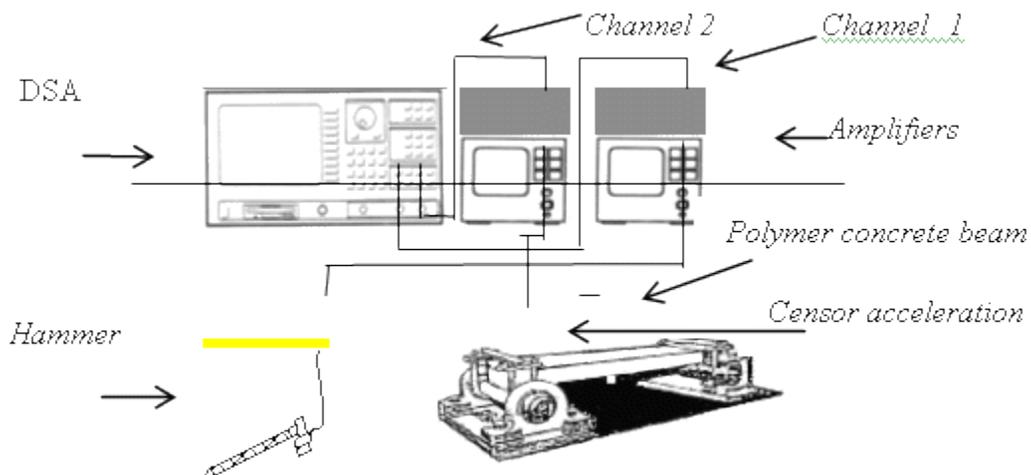
Modal testing merupakan metode yang cukup populer digunakan untuk menentukan karakteristik dinamik suatu struktur dengan menggunakan data pengukuran yang diperoleh dari hasil pengujian dinamik. Dasar teori dari Modal Testing adalah metode Analisis Modal yang merupakan teori dasar dalam analisis getaran dari sistem dinamik berderajat kebebasan banyak. Modal Testing dapat

digunakan di laboratorium atau langsung di lapangan. Dalam Modal Testing, gaya yang terkontrol dan terukur digunakan untuk mengeksitasi struktur, dan respon yang terjadi diukur di beberapa lokasi pada struktur untuk menghasilkan Fungsi Respon Frekuensi (FRF). Dari analisis Fungsi Respon Frekuensi, dapat diperoleh frekuensi natural dan rasio redaman yang termasuk karakteristik dinamik struktur yang diinvestigasi. Parameter dinamik tersebut sangat penting untuk menentukan resonansi dan respon dinamik dari struktur dan juga untuk melakukan modifikasi struktur untuk menghindari terjadinya resonansi atau mengatasi fleksibilitas yang tidak perlu.

### a. Peralatan yang diperlukan

Peralatan yang diperlukan saat pengujian redaman ini adalah: tumpuan atau perletakan sendi dan rol terbuat dari bahan baja terdiri dari as diameter 1,5 inci dan *bearing* yang dapat bergerak maju mundur dan berputar, serta plat baja. Tumpuan atau perletakan tersebut dibuat di Laboratorium Teknik Produksi Jurusan Teknik Mesin ITB. *Dynamic signal analysis* (DSA) HP-35665A, berfungsi untuk menganalisa spectrum, akuisisi data dan sumber signal eksitasi, data yang didapat berupa set data FRF., *measuring Amplifier Bruell Kjaer Type 2525 B&K* 2 buah, berfungsi memperkuat sinyal dari *force transducer (load cell)* dan dari *accelerator (delta tron)*, *hammer* (palu) digunakan untuk memberikan eksitasi pada benda uji, *force Transducer (Load Cell) Type 8200 B&K*, untuk mengukur besarnya gaya eksitasi yang diberikan pada struktur benda uji, memiliki spesifikasi: nomor seri: 2071125, sensitifitas *reference*: 3,98 pc/N, *accelerator type 4395* yang dipilih karena mempunyai kelebihan: daerah frekuensi kerjanya ( $\pm 10\%$ ) 0,3 Hz - 18 Khz, cukup ringan dan kuat, tidak membutuhkan penguat (*amplifier*) secara terpisah, sumber tegangan dapat diberikan langsung dari pengambilan data, serta berukuran kecil sehingga mudah dalam pemasangan. Spesifikasinya: nomor seri: 1929064, sensitifitas *refence*: 1,001 mV/ms<sup>-2</sup> atau 9,815 mV/g pada 159,2 Hz ( $w = 1000/s$ ), sensitifitas *transverse*: maks. 100 m/s<sup>2</sup> pada 30 Hz.

### b. Set-up peralatan



Gambar 1 *Set-up* peralatan pengujian redaman

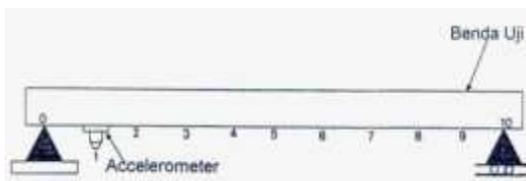
Sebelum pengujian dilakukan terlebih dahulu dilakukan *set-up* terhadap peralatan yang hendak digunakan. Dengan menyiapkan peralatan terlebih dahulu yakni DSA, dua buah amplifier, sensor gaya (*Force transducer*) dan sensor percepatan (*Delta Tron*) serta sebuah palu (*hammer*). Menghubungkan *Channel 2* pada DSA dengan amplifier I, selanjutnya pada bagian muka amplifier yakni delta tron dipasang sensor percepatan selanjutnya sensor tersebut diletakan pada balok beton polimer. Sedangkan *Channel 1* dari DSA dihubungkan dengan amplifier II, lalu pada bagian muka amplifier yakni *Charge* dipasang sensor gaya dimana sensor ini kemudian disatukan pada kepala palu (*hammer*), tentunya sebelum pengukuran dilakukan pada kepala palu tersebut setelah sensor terpasang lalu dipasang karet pelindung *hammer* yang bersentuhan langsung dengan objek yang akan dipukul atau diberi eksitasi.

### c. Prosedur Pengujian

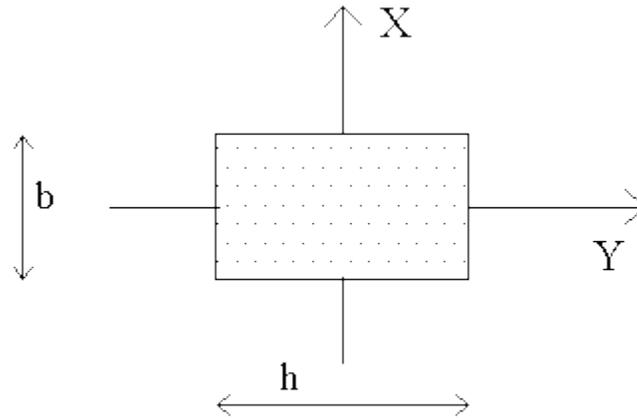
Langkah pertama sebelum mengambil data redaman: memastikan terlebih dahulu bahwa balok telah terletak dengan benar pada tumpuan sendi dan rol yang telah disiapkan dan diangker pada pondasi (meja beton), adapun langkah selanjutnya adalah:

1. Menentukan jenis gaya eksitasi yang akan diberikan pada benda uji dalam hal ini jenis gaya eksitasi berupa *random* lalu diamati responnya. Memberikan gaya eksitasi dalam arah sumbu x balok (Balok pada posisi y-y).
2. Resonansi, respon yang diberikan benda uji akibat gaya eksitasi akan memberikan pola respon dan frekuensi responnya makin besar sesuai dengan gaya eksitasi. Karena benda uji memiliki frekuensi alami yang besarnya terdapat pada *range* frekuensi gaya eksitasi, maka pada respon terlihat bentuk superposisi pada frekuensi alami benda uji dan dikatakan benda uji beresonansi dengan gaya eksitasi. Pada saat resonansi inilah diketahui frekuensi alami benda uji termasuk faktor redaman di dalamnya.

Adapun untuk melihat posisi meletakkan *transducer* dan posisi penampang saat dilakukan pengujian dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini:

Gambar 2. Titik -titik posisi *transducer* saat diberikan eksitasi.

Berikut adalah posisi penampang saat dilakukan pengujian redaman.



Gambar 3 Posisi penampang saat pengujian redaman

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel berikut disajikan data balok beton polimer yang akan diuji redamannya :

Tabel 2 Data balok beton polimer

| Kode | B<br>(Cm) | H<br>(Cm) | L<br>(Cm) | $I_x \times 10^{-8}$<br>(Cm <sup>4</sup> ) | $I_y \times 10^{-8}$<br>(Cm <sup>4</sup> ) | W (gr) | Rho<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) |
|------|-----------|-----------|-----------|--|--|--------|------------------------------|
| 35A  | 2,433     | 3,933     | 40,233    | 12,335                                     | 4,720                                      | 758    | 1,968                        |
| 35B  | 2,400     | 3,987     | 40,267    | 12,676                                     | 4,593                                      | 754    | 1,957                        |
| 35C  | 2,450     | 4,083     | 40,100    | 13,897                                     | 5,004                                      | 801    | 1,997                        |
| 45A  | 2,400     | 3,867     | 39,900    | 11,565                                     | 4,455                                      | 808    | 2,182                        |
| 45B  | 2,550     | 3,900     | 39,900    | 12,605                                     | 5,389                                      | 891    | 2,245                        |
| 45C  | 2,417     | 4,000     | 40,133    | 12,891                                     | 4,707                                      | 769    | 1,982                        |
| 50A  | 2,417     | 3,950     | 40,267    | 12,413                                     | 4,648                                      | 873    | 2,271                        |
| 50B  | 2,417     | 3,950     | 40,333    | 12,413                                     | 4,648                                      | 835    | 2,169                        |
| 50C  | 2,400     | 3,983     | 40,267    | 12,637                                     | 4,588                                      | 861    | 2,237                        |

Pengambilan data frekuensi alami maupun *loss factor/redaman* dapat diambil dari benda uji setelah balok terletak di atas tumpuan dengan benar serta pola ragam getar sesuai dengan teori yang ada. Pada umumnya yang sering digunakan dalam analisis struktur adalah tiga ragam pertama yang dominan, pada eksperimen ini ragam getar yang diambil, diharapkan adalah ragam getar pertama karena umumnya dalam banyak struktur hanya frekuensi alami terkecil yang diperlukan karena jika struktur mampu bertahan pada frekuensi tersebut tentunya akan dapat bertahan pada frekuensi alami lainnya. Setelah balok diatas tumpuan terletak dengan benar, segera diambil data frekuensi alami benda uji. Bersamaan didapatnya frekuensi alami dalam kurva respon frekuensi maka redaman

masing-masing benda uji dapat dihitung, demikian pula ragam getar yang terjadi, kurva respon frekuensi dapat dilihat pada Lamp. 1. Besarnya redaman dihitung pada setiap terjadi resonansi yang menunjukkan harga frekuensi alaminya.

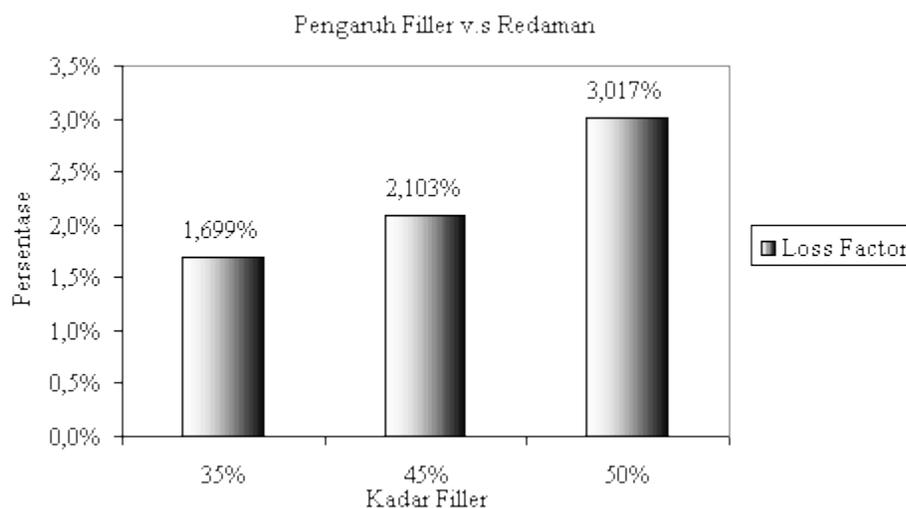
**Tabel 3 Harga redaman balok beton yang diuji**

| POLY | Frek. (Hz) | $F$    | Ratio Redaman (%) | $\omega$ (Rad/s) | $m$ (Kg s <sup>2</sup> /m) | $c$ (N.s/m) | Loss Factor (%) | Rata-rata (%) | Rata-rata Akhir (%) |
|------|------------|--------|-------------------|------------------|----------------------------|-------------|-----------------|---------------|---------------------|
| 35A1 | 208,723    | 6,373  | 1,527             | 1311,445         | 0,0773                     | 3,095       | 3,053           | 1,894         | 1,699               |
| 35A3 | 212,068    | 1,956  | 0,461             | 1332,463         | 0,0773                     | 0,950       | 0,922           |               |                     |
| 35A5 | 210,215    | 3,587  | 0,853             | 1320,820         | 0,0773                     | 1,743       | 1,707           |               |                     |
| 35B3 | 208,338    | 3,443  | 0,826             | 1309,026         | 0,0769                     | 1,663       | 1,652           | 1,336         |                     |
| 35B7 | 207,836    | 2,393  | 0,576             | 1305,873         | 0,0769                     | 1,157       | 1,152           |               |                     |
| 35B9 | 210,142    | 2,533  | 0,603             | 1320,364         | 0,0769                     | 1,224       | 1,205           |               |                     |
| 35C2 | 206,724    | 5,472  | 1,324             | 1298,887         | 0,0817                     | 2,809       | 2,647           | 1,866         |                     |
| 35C4 | 205,825    | 3,606  | 0,876             | 1293,233         | 0,0817                     | 1,851       | 1,752           |               |                     |
| 35C6 | 205,614    | 2,462  | 0,599             | 1291,911         | 0,0817                     | 1,264       | 1,198           |               |                     |
| 45A5 | 211,354    | 4,640  | 1,098             | 1327,974         | 0,0824                     | 2,403       | 2,196           | 1,944         | 2,103               |
| 45A6 | 213,079    | 4,200  | 0,985             | 1338,814         | 0,0824                     | 2,174       | 1,971           |               |                     |
| 45A9 | 213,535    | 3,555  | 0,832             | 1341,678         | 0,0824                     | 1,841       | 1,665           |               |                     |
| 45B1 | 240,535    | 4,851  | 1,009             | 1511,326         | 0,0909                     | 2,771       | 2,017           | 2,314         |                     |
| 45B2 | 238,336    | 2,540  | 0,533             | 1497,511         | 0,0909                     | 1,451       | 1,066           |               |                     |
| 45B3 | 241,116    | 4,956  | 1,028             | 1514,976         | 0,0909                     | 2,830       | 2,055           |               |                     |
| 45B4 | 236,306    | 5,899  | 1,248             | 1484,755         | 0,0909                     | 3,369       | 2,496           |               |                     |
| 45B5 | 236,571    | 17,026 | 3,599             | 1486,417         | 0,0909                     | 9,724       | 7,197           |               |                     |
| 45B6 | 238,284    | 4,321  | 0,907             | 1497,182         | 0,0909                     | 2,467       | 1,813           |               |                     |
| 45B7 | 235,949    | 2,506  | 0,531             | 1482,512         | 0,0909                     | 1,431       | 1,062           |               |                     |
| 45B8 | 238,564    | 5,275  | 1,106             | 1498,940         | 0,0909                     | 3,013       | 2,211           |               |                     |
| 45B9 | 235,708    | 2,152  | 0,457             | 1481,000         | 0,0909                     | 1,229       | 0,913           |               |                     |
| 45C2 | 190,880    | 5,023  | 1,316             | 1199,336         | 0,0784                     | 2,474       | 2,631           | 2,052         |                     |
| 45C6 | 193,756    | 2,855  | 0,737             | 1217,403         | 0,0784                     | 1,406       | 1,473           |               |                     |
| 50A4 | 170,007    | 3,424  | 1,007             | 1068,188         | 0,0890                     | 1,915       | 2,014           | 3,146         | 3,017               |
| 50A7 | 170,912    | 4,687  | 1,371             | 1073,870         | 0,0890                     | 2,621       | 2,742           |               |                     |
| 50A9 | 174,004    | 8,147  | 2,341             | 1093,301         | 0,0890                     | 4,556       | 4,682           |               |                     |
| 50B3 | 225,190    | 2,083  | 0,462             | 1414,910         | 0,0851                     | 1,114       | 0,925           | 3,410         |                     |
| 50B5 | 201,862    | 17,179 | 4,255             | 1268,338         | 0,0851                     | 9,185       | 8,510           |               |                     |
| 50B7 | 209,143    | 1,661  | 0,397             | 1314,084         | 0,0851                     | 0,888       | 0,794           |               |                     |
| 50C1 | 186,072    | 2,989  | 0,803             | 1169,126         | 0,0878                     | 1,650       | 1,607           | 2,494         |                     |
| 50C6 | 185,367    | 4,273  | 1,152             | 1164,697         | 0,0878                     | 2,357       | 2,305           |               |                     |
| 50C9 | 189,151    | 6,753  | 1,786             | 1188,468         | 0,0878                     | 3,726       | 3,571           |               |                     |

Besarnya redaman untuk masing-masing ragam getar mempunyai harga yang berbeda, perbedaan harga redaman juga terjadi pula pada posisi X-X maupun posisi Y-Y<sup>3</sup>. Pada penelitian ini redaman yang diteliti adalah pada posisi seperti terlihat pada Gambar 3. Harga redaman yang diambil datanya adalah redaman yang terjadi saat balok beresonansi. Gaya eksitasi bekerja pada bentang dengan arah vertikal. Jika balok mendapat gaya demikian maka balok juga akan melendut pada arah vertikal. Akan disajikan harga redaman balok beton polimer yang diuji seperti pada Tabel 3.

Seperti terlihat di atas, tampaknya hasil yang diperoleh masih dalam *range loss factor* beton normal sehingga dari komposisi campuran yang digunakan belum didapatkan hasil yang cukup memuaskan nilai redamannya, namun jika dilihat dari Gambar 4 di bawah ini terlihat bahwa *filler* abu terbang cukup memberikan pengaruh bagi peningkatan nilai redaman.

Terlepas dari belum dicapainya nilai redaman yang melebihi beton normal tersebut, beton polimer dengan sistem *prepacked (prepacked polimer concrete)* ini masih dapat diterapkan untuk rehabilitasi elemen struktur dengan kerusakan yang cukup parah, dimana dalam pelaksanaannya pada ruang kosong hasil pembongkaran disiapkan bekisting untuk membentuk massa beton baru yang berfungsi menyatukan bagian yang telah dibongkar, kemudian pada ruang kosong tersebut diisi split (batu pecah) hingga penuh, lalu diinjeksikan pasta polimer agar diperoleh beton prepak baru yang dapat menggantikan volume beton yang dibongkar, selain itu kelebihan lainnya material ini yaitu mampu mengeras dalam waktu 12 menit serta memiliki ketahanan yang cukup baik.



Gambar 4 Hubungan variasi abu terbang terhadap nilai redaman

Dari eksperimen sebelumnya (Harahap dan Herawati, 1999) diketahui beberapa hal di antaranya semakin banyak jumlah persentase polimer dari beton polimer maka kecenderungan frekuensinya alaminya semakin kecil dan semakin besar pula *loss factor*-nya ( $\eta$ ) selain itu diketahui pula bahwa harga modulus elastisitas (E) suatu beton polimer kecil sehingga frekuensi alaminya kecil dan bila frekuensi alaminya kecil maka *damping ratio* ( $\xi$ ), *loss factor* ( $\eta$ ) serta redamannya ( $c$ ) menjadi besar. Namun perlu diperhatikan bahwa dalam penelitian terdahulu (Harahap, herawati, 1999) *filler* yang digunakan berbeda dengan yang dipakai dalam penelitian ini seperti *filler* nikel, tailing, kaca, dan bata merah.

Namun dalam penelitian ini dengan *filler* abu terbang semakin banyak prosentase polimernya, harga *loss factor*-nya ( $\eta$ ) serta koefisien redamannya ( $c$ ) dan *damping ratio* ( $\xi$ ) semakin kecil berbeda

kecenderungannya dibanding penelitian terdahulu<sup>[3]</sup>, tampaknya abu terbang sangat berpengaruh untuk menaikkan *loss factor* ( $\eta$ ) maupun koefisien redaman ( $c$ ) dan juga *damping ratio* ( $\xi$ ).

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap beton polimer prepak, dapat ditarik beberapa kesimpulan, namun sebelum kesimpulan tersebut diuraikan terlebih dahulu dipaparkan hal sebagai berikut: faktor redaman yang diambil dalam penelitian ini adalah faktor kehilangan (*loss factor*,  $h$ ) dimana  $h = 2x$ . Harga faktor redaman yang mewakili adalah *loss factor* ( $h$ ) pada ragam getar kedua posisi Y-Y. Untuk mendapatkan harga koefisien redaman  $c$  (*viscous damping*) dikonversikan dari harga faktor kehilangan ( $h$ ), dimana besarnya koefisien redaman adalah  $c = h w m$  dengan  $w$  adalah frekuensi alami benda dan  $m$  adalah massa benda. Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

Nilai redaman yang didapat untuk beton polimer prepak adalah 1,669 s.d 3,017%.

*Filler* yang digunakan yakni abu terbang berpengaruh untuk menaikkan *loss factor* ( $h$ ) maupun koefisien redaman ( $c$ ) dan juga *damping ratio* ( $x$ ), sehingga dalam hal ini nilai guna abu terbang semakin bertambah dan dapat terus digunakan dalam rekayasa material khususnya beton polimer .

Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui pengaruh abu terbang dengan kandungan dari 0% sampai 30% serta diatas 50% untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruhnya terhadap aspek dinamik lainnya

Dalam penelitian ini digunakan *sample* yang berasal dari hasil pemotongan, sehingga perlu dilakukan pengamatan terhadap *sample* yang dibuat berdasarkan cetakan yang telah disiapkan sebelumnya.

Selama ini beton polimer hanya cocok untuk rehabilitasi bukan untuk beton massal yang digunakan untuk membangun gedung baru karena harganya yang masih tergolong tinggi sehingga harus selalu dilakukan **rekayasa material** agar dihasilkan suatu beton polimer dengan kadar polimer yang sedikit akan tetapi menghasilkan sifat-sifat mekanik maupun karakteristik dinamik yang baik.

## REFERENSI

1. Beards, C.F., 1983. *Structural Vibration Analysis: Modelling, Analysis & Damping of Vibrating Structures*, John Wiley & Son.
2. Ewins, D.J, 1986. *Modal Testing Theory and Practice*. Research Study Press Ltd., England.
3. Harahap, Hana T dan Herawaty N. 1999. *Kajian Eksperimental Faktor Redaman Beton Polimer, Beton Polimer Semen dan Beton Semen*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.
4. Nashif, Ahid D. 1985. *Vibration damping*. John Wiley & Son. Toronto.
5. Ohama, Y., M Kawakamo, K Fukuzawa, ,1997. *Polymers in Concrete*. E&FN SPON.
6. Rebeiz K.S. dan Fowler D.W. *Flexural Strength of Reinforced Polimer Concrete Made with Recycle Plastic Waste*. *ACI Structural Journal*. Vol.93 No. 5. Sept.-Okt.1996.

7. Ryanto, H, 1993. *Kajian Analitik dan Eksperimental dari Factor Redaman Beton Mutu Tinggi dengan Modal Testing*. Tesis. Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung, Setio, Herlien D, Sangriyadi Setio Th. 1996. *International Course on Structural Dynamics: "Dynamic Load Problems on Structure"*. ITB-ECL (Ecole Centrale de Lyon). Nov. 25-27, 1996. ITB. Bandung.
8. Setio, Herlien D,. 1998. *Modul Praktikum: Rekayasa Gempa*. Laboratorium Mekanika Teknik dan Peragaan (LMTP), Jurusan Teknik Sipil ITB Bandung.
9. Seto, William W, .1964. *Mechanical Vibrations*. McGraw-Hill Book Company, New York.
10. Suraatmadja, D, Munaf D.R, Lationo B, Jurnal, 1996. "Falpo, Beton Polimer Bobot Ringan", Bandung.
11. Vierick, Robert K. 1995. *Analisis Getaran*, Bandung, Eresco.